

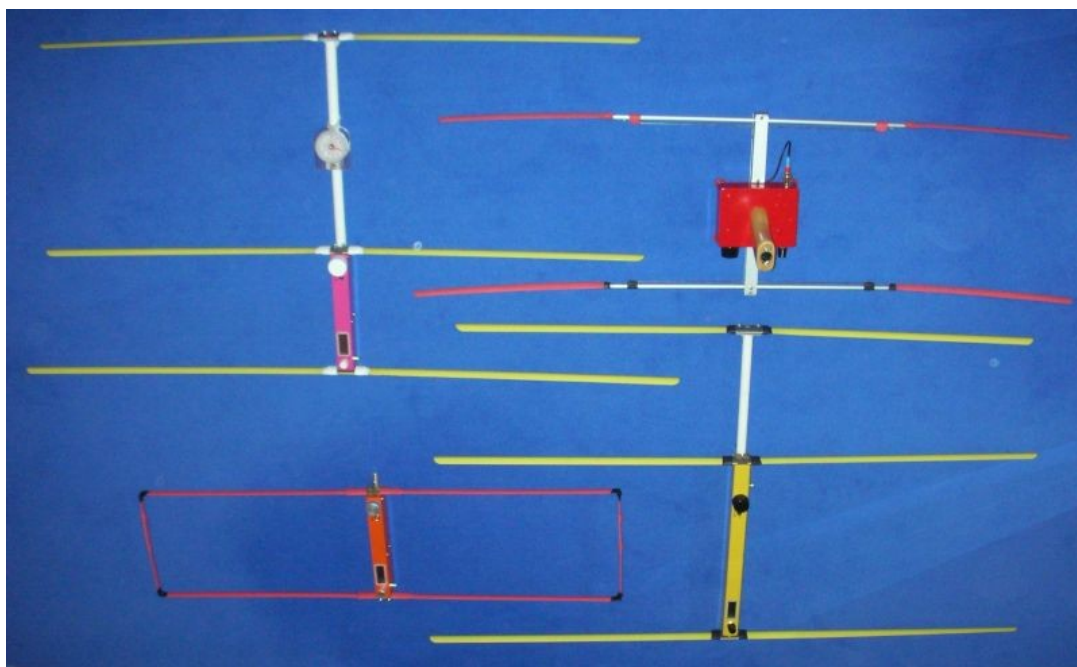
2m-ARDF-Empfangs- und Sendeantennen

Nick Roethe, DF1FO

In diesem Dokument vergleiche ich eine Reihe von 2m-Fuchsjagd-Empfangs- und Sendeantennen. Die Ausführungen beruhen auf meinen eigenen **Experimenten** und **Erfahrungen**, auf **EZNEC-Simulationen**, auf **Freifeld-Messungen** und auf aus der **Literatur** übernommenen Angaben.

Dies soll keine Antennenbibel mit endgültigen Wahrheiten sein, sondern ein Diskussionsbeitrag, der vor allem zu eigenen Experimenten und Überlegungen anregen soll.

Die untersuchten Empfangs-Antennen



Vier von mir benutzte und hier diskutierte 2m-Empfänger-Antennen:

- Links oben: 2m-SMD-Empfänger Bauform Russland 3 mit 3-Element-Yagi
- Rechts oben : 2m-Empfänger Bauform Altdeutsch mit symmetrisch gespeister HB9CV
- Rechts unten: 2m-Empfänger Bauform Russland 2 mit 3-Element-Yagi
- Links unten: 2m-SMD-Empfänger mit 2-Element-Moxon

Ich betrachte die folgenden Antennen-Entwürfe:

3-Element-Yagi R1

Diese Antenne habe ich in den Bauanleitungen meiner 2m-Peilempfänger Bauform Russland 1 (konventionelle Bauteile, kurzes Gehäuse, [fjrx233.doc](#)) und Russland 3 (SMD, [fjrx24R3.doc](#)) beschrieben. Diese Antenne wurde von Joe Leggio entworfen und ist in USA bei Fuchsjägern weit verbreitet. Ich habe die Elemente ein wenig verlängert, um sie an den bei uns üblichen Frequenzbereich 144-145 MHz anzupassen, und lasse die von Joe zur Anpassungsverbesserung vorgesehene Haarnadelschleife am Speisepunkt weg. Diese Antenne wird bei vielen Nachbauten meiner Peilempfänger verwendet.

3-Element-Yagi R2

Diese Antenne habe ich in der Bauanleitung meines Peilempfängers Bauform Russland 2 (konventionelle Bauteile, langes Gehäuse, [fjrx2R2.doc](#)). Diese Antenne habe ich von dem chinesischen Peilempfänger CX-2m übernommen. Allerdings benutze ich 25 mm Bandmaß statt 12 mm. Auch diese Antenne ist schon vielfach nachgebaut worden.

3-Element-Yagi Junior-2

Diese Antenne wurde von Rainer Flößer in seiner Bauanleitung für den Peilempfänger Junior-2 beschrieben. Die Bauanleitung findet sich auf www.darc.de/ardf. Ich habe die Antenne nur simuliert, also nicht selber aufgebaut.

3-Element-Yagi Altai

Dies ist die Antenne des berühmten russischen Altai-Empfängers. Die Maße hat Trajan Tudorean aufgenommen. Ich habe die Antenne nur simuliert, also nicht selber aufgebaut. Sie wird aber in unzähligen Altai-Empfängern verwendet.

4-Element-Yagi

Dies ist Rainer Flößers Lieblingsantenne, er hat mir die Maße übermittelt. Die Antenne wurde an der Universität St. Petersburg entworfen. Rainer hat sie erfolgreich nachgebaut. Es gibt für diese Antenne Messergebnisse von Günther Schwarzbeck, mit professioneller Ausrüstung aufgenommen. Sie liegen mir vor und entsprechen sehr genau meinen EZNEC-Simulations-Ergebnissen.

Maße der Yagi-Antennen in cm

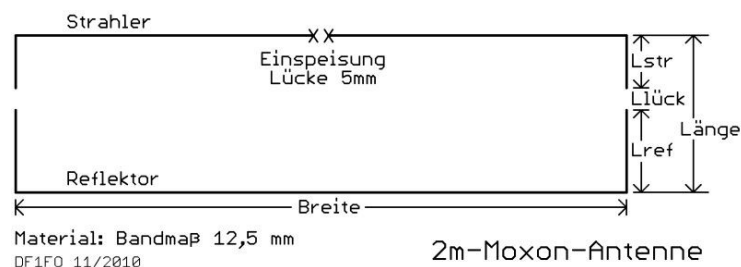
Antennen-Typ	Länge Reflektor	Länge Strahler	Länge Direktor	Länge Direktor2	Abstand Ref-Str	Abstand Str-Dir	Abstand Dir-Dir2	Bandmaß-Breite
R1	106,5	94	90,5	-	20,5	32	-	25
R2	105	100	92	-	34,5	22	-	25
Junior 2	107	99	93	-	38	20	-	12,5
Altai	106	97	95	-	40	21	-	12,5
4 Element	104	98	92	89	41	21	21	12,5

Moxon

Die Moxon-Antenne ist eine 2-Element-Yagi, bei der die Element-Enden abgeknickt sind. Sie ist dadurch besonders kompakt. Viel Information dazu gibt es auf moxonantennaproject.com. Ich habe von dieser Seite einen Beispielenwurf für 20m übernommen und für das 2m-Band umgerechnet. Ursprünglich aufmerksam gemacht auf die Moxon-Antenne hat mich Mirzo Prljaca, DK1MIR. Sein Peiler mit Moxon-Antenne ist in der 2m-Empfänger-Galerie Teil 2 zu sehen.

Moxon Kurz

Die oben beschriebene skalierte Moxon-Antenne hat einen Elementabstand von 27,5 cm, der nicht zu meinem aktuellen SMD-Empfänger passt. Ich habe deshalb eine Kurzversion dieser Antenne mit 20,5 cm Abstand entworfen und per Simulation optimiert. Diese Antenne habe ich aufgebaut, es ist die im Foto oben gezeigte. Sie scheint gut zu funktionieren, muss aber noch näher erprobt werden.



Maße der Moxon-Antennen in cm

Antennen-Typ	Breite	Länge	Reflektor Lref	Lücke Llück	Strahler Lstr
Moxon	75,5	27,5	14	4	9,5
Moxon Kurz	82	20,5	10,5	4	6

HB9CV

Diese Antenne ist ein Klassiker bei Fuchsjägern und hat den Vorteil, dass man sie fertig aufgebaut kaufen kann. Natürlich ist auch ein Selbstbau möglich, siehe z.B. meine Baubeschreibung [HB9CV.doc](#). Diese Antenne ist zu komplex, um sie mit EZNEC Demo zu simulieren. Ich benutze daher hier die Meßergebnisse von Günther Schwarzbeck aus der *CQ-DL 1/83*.

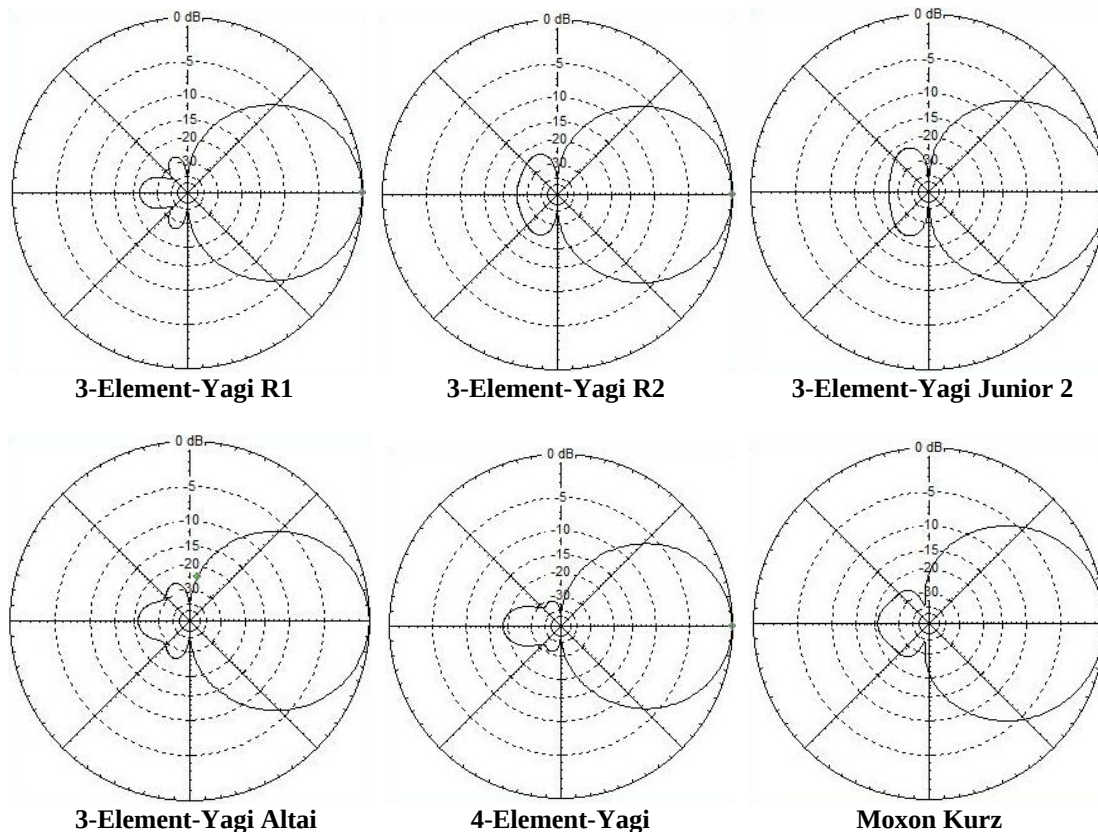
Empfangsantennen-Simulation mit EZNEC

Es gibt im Internet mehrere einfach anzuwendende Antennen-Simulations-Programme. Manche sind kostenlos, andere haben einen Preis. Ich habe mich für das weit verbreitete EZNEC Version 5.0 entschieden, und benutze die kostenlose Demo-Version von **EZNEC.com**. Sie hat eine Modellgrößen-Limitierung, ist aber für die hier betrachteten einfachen Antennen noch ausreichend. Ich habe für alle Rechnungen der Einfachheit halber verlustlose Elemente und Freiraum angenommen. Die realen Antennen haben alle Elemente aus (flachem) Bandmaß, EZNEC kann aber nur runde Elemente. Ich habe daher statt 12,5 mm Bandmaß runde Elemente mit 6 mm Durchmesser eingesetzt, und statt 25 mm Bandmaß Elemente mit 10 mm Durchmesser.

Die EZNEC-Ergebnisse sollten nicht überbewertet werden. Neben Fehlern in der Simulation kommen bei realen Antennen immer noch kleine Abweichungen der Maße dazu, die das reale Ergebnis schlechter oder auch besser machen können.

EZNEC ist, wohl wegen seiner langen Entwicklungsgeschichte, etwas eigenwillig. Ich habe aber nur wenige Stunden Einarbeitung gebraucht, um damit sinnvolle Ergebnisse zu produzieren. Ich kann es daher für experimentierfreudige Fuchsjäger weiterempfehlen.

Antennendiagramme



Dies sind die Horizontal-Richtdiagramme der betrachteten Antennen. Sie gelten für den Freiraum – also einen durchs Weltall schwebenden Fuchsjäger. Die nicht gezeigte **Moxon**-Antenne unterscheidet sich kaum von der **Moxon Kurz**. Von der **HB9CV** habe ich keine Simulations-Ergebnisse.

Alle Antennen haben ein sauberes, fürs Peilen geeignetes Richtdiagramm. Bei genauer Betrachtung erkennt man, dass die 4-Element-Yagi das schmalste Diagramm hat, und die Moxon das breiteste.

Noch schmalere Diagramme, die sich mancher Fuchsjäger wünscht, erfordern leider längere Antennen mit mehr Direktoren und sind praktisch nicht mehr handhabbar – wer will schon mit einer 10-Element-Yagi durch den Wald rennen?

Das Vertikaldiagramm aller Antennen hat einen größeren Öffnungswinkel. Das stört allerdings nicht, da keine Wellen vom Himmel oder aus dem Boden kommen – außer wenn gerade ein Flugzeug als Reflektor vorbeifliegt.

Technische Daten der betrachteten Empfangsantennen

Antennen-Typ	Öffnungswinkel -3dB	Gewinn dbi	V/R-Verhältnis	Nebenzipfel	Fußpunkt-Widerstand	SWR
R1	65°	7,7	22 dB	-26 dB	19 – j28 Ω	3,5
R2	65°	7,4	25 dB	-24 dB	31 – j4 Ω	1,6
Junior 2	67°	7,1	26 dB	-22 dB	36 – j22 Ω	1,9
Altai	65°	7,7	21 dB	-26 dB	19 – j30 Ω	3,7
4 Element	62°	8,4	19 dB	-	25 – j5 Ω	2,3
Moxon	78°	6,0	33 dB	-27 dB	51 + j3 Ω	1,1
Moxon Kurz	74°	5,8	19 dB	-	38 – j10 Ω	1,4
HB9CV	68°	6,4	20 dB	-25 dB		<1,5

Diese Tabelle fasst die numerischen Ergebnisse der Simulation (HB9CV: Messung Schwarzbeck) zusammen. Der **Gewinn** der Antennen unterscheidet sich nur unwesentlich. Das **V/R-Verhältnis** und die Unterdrückung der nach schräg hinten zeigenden **Nebenzipfeln** sind bei allen Antennen völlig ausreichend. Der **Fußpunkt-widerstand** der Antennen weicht teilweise deutlich von 52Ω ab. Dies ist aber bei einer reinen Empfangsantenne kein Problem, wie auch das resultierende teilweise recht hohe **SWR**.

Nachdem alle anderen Parameter bei allen Antennen ‚gut genug‘ sind, bleibt also nur der **Öffnungswinkel** als numerisches Unterscheidungskriterium.

In dieser Kategorie ist erwartungsgemäß die **4-Element Yagi** mit 62° am besten. Dafür ist sie auch über 20 cm länger und schwerer als die 3-Element-Yagis.

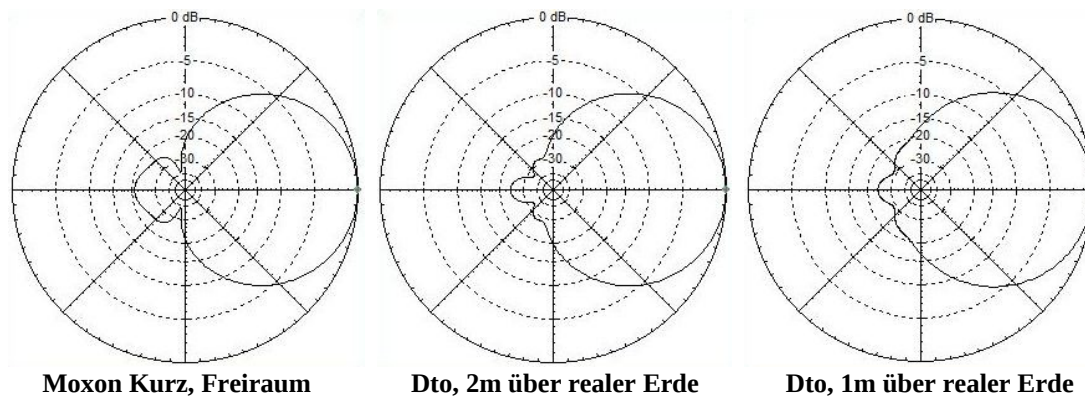
Die vier **3-Element-Yagis** unterscheiden sich praktisch nicht, man kann also einfach die wählen, die von den Element-Abständen her am besten zum Empfänger passt.

Die **HB9CV** hat praktisch den gleichen Öffnungswinkel wie eine 3-Element-Yagi (präzise: 1,5° mehr auf jeder Seite). Das widerspricht zwar dem weit verbreiteten Glauben, dass eine 3-Element weit überlegen sei. Es entspricht aber meiner praktischen Erfahrung. Der wesentliche Nachteil der HB9CV, und der Grund warum ich auf Yagis übergegangen bin, ist die mechanisch komplizierte und bei Stürzen stets gefährdete Einspeisung.

Die **Moxon**-Antenne finde ich durchaus interessant: sie ist noch kompakter als die HB9CV und vermeidet deren komplizierte Speisung. Der Preis dafür ist ein deutlich größerer Öffnungswinkel (präzise: 5° mehr auf jeder Seite gegenüber der 3-Element).

Einfluss des Bodens auf das Horizontal-Diagramm

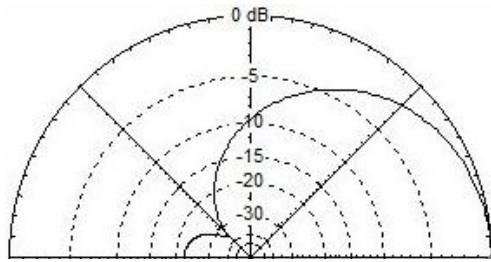
Im wirklichen Leben befindet sich die Antenne nicht im Freiraum, sondern in der Hand des Fuchsjägers. Den Einfluß des Erdbodens kann man mit EZNEC leicht simulieren. Ich habe hier ‚Real Ground‘, mittlere Leitfähigkeit eingesetzt. Die folgenden Diagramme zeigen die Moxon Kurz im Freiraum (wie oben), in 2m Höhe, also am langen Arm über den Kopf gehalten, und in 1m Höhe, also bequem vor den (idealen = nicht vorhandenen) Bauch gehalten.



Der Einfluss auf das Diagramm ist minimal. Dies bestätigt die (Anfänger immer wieder verblüffende) Ansicht erfahrener Fuchsjäger, dass es nur in Ausnahmefällen nötig ist, Freiübungen mit der Antenne zu veranstalten (bei sehr schwachem Signal, oder wenn die Antenne nur so über eine Böschung o.ä. sehen kann).

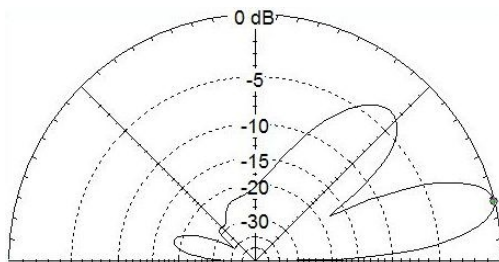
Einfluss des Bodens auf das Vertikal-Diagramm

Sehr viel deutlicher ist der Einfluss des Erdbodens auf das bisher noch gar nicht betrachtete Vertikal-Diagramm.

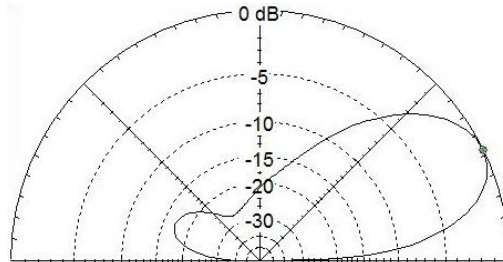


Vertikal-Diagramm R1 Freiraum

Dies ist als typisches Beispiel das Vertikal-Diagramm der 3-Element-Yagi R1 im Freiraum. Genaugenommen nur die obere Hälfte davon, die untere ist spiegelbildlich. Wir sehen eine saubere Keule, und die Haupt-Strahlungsrichtung zeigt, wie erwartet, genau in der Ebene der Antenne nach vorne.



Dto, 2m über realer Erde



Dto, 1m über realer Erde

Überraschung: befindet sich die Antenne in 1m oder 2m Höhe über dem Boden, sieht das Vertikal-Diagramm ganz anders aus! Die Hauptkeule zeigt jetzt 15° bzw. 25° nach oben. Man könnte ja erwarten, dass (in ebenem Gelände) die Wellen vom Fuchs mit 0° Elevation direkt vom Sender zum Empfänger wandern, so dass die oben gezeigten Diagramme sehr ungünstig wären.

Tatsächlich ist dem aber nicht so. Eine 2m-Welle kann sich nicht über größere Entfernungen 2m über dem Boden fortpflanzen, weil sie dabei vom Boden sehr stark gedämpft wird. Tatsächlich empfängt der Fuchsjäger meist Wellen, die an Bäumen oder Geländeformationen gestreut, gebrochen oder reflektiert wurden. Sie fallen von schräg oben ein.

Die in 2m Höhe gegenüber 1m deutlich flachere Keule ist wohl der Grund dafür, dass es bei schwachen Signalen hilft, den Empfänger über den Kopf zu halten. Die Peilgenauigkeit wird davon aber nicht unbedingt besser, siehe die Horizontal-Diagramme oben.

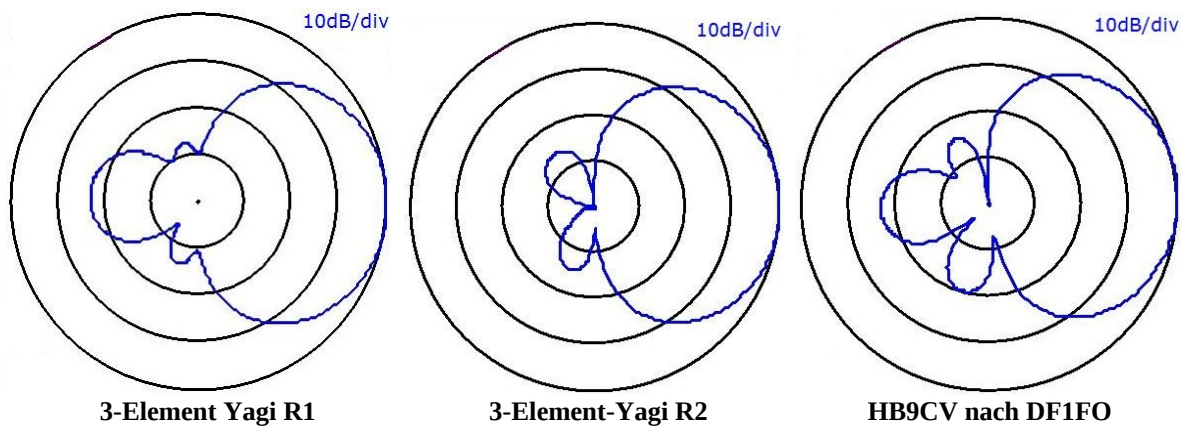
Freifeld-Messungen an Empfangsantennen

Simulationsergebnisse sind die Ergebnisse einer Simulation. Es bleibt immer eine gewisse Skepsis, ob sich eine reale Antenne wohl genauso verhält wie das Modell.

Ich habe einige der mir vorliegenden Antennen vermessen können. Dabei sind die Antennen, wenn nicht anders angegeben, in 2,15 m Höhe über einer leitenden Ebenen in ein Stativ fixiert – das entspricht etwa dem am langen Arm über den Kopf gehaltenen Empfänger. Eine feste Sendeantenne in etwa 100m Entfernung ist auf die zu messende Empfangsantenne ausgerichtet, die Empfangsantenne wird zur Aufnahme des Diagramms 360° gedreht.

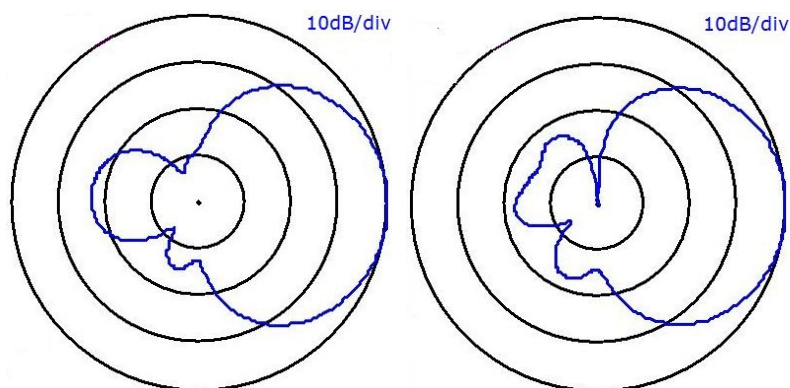
Die folgenden Diagramme zeigen also die Realität. Leider gibt es selbst auf einem freien, weitgehend ebenen Gelände Streuungen und Reflexionen, die das Messen der Minima in den Diagrammen (unter etwa -15dB) zur Glückssache machen.

Die gezeigten Diagramme haben eine andere Rasterteilung als die EZNEC-Diagramme, nämlich 10dB/Ring.



Dies sind die von mir in meinen Bauanleitungen beschriebenen und auch **von mir selbst verwendeten Antennen**. Sie zeigen saubere Diagramme, und die Rückwärtsstrahlung und Nebenzipfel sind min. 17 dB unterdrückt – in der Praxis sind schon 10 dB ausreichend, um eine eindeutige Maximum-Peilung zu ermöglichen.

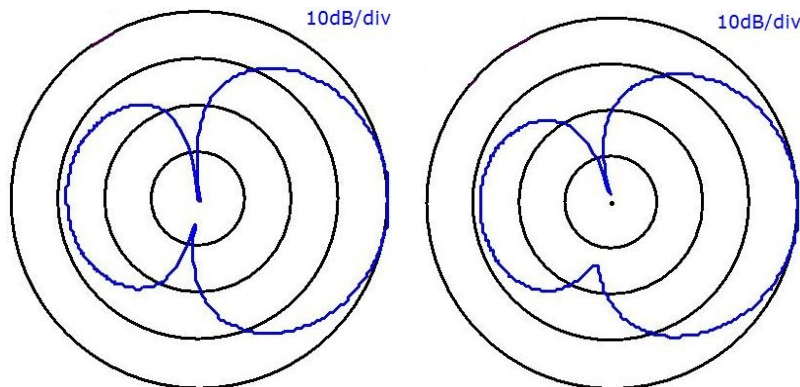
Auch wenn es auf den ersten Blick so aussieht: keine der Antennen schießt. Vielmehr habe ich sie nicht bei allen Messungen exakt auf die Nullrichtung ausgerichtet, so dass manche Diagramme einen leichten Winkerversatz haben.



Bei den Diagrammen links halte ich die **3-Element Yagi R1 in der Hand**, links über den Kopf (2m hoch) und rechts vor den Körper (1m hoch) mit realem Wellenbauch.

Die dadurch entstehenden Diagrammänderungen sind vernachlässigbar. Auch dies ein Hinweis, dass das Peilen mit der Antenne vorm Körper keine Nachteile bringt.

Allerdings: das gemessene Signal ist in 1m Höhe rund 5 dB schwächer als in 2m. Bei sehr schwachen Signalen muss man also doch den Arm strecken.



Diese beiden Diagramme zeigen die **Moxon Kurz**, links 2,15m hoch auf dem Stativ, rechts 1m hoch vor den Körper gehalten. Hier enttäuscht das V/R-Verhältnis – da ist noch etwas Optimierung erforderlich.

Antennen-Typ	Öffnungswinkel -3dB	Gewinn dBi	V/R-Verhältnis	Nebenzipfel
R1	66°	4,8	17 dB	< -20 dB
R2	68°	5,6	> 20 dB	< -20 dB
Moxon Kurz	80°	4,4	12 dB	Keine
HB9CV	72°	6,3	17 dB	< -20 dB

Diese **Tabelle** fasst die gemessenen Werte zusammen.

Die **Öffnungswinkel** stimmen, im Rahmen der Messgenauigkeit, gut mit den simulierten Werten überein.

Die **Antennengewinne** weichen (um wenige dB) ab. Das liegt daran, dass EZNEC Antennen immer mit ihrem Fußpunktwiderstand abschließt, bei den realen Messungen hingegen der Abschluss mit 52 Ohm erfolgt. Daraus ergeben sich dann Anpassverluste, insbesondere bei den Yagis R1 und R2.

Das unbefriedigende **V/R-Verhältnis** der Moxon hatte ich schon erwähnt.

Fazit der Messungen:

- EZNEC hat mit geringem Aufwand sehr brauchbare Ergebnisse geliefert.
- Meine Favoriten sind immer noch die 3-Element-Yagis, wegen des guten Kompromisses aus Größe und Öffnungswinkel, und wegen des relativ geringen mechanischen Aufwands und Gewichts.

Meine Antenne schießt und hat ganz viele Nebenzipfel!

Das kommt öfters mal vor: ein völlig frustrierter Fuchsjäger kommt aus dem Wald zurück und erklärt, dass das seine Antenne kaputt sein muss – sie schießt oder hat zahlreiche Nebenzipfel oder die Vor-/Rück-Unterscheidung ist kaum möglich.

In fast allen Fällen ist nicht die Antenne schuld, sondern besonders schwierige Verhältnisse im Gelände, insbesondere feuchter Boden und feuchte Vegetation, die zu besonders viel Reflektionen und Streuungen führen.

Zahlreiche **Nebenzipfel** kann eine 3-Element-Yagi oder HB9CV aufgrund der Konstruktion gar nicht haben. Sie haben genau zwei Nebenzipfel nach schräg hinten, und natürlich die Rückwärtskeule.

Auch dass die Antenne **merklich schießt**, kann man praktisch ausschließen. Das ist bei einer symmetrisch aufgebauten und gespeisten Antenne technisch nicht möglich. Im Rahmen der Messungen habe ich auch zwei asymmetrisch gespeiste HB9CV-Antennen untersucht, darunter die im Handel erhältliche zerlegbare Bauform aus verchromten Stahl. Auch diese Antennen schießen nicht.

Dass beim Peilen im Gelände das Signal **von hinten genau so stark** oder stärker als das von vorne ist, liegt ebenfalls nicht an der Antenne, sondern am Gelände, und ist keineswegs ungewöhnlich. Deshalb ist es auch müßig, die Antenne auf extremes V/R-Verhältnis (> 15 dB) zu trimmen.

Auch eher unwahrscheinlich: ‚Die Antenne geht eigentlich gut, nur im **Nahfeld** unter 100 m versagt sie‘. Technisch gesehen ist Nahfeld der Bereich, in dem sich die Welle von der Antenne ablöst. Das Fernfeld beginnt da, wo E- und H-Feld orthogonal aufeinander stehen und das Feldstärke-Verhältnis der Freiraum-Wellenwiderstand 377Ω ist. Das ist bei einer 2m-Antenne etwa in 1m Abstand ($\lambda/2$) gegeben. Ab einem Abstand von etwa 2 m ändert sich das Antennenndiagramm also nicht mehr

Wer trotzdem seiner Antenne misstraut, sollte folgenden **Test** machen: ein Fuchsjagsender wird auf ein Stativ in die Mitte einer möglichst großen ebenen Wiese gestellt und aus 20 bis 50 m Entfernung gepeilt. Das entspricht etwa den Verhältnissen, unter denen ich die oben gezeigten Diagramme aufgenommen habe, und etwa so sollte sich der Empfänger auch verhalten.

Wenn die Antenne nicht schuld ist, was dann?

Fuchsjäger sind nie um eine Erklärung verlegen, wenn es mal nicht so gut läuft. Neben der Antenne (siehe oben) sind folgende Ausreden bewährt:

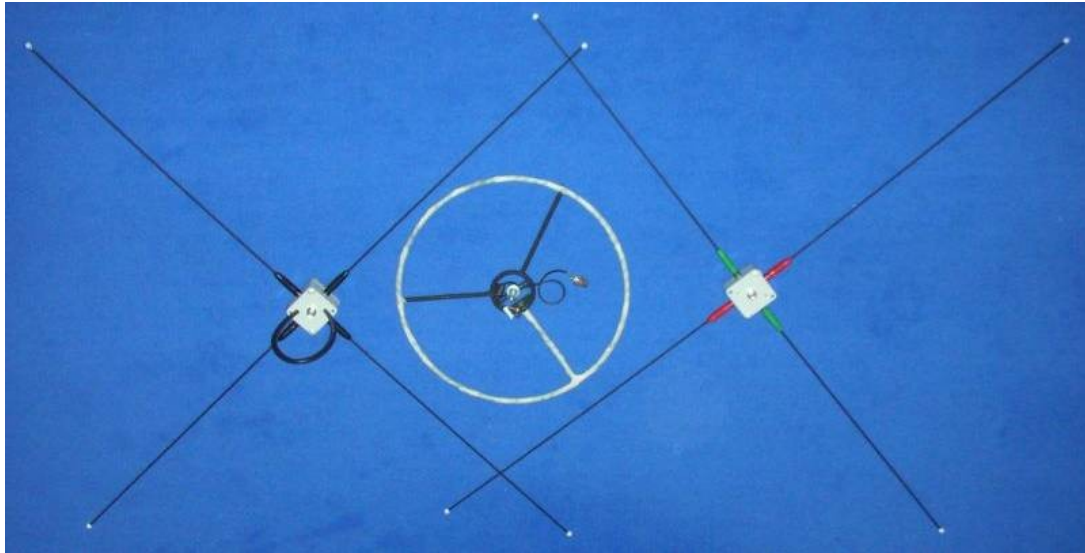
- *Der Empfänger von DF1FO hat versagt.*
- *Habt Ihr auch dauernd Flugfunk gehört?*
- *Die Karte ist ganz schlecht.*
- *Das Gelände ist für eine Fuchsjagd völlig ungeeignet.*
- *Auf solchen Wegen mache ich mir die Knochen nicht kaputt.*
- *Die Füchse waren falsch ausgelegt.*
- *Die Sender haben eine ganz schlechte Modulation.*
- *Ich hatte eine ungünstige Startzeit.*
- *Ich bin gestern einen Marathon gelaufen.*
- *Ich habe mir beim aus dem Auto steigen den Fuß verdreht.*
- *Ich mache ja eigentlich gar keine Fuchsjagden mehr, ich mache jetzt OL.*
- *Und zur Not hilft immer: Meine Antenne schießt und hat ganz viele Nebenzipfel...*

Folgende Erklärungen sind dagegen nicht zu empfehlen, sie werfen ein schlechtes Licht auf den Jäger:

- *Ich hätte beim Peilen nicht an einer Stelle stehen bleiben dürfen.*
- *Ich war zu bequem auf den schönen Hügel zu laufen, von dem aus man prima peilen konnte.*
- *Ich war nicht konzentriert genug, und habe die Füchse verwechselt.*
- *Ich habe meiner Vermutung, wo die Sender sind, mehr getraut als meinen Peilungen.*
- *Man lernt nie aus, und heute habe ich viel gelernt.*
- *Beim nächsten Mal läuft es wieder besser!*

Sendeantennen-Simulation mit EZNEC

Nach den IARU-Regeln sollen die bei Fuchsjagden verwendeten Sendeantennen Rundstrahler mit horizontaler Polarisation sein. Es werden überwiegend Kreuzdipole eingesetzt, gelegentlich auch zu einem Ring gebogene Dipole (auch Halo genannt).

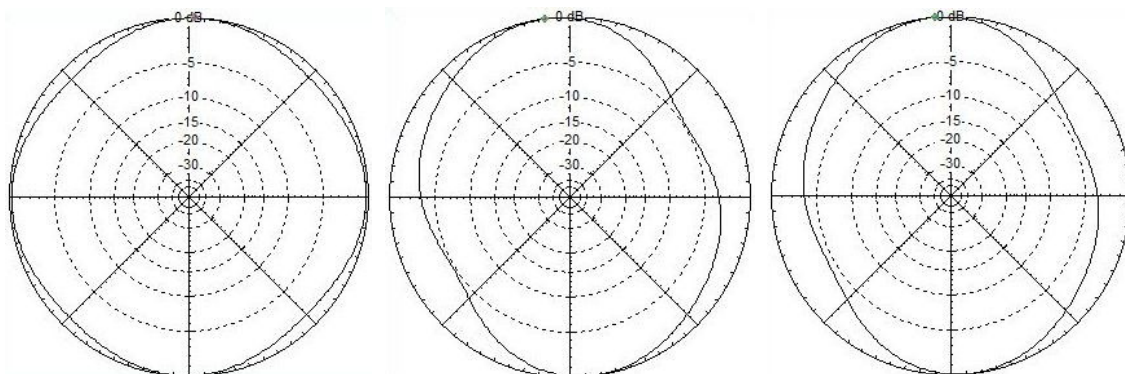


Die von mir betrachteten Sendeantennen:

- Links: Kreuzdipol mit Phasenleitung
- Mitte: Halo an 30 cm Staudenhalter-Ring
- Rechts: Kreuzdipol mit zwei Elementlängen

Kreuzdipol

Der Kreuzdipol besteht aus zwei um 90° gegeneinander verdrehten Dipolen, die über eine Phasenleitung 90° versetzt gespeist werden. Er sieht harmlos aus, ist es aber nicht. Hier einige Beispiele:



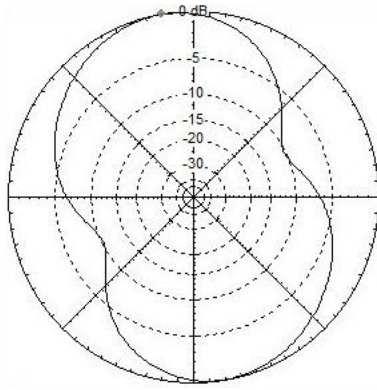
Kreuzdipol, optimal

Elemente je 2 cm zu lang

Phasenleitung zu kurz und 50 Ω

Der ‚optimale‘ Kreuzdipol hat ein sehr schönes Diagramm, die ‚Unrundheit‘ ist 1,2 dB. Diese Antenne hat eine Dipollänge Spitze-Spitze von 99 cm bei 2mm Durchmesser, und eine 75Ω-Phasenleitung (ideal wären 72 Ω) von 33 cm Länge bei einem Verkürzungsfaktor von 0,66 (z.B. RG-59).

In Bauanleitungen aus den 80er Jahren findet man Dipollängen von 104 cm. Die Fußpunktwiderstände der beiden Dipole haben dann einen induktiven Blindanteil, die Phasenleitung transformiert den mit, und somit stimmen sowohl Phasen- als auch Amplitudenbeziehung der beiden Dipole nicht mehr. Das mittlere Diagramm zeigt den Effekt: die Unrundheit beträgt 5 dB. Den gleichen Effekt erzielt man mit einer falsch dimensionierten Phasenleitung: im rechten Diagramm ist sie 5 cm zu kurz und hat 50Ω statt 75Ω Wellenwiderstand.



Und hier das völlige Debakel: diesen Kreuzdipol hatte ich ‚nach Gefühl‘ aufgebaut. Die Dipollänge ist 106 cm (beim Messen die Bananenstecker vergessen), die Phasenleitung ist 33 cm lang (stimmt immerhin) und hat 50Ω (da hatte ich schönes dünnes RG174).

Die Einzüge im Diagramm sind 10 dB tief. Dass diese Antenne nicht rund strahlte, merkte ich schon beim drumherum-laufen mit einem Peilempfänger.

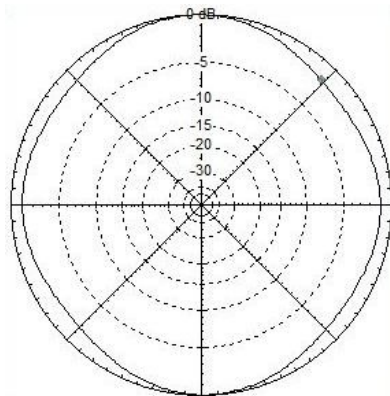
Diese völlig missratene Antenne war der Anlass, mich mit EZNEC zu befassen, und somit der Ausgangspunkt für diesen Bericht.

Kreuzdipol mit zwei Elementlängen

Die Schwachstelle bei der Nachbausicherheit des Kreuzdipols ist die Phasenleitung. Kleine Längenfehler (zählt der abisolierte Teil mit?) resultieren in erheblichen Diagrammfehlern.

Eine Alternative wäre es, die Phasenverschiebung zwischen den beiden Dipolen zu erzeugen, indem der eine Dipol über Serien-Cs und der andere über Serien-Ls gespeist wird. Sie müssten so dimensioniert werden, dass sich 90° Phasenunterschied ergeben. Praktisch funktioniert das leider nicht gut (wegen der parasitären Kapazität bzw. Induktivität der Bauteile).

Den gleichen Effekt können wir aber noch einfacher erzielen, indem wir den einen Dipol zu lang und den anderen zu kurz machen. Dann hat der eine einen induktiven Blindanteil und der andere einen kapazitiven. Bei richtiger Bemessung lassen sich so leicht 90° Phasenverschiebung erreichen.

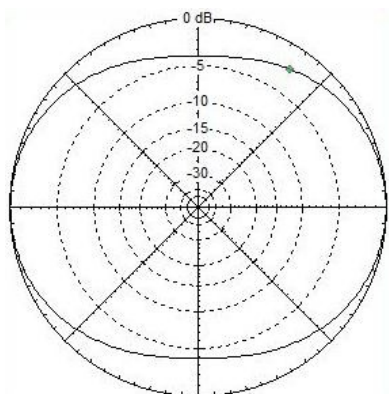


Bei dem hier gezeigten Kreuzdipol ist ein Dipol **92,5 cm** lang, der andere **107 cm** bei 2mm Durchmesser. Beide Dipole sind im Speisepunkt parallel geschaltet. Die Ströme in den beiden Dipolen sind laut EZNEC gegeneinander um 91° verschoben. Die ‚Unrundheit‘ ist mit 1,7 dB geringfügig schlechter als beim ‚idealen‘ Kreuzdipol, dafür ist diese Antenne wegen des Fehlens der Phasenleitung einfacher nachzubauen.

Für diesen Kreuzdipol ist eine Bauanleitung im Anhang.

Ringdipol (Halo)

Die klassische Halo-Antenne ist ein Dipol, der zu einem nicht ganz geschlossenen Ring gebogen wird. Er wird über ein Gammamatch gespeist. Näheres dazu z.B. im Rothammel. Er ist mechanisch aufwendiger als der Kreuzdipol und wird daher praktisch nicht (mehr) eingesetzt.



In der Baubeschreibung zu meinen 2m-100mW-Füchsen (*2mMidITX.doc*) beschreibe ich eine vereinfachte Version: die Dipoläste bestehen aus Litze, die von einem 30cm-Staudenhalter-Ring gehalten wird.

Die Unrundheit dieser Antenne ist laut EZNEC 3,8 dB, siehe nebenstehendes Diagramm. Der Gewinn (in der Hauptstrahlrichtung) ist 0,8 dB niedriger als beim Kreuzdipol.

Der Speisewiderstand in der Dipolmitte liegt bei 15 Ω.

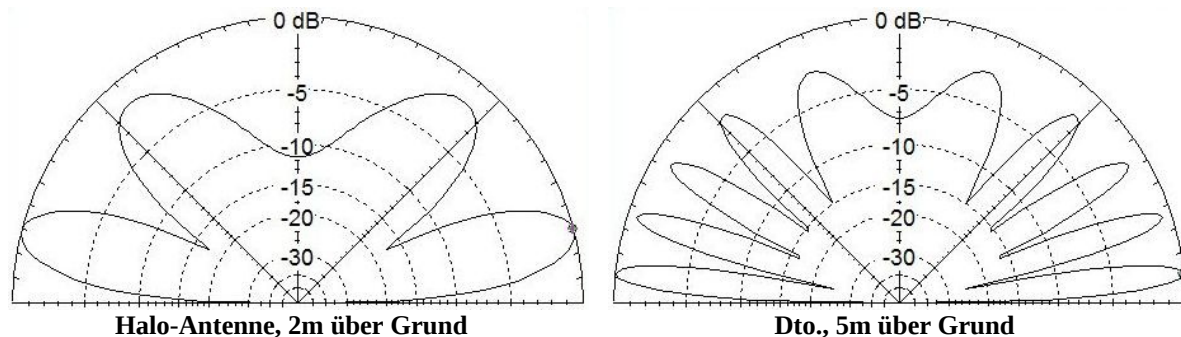
Für die komplette Modellierung muss man noch die elektrischen Daten der beiden zur Speise- und Transformationsleitung verdrehten PVC-isolierten Litzen ($0,14 \text{ mm}^2$) kennen. Eine Messung ergab einen Wellenwiderstand von 153Ω und einen Verkürzungsfaktor von $0,62$. Dieses ins Modell eingesetzt und das Serien-C von den von mir in der Praxis ermittelten 5 pF auf 7 pF erhöht liefert in der Simulation gute Anpassung auf $145,0 \text{ MHz}$ mit $Z = 40 \Omega$ und SWR besser $1,5$. Die Frequenz der besten Anpassung kann durch variieren des Serien-Cs um einige MHz verschoben werden. Das ist einfacher, als an den Drahtlängen zu schnipseln.

Im Vergleich zum Kreuzdipol ist die Halo in der Diagramm-, 'Rundheit' unterlegen. Als praktische Kompaktantenne für kleine Fuchsjagden ist sie aber trotzdem interessant. Ihr Hauptvorteil ist sicher, dass sie praktisch ist:

Ein herkömmlicher 2m-Fuchs besteht aus 7 verlierbaren Teilen: Sender, Antennenkabel, Kreuzdipol-Mittelstück, und vier Antennenstäben. Der 100mW-Fuchs mit Halo besteht aus nur einem Teil.

Vertikaldiagramm

Auch das Vertikaldiagramm der Sendeantennen ist von Interesse. Die folgenden Diagramme sind für die Halo-Antenne gerechnet, sehen aber für den Kreuzdipol genauso aus.



Das Strahlungs-Maximum einer 2m hoch aufgehängten Antenne zeigt 15° nach oben, das einer 5m hoch aufgehängten Antenne nur 6° nach oben. (Hier nicht gezeigt: bei einer Antennenhöhe von 1m über Grund zeigt die Hauptkeule 30° nach oben.) Je höher die Antenne hängt, umso flacher wird also die Hauptkeule. Da Fuchsjäger der Erdoberfläche verhaftet sind, sollte eine flache Strahlung günstig sein. Und die Erfahrung bestätigt das auch: je höher ein Fuchs gehängt wird, umso stärker wird sein Signal. Ein Umhängen von 1 auf 2m ergibt etwa 6 dB mehr Feldstärke, auf 5m mindestens noch einmal so viel.

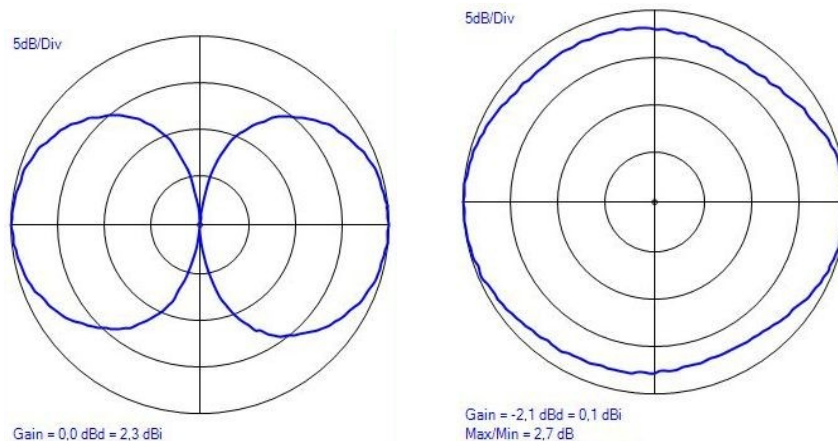
Aber auch bei hoch gehängtem Fuchs kommt meist keine Strahlung vom Sender direkt beim Fuchsjäger an. Das liegt daran, dass UKW-Wellen nicht dem Erdboden folgen (wie es 80m-Wellen tun), sondern vom Boden absorbiert werden. Da der Fuchsjäger meist keine optische Sicht zum Sender hat, ist er auf Wellen angewiesen, die an Bäumen oder Geländeformationen gestreut, gebeugt oder reflektiert werden. Meist hat er es mit einer Überlagerung mehrerer Wellen zu tun, was er daran merkt, dass er nur zwei Schritte weitergehen muss, und die (aus der Überlagerung resultierende) Feldstärke und Signalrichtung ändern sich deutlich.

Dies erklärt auch folgenden Effekt: bei Peilungen über ein Tal hinweg zu einem Fuchs am Gegenhang können sehr hohe Feldstärken auftreten, die zu einer viel zu kurzen Entfernungsschätzung führen. Dies passiert dann, wenn man bei optischer Sicht in die Hauptkeule des Diagramms hineingeraten ist.

Freifeld-Messungen an Sendeantennen

Auch die Sendeantennen habe ich im Freifeld – auf einer großen Wiese - vermessen. Bei diesen Antennen können schon kleinste reflektierte Wellen das Rundstrahlendiagramm deutlich beeinflussen. Deshalb habe ich hier die Messstrecke auf 6m verkürzt. Das sind 3 Wellenlängen und damit Fernfeld.

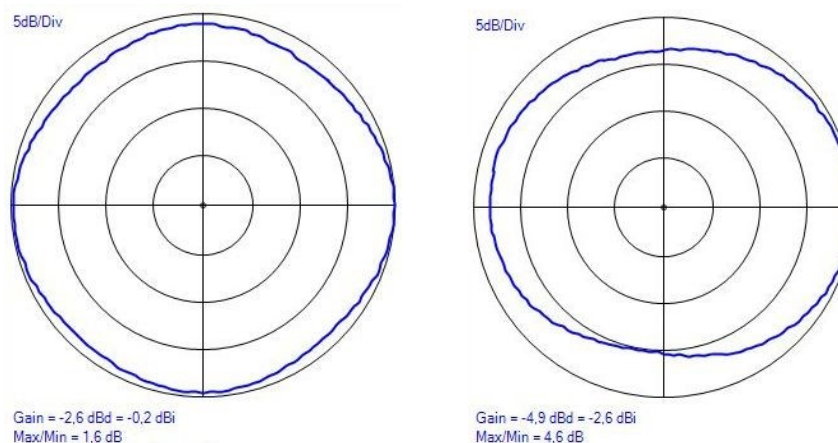
Im Messaufbau wird zwar mit der betrachteten (Sende-) Antenne empfangen, und mit der festen Bezugsantenne gesendet. Das ist aber zulässig, weil Richtdiagramm, Gewinn und Fußpunkt-widerstand für passive Antennen bei Senden und Empfang gleich sind (Für Bildungsprotzer: Reziprozitätstheorem).



Achtung: in den Diagrammen dieses Abschnitts ist die Rasterteilung 5 dB/Ring.

Links sieht man das Diagramm des Referenzdipols, mit dem ich die Messstrecke kalibriert habe.

Rechts sieht man das Diagramm des Kreuzdipols mit Phasenleitung. Die Unrundheit ist mit 2,7 dB etwas grösser als simuliert. Aber wie oben schon ausgeführt braucht man viel Glück, um diese Antenne perfekt hinzubekommen.



Links sieht man das Diagramm des Kreuzdipols mit 2 Längen. Es passt fast perfekt zum Simulationsergebnis. Rechts sieht man das Diagramm der Halo. Es ist erwartungsgemäß deutlich schlechter als das der Kreuzdipole.

Die folgende Tabelle fasst die Simulations- und Mess-Ergebnisse zusammen:

Antennen-Typ	Gewinn dBi max.		Unrundheit		Gewinn dBi min.		Fußpunkt-Widerstand	SWR
	EZNEC	Real	EZNEC	Real	EZNEC	Real		
Kreuzdipol Phasenleitung	-0,7	+0,1	1,2	2,7	-1,9	-2,6	37 + j0 Ω	1,2
Kreuzdipol 2 Längen	-0,4	-0,2	1,7	1,6	-2,1	-1,8	65 - j15 Ω	1,5
Halo	-1,5	-1,1	3,8	4,6	-5,3	-8,7	37 - j6 Ω	1,4

Die **Tabelle** zeigt jeweils den **Antennengewinn in der stärksten und der schwächsten (horizontalen) Strahlrichtung**. Alle Antennen haben gegenüber einem theoretischen Kugelstrahler (isotroper Strahler) einen negativen mittleren Gewinn. Beim Kreuzdipol ist das besonders leicht einzusehen: Er strahlt ja vorzugsweise eine zirkular polarisiertes Signal nach oben und unten, und nur ‚als Abfallprodukt‘ ein horizontal polarisiertes zu den Seiten.

Wenn wir berücksichtigen, dass alle Werte mit mindestens **1 dB Mess-Ungenauigkeit** behaftet sind, passen die Messwerte sehr gut zu den Simulationsergebnissen. Beim Kreuzdipol mit Phasenleitung ist mehr Glück oder Optimierungsaufwand als beim Kreuzdipol 2 Längen erforderlich, um ein ordentliches Diagramm hinzubekommen. Die reale Halo hat noch weniger Gewinn als die simulierte, was wohl an Verlusten in den dünnen Litzen und auch dielektrische Verlusten im Kunststoffring liegt.

In der Strahlrichtung mit minimalem Gewinn liefert die **Halo ein etwa 3 dB schwächeres Signal** als ein Kreuzdipol. Wenn in jede Strahlrichtung eine Mindest-Feldstärke garantiert werden soll, muss ein Sender mit Halo also 3 dB mehr Output liefern (doppelte Sendeleistung) als ein Sender mit Kreuzdipol.

Alle gemessenen Sendeantennen haben eine ausreichend gute **Anpassung**. Die Rückflußdämpfung liegt jeweils bei 10 bis 15 dB, das entspricht einer reflektierten Leistung von weniger als 10% und einem SWR von besser als 2,0. Dabei ist der Bereich guter Anpassung (> 10 dB Rückflußdämpfung) bei der Halo nur 1,5 MHz breit, bei den Kreuzdipolen hingegen ist er mindestens 10 MHz breit. Je nach Exemplar-Streuungen von Staudenhalter und Aufbau kann deshalb bei der Halo etwas Optimierung nötig sein (5pF-C verändern), um gute Anpassung zu erreichen.

Unterm Strich scheint mir der **Kreuzdipol / 2 Längen die unkritischste und am leichtesten nachzubauende Antenne** zu sein.

Mantelwellensperre

Eine konstruktive Schwäche der beschriebenen Rundstrahl-Antennen ist, dass symmetrische Dipole direkt mit dem asymmetrischen Koaxkabel gespeist werden, was bekanntlich zu Mantelwellen (Wellen auf dem Außenleiter des Kabels) führt. Dagegen hilft eine Mantelwellensperre (eine Verdrosselung des Außenleiters). Bei meinen Versuchen habe ich allerdings keine Verbesserung des Diagramms durch eine Mantelwellensperre festgestellt, und deshalb lasse ich sie weg – genau wie eigentlich alle Autoren vor mir.

Schlusswort

Das Thema ‚Antennen‘ ist sehr komplex und hat viele Facetten. Simulationen sind Simulationen, und für Messungen gilt trotz aller Sorgfalt die alte Regel: ‚Wer viel misst, misst viel Mist‘. Deshalb bitte ich, wie schon am Anfang gesagt, diesen Bericht nur als Diskussionsbeitrag zu sehen.

Aber eines traue ich mich denn doch zu behaupten:

EZNEC ist, auch in der kostenlosen Demo-Version, sehr gut brauchbar um die bei 2m-Fuchsjagd-Empfängern und –Sendern verwendeten Antennen zu untersuchen und zu optimieren. Es kann einem helfen, so manchen missratenen Versuchsaufbau zu vermeiden oder zumindest zu erklären.

Anmerkungen dazu, Kritik, Korrekturen, Fragen oder Ergänzungen sind wie immer willkommen an DF1FO@dar.c.de

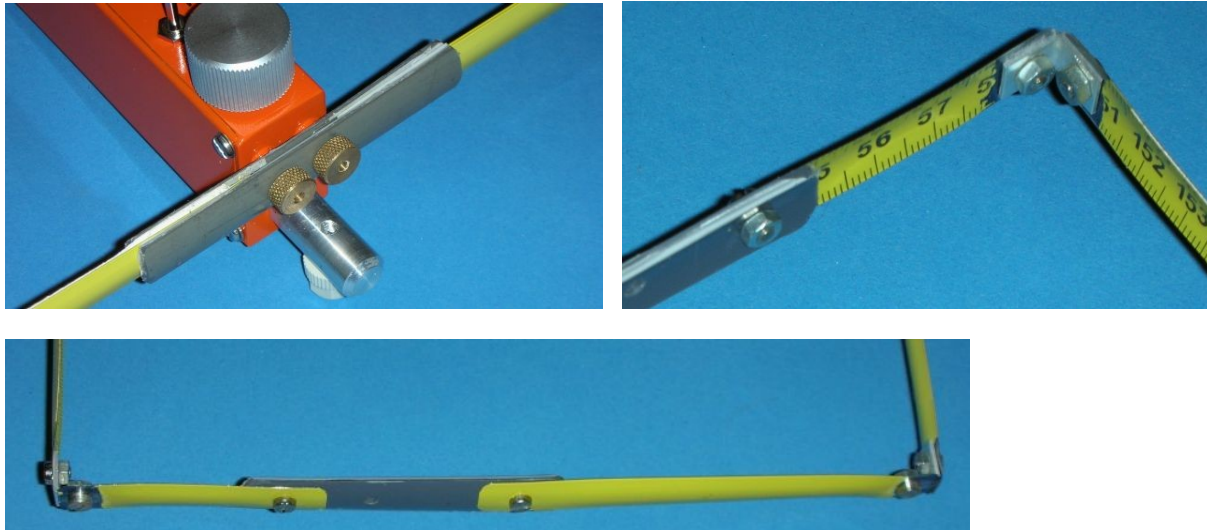
Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei **Martin Kuhn, DL3SFB**, für viele fruchtbare Antennen-Diskussionen bedanken!

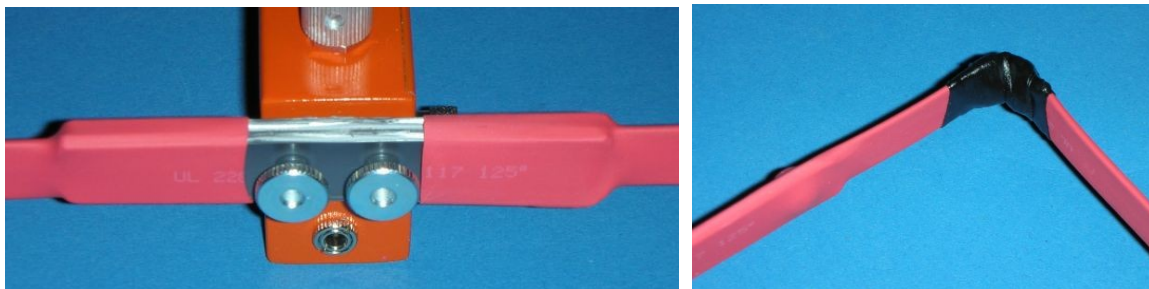
Anhang: Aufbauhinweise für einige Antennen

Moxon-Antenne

Der Aufbau der von mir gebauten Moxon-Kurz-Antenne soll hier kurz beschrieben werden. Die Elemente bestehen aus 12,5 mm breitem Stahlbandmaß (billigste Ausführung).

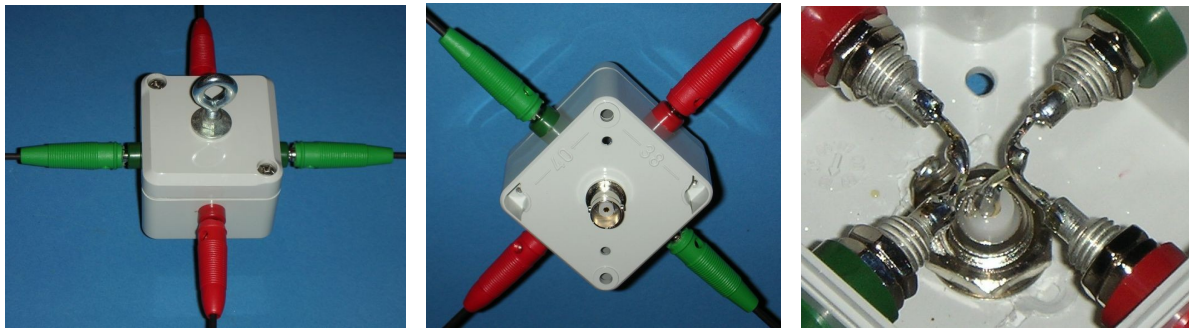


Die Empfänger-Anschlüsse von Strahler und Reflektor sind genau wie bei meinen anderen 2m-Antennen ausgeführt: vor und hinter das Bandmaß kommt jeweils ein PVC-Streifen, der aus einem Rohr mit 40 mm Ø gesägt wird. Er ist hier nur 13 mm breit. An den Ecken sind die Bandmaßabschnitte mit kleinen Winkeln und M3-Schrauben verbunden. Strahler- und Reflektor-Ende werden für bessere Stabilität mit einem PVC-Streifen verbunden. Die 82 cm langen Teile von Strahler und Reflektor bestehen für bessere Stabilität aus je zwei Lagen Bandmaß. Sie werden an den Kontaktstellen beidseitig blank freigekratzt und dann mit doppelseitigem Klebeband verklebt, wobei die Kontaktstellen frei bleiben. Auch die Enden der kurzen Bandmaß-Abschnitte, die mit den Winkeln verschraubt werden, müssen blank gekratzt werden..



Schließlich werden die vier Seiten mit Schrumpfschlauch 12,5 mm überzogen. Das sieht besser aus, und erhöht die Stabilität. Die Ecken habe ich als Korrosions- und Verletzungs-Schutz mit selbst-verschweißendem Isolierband umwickelt.

Kreuzdipol mit 2 Elementlängen



Die Bilder zeigen den sehr einfachen Aufbau. Das Mittelstück dieser Antenne ist ein Gehäuse ‚Bopla ET-205‘ (Reichelt). In der Mitte des Deckels sieht man eine Ringschraube M5 als Aufhängepunkt, in der Mitte des Bodens eine BNC-Buchse als Anschlusspunkt, und in jeder der vier Seiten eine Bananenbuchse als Elementanschluß.

Die beiden Buchsen- und Elementpaare müssen wegen ihrer unterschiedlichen Länge durch verschiedene Farben gekennzeichnet werden. Jeweils zwei über Eck liegende Bananenbuchsen werden mit einem Drahtbügel verbunden, und die BNC-Buchse über kurze Drahtstücke jeweils mit der Mitte der Bügel.

Die Elemente bestehen aus 2mm Federstahldraht (Modellbau). An ein Ende wird ein Bananenstecker angelötet (Draht etwas anfeilen, dann lötet er sich gut). Die Gesamtlänge des kurzen Dipols ist nach Optimierung 90 cm, die des langen 105 cm. Diese Längen sind etwas kürzer als modelliert. Der Draht wird als Rostschutz mit Schrumpfschlauch überzogen, und dann als Augenschutz ans andere Ende eine Kunststoffkugel geklebt (Bastlerbedarf).



Messen von Z und VF unbekannter Kabel

Hier noch ein Tip, wie man recht einfach Wellenwiderstand Z und Verkürzungsfaktor VF von HF-Leitungen ermitteln kann.

Man nehme ein **1m langes Stück** der zu messenden Leitung, plus je ein 1 cm an jedem Ende für den Anschluss. Dann misst man die Kapazität an einem Ende der Leitung – anderes Ende offen – und die Induktivität – anderes Ende kurzgeschlossen. Ich benutze dazu das **LC-Meter IIB von AADE** (erhältlich beim Funkamateurladen). Vor der Messung sorgfältig auf 0 setzen. Es gehen natürlich auch andere LC-Meter, wenn sie auf einer Frequenz unter 1 MHz messen. Aus den beiden Messwerten kann man ausrechnen:

Wellenwiderstand $Z = \sqrt{L/C}$ L in pH, C in pF, ergibt Z in Ω

Verkürzungsfaktor $VF = 3300 / (\sqrt{L \times C})$ L in pH, C in pF

Einige von mir gemessene **Beispiele**:

	L in pH	C in pF	Z	VF
RG59 (Reichelt) 75 Ω	405.000	67	78	0,63
Fernsehkoax 75 Ω	392.000	73	73	0,62
2x Litze 0,14 qmm verdreht *1	820.000	35	153	0,62
2 x CuL 0,4 \varnothing verdreht *2	341.000	150	48	0,46

*1: ‚Speiseleitung‘ meiner Pflanzring-Halo

*2: Wicklung auf dem Balun-Ringkern in meinen 2m-Empfängern

Diese Idee habe ich abgesehen bei David Conn, VE3KL (Veröffentlicht im TCA 1/2011).

Messaufbau

Für den Fall, dass jemand auf den Geschmack gekommen ist, und die Antennenmessungen nachvollziehen will, beschreibe ich hier kurz den Aufbau, mit dem ich die Sendeantennen vermessen habe.



Auf dem Bild sehen wir vorne das **Testobjekt** (die zu messende Antenne), links dahinter den **Sender**, und noch dahinter das Auto mit der **Datenerfassung**.

Die Messung erfolgt auf einer **großen Wiese**, und der Aufbau hat rundum mindestens 50m Abstand zu Bäumen, Zäunen oder sonstigen Objekten. Einzige Ausnahme ist das Auto.

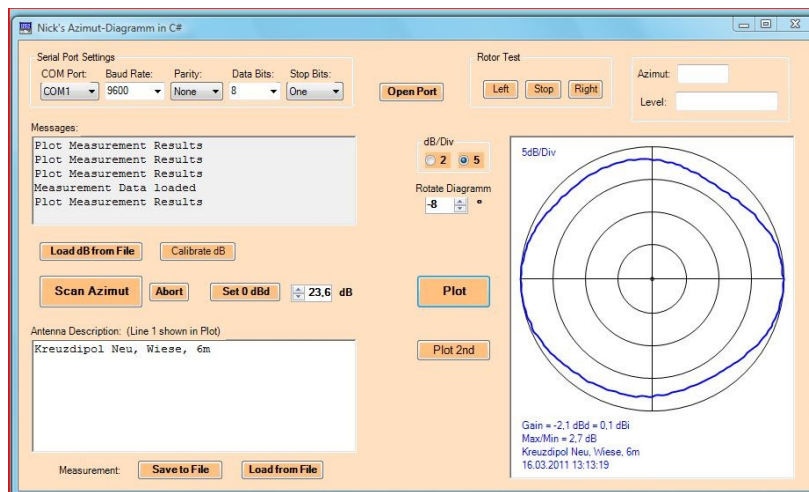
Als **Sender** benutze ich einen in eine kleine Blechdose eingebauten Generator 144,5MHz/10mW/unmoduliert. Ich habe dafür eine meiner 2mMidiTX-Platinen benutzt, auf der nur der ICS525 und der Spannungsregler bestückt sind. Er wird von einer 9V-Batterie versorgt und speist eine **HB9CV**, die von einem Mikrofonständer mit Galgen in 2,5 m Höhe gehalten wird. Das Auto steht hinter der HB9CV, so dass es nicht angestrahlt wird und daher auch nicht stört.

Die **zu testende Antenne** wird von einem preiswerten Rotor gedreht. Die Antennenhalterung oberhalb des Rotors ist aus Holz, die Antenne hängt in 2,20 m Höhe. Den Abstand zum Sender variere ich zwischen 6 m und 12 m, idealerweise sollte das nur einen geringen Einfluss auf das Diagramm haben.

Als **Messem Empfänger** benutze ich einen meiner (SMD-) Fuchsjagdempfänger, bei dem ich die Richtspannung direkt am Demodulator abnehme. Dabei steuere ich den Empfänger bis zu 5V Richtspannung aus, das S-Meter ist dabei schon weit über

dem Anschlag. Damit lässt sich ein Dynamikbereich von 30 dB abdecken. Die Auflösung ist im mittleren Bereich besser 0,2 dB.

Der **Rotor** wird an einem **selbstgebauten Steuergerät** betrieben. Er hat im Lieferzustand keine Positions-Rückmeldung, ich habe deshalb ein hochauflösendes (10-Gang-) Poti im Rotor nachgerüstet. Das Steuergerät enthält einen Prozessor, der den Rotor steuert, die Richtspannung des Empfängers A/D-wandelt, und über eine serielle Schnittstelle mit einem Laptop kommuniziert.



Der für mich größte Aufwand war die Erstellung des **Programms** auf dem Laptop, mit dem ich die Daten aufnehme und auswerte. Ich habe das Programm in Microsoft Visual C# Express geschrieben. Da für mich die Sprache, die Entwicklungs-umgebung und selbst die Paradigmen der OO-Programmierung fremd waren, dauerte das so seine Zeit. Aber man lernt halt immer noch dazu.

Das Programm startet den Messablauf im Rotor-Steuergerät,

und erhält von dort 180 Amplitudenwert für 180 2°-Schritte zurück. Diese werden in dB umgerechnet anhand einer Eichentabelle, die zuvor mit einem genauen Mess-Sender aufgenommen werden muss. Außerdem muss am Anfang der Messung mit einem Dipol als Referenzantenne die Messstrecke geeicht werden. Die 180 dB-Werte werden noch normiert und dann in Polarkoordinaten geplottet. Gewinn, Unrundheit und Messzeit werden ermittelt und gleich mitgeplottet. Für Antennenvergleiche können zwei Diagramme übereinander dargestellt werden. Zudem können die Messwerte für spätere Auswertungen gespeichert und wieder geladen werden.

Da könnte man natürlich noch viel dazu erfinden – Software ist ja bekanntlich nie fertig!

