

# Duoband-Yagis für 2m und 70cm mit nur einem Speisepunkt

**Martin Steyer, DK7ZB**

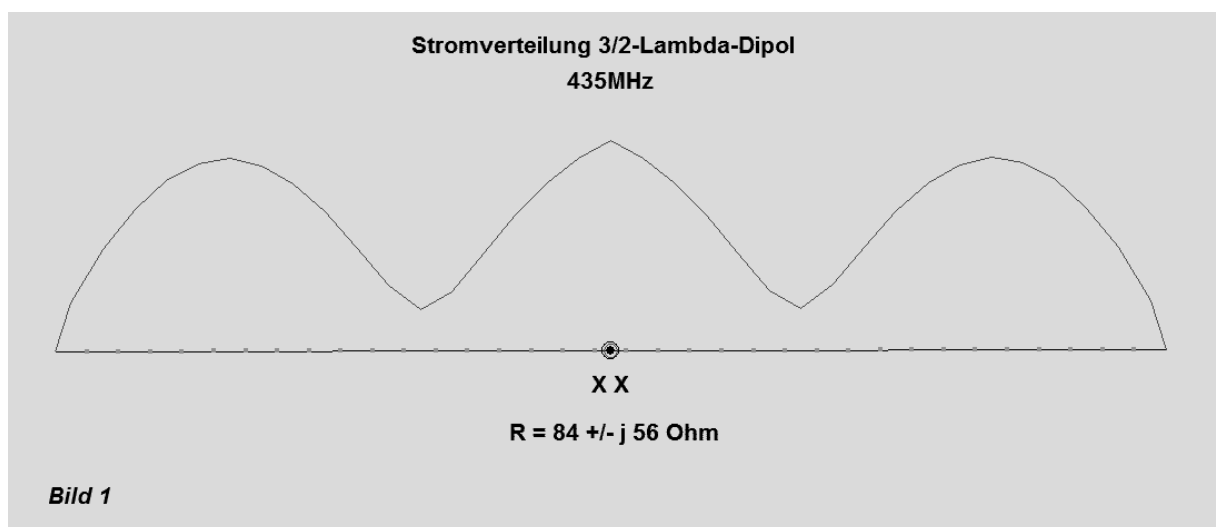
dk7zb@fox28.de

Nicht nur beim BBT, wo das Gewichtslimit kreative Lösungen verlangt, dürften die hier beschriebenen Yagis von Interesse sein. Ein Speisepunkt, nur ein Koaxialkabel, und trotzdem mit ausreichendem Gewinn auf 2m und 70cm funken zu können ist eine Vorstellung, die vielen Portabel-Fans entgegenkommen dürfte.

Grundlage ist die konsequente Anwendung der „open-sleeve“-Technik nicht nur für den Strahler, sondern auch für die Direktoren. Zunächst soll auf die theoretischen Grundlagen eingegangen werden. Dies ermöglicht auch eigene Vorstellungen zu realisieren, wenn man mit einem auf den NEC- Algorithmen basierenden Programm umgehen kann [1, 2].

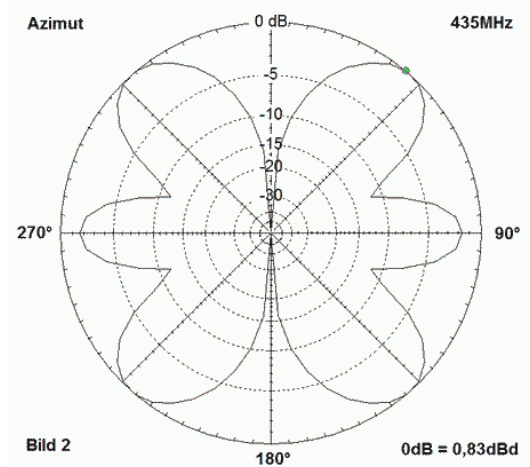
## Physikalische Grundlagen der Duoband-Yagis

Ausgangspunkt ist die Tatsache, daß zwischen 145MHz und 435MHz ein frequenharmonisches Verhältnis von 1:3 besteht. Prinzipiell ist es daher möglich, einen für das 2m-Band ausgelegten Dipol auch auf 435MHz mit einer  $3/2\lambda$ -Resonanz zu betreiben. Ein Dipol aus 8mm-Aluminiumrohren hat auf 145MHz einen Strahlungswiderstand von  $72 \pm j0 \Omega$  und nur einen Strombauch am Speisepunkt. Wird er nun auf 435MHz erregt, bilden sich drei Strombäuche aus (**Bild 1**). Gleichzeitig passiert aber noch zweierlei: Der Strahlungswiderstand steigt an und ein erheblicher kapazitiver Blindanteil  $-j$  tritt auf. Dies bedeutet, der Dipol ist zu kurz.



Die Stromverteilung auf einem  $2 \times 3/4\lambda$ -Dipol führt aber auch zu einem gänzlich anderen Richtdiagramm, wie **Bild 2** zeigt. Es gibt ein aufgefächertes Horizontaldiagramm, wobei die vier stärksten Keulen einen Gewinn von 0,83dB gegenüber einem Halbwellendipol aufweisen. Dieses Phänomen wurde schon von DL1BU (†) in seinem legendären „Streifzug durch den Antennenwald“ behandelt [3]. Das Problem der Anpassung lässt sich relativ einfach lösen, das des Richtdiagrammes bleibt aber bestehen.

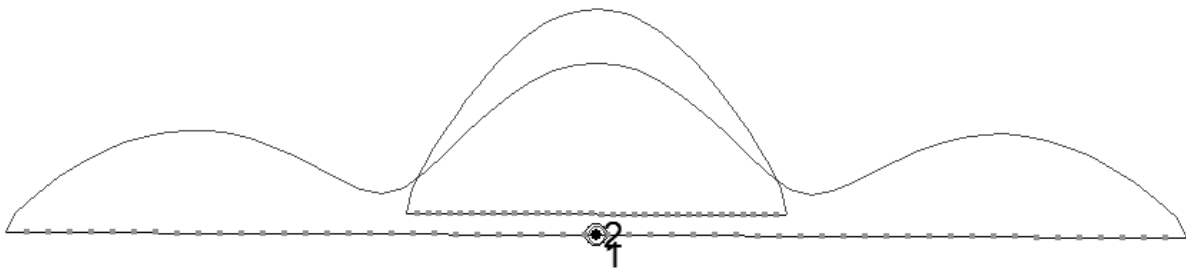
Selbst wenn wir also mit tragbarem SWR den 2m-Strahler auf 70cm betreiben, ist das eine denkbar schlechte Ausgangsbasis für eine Yagi, die nur eine ausgeprägte Vorwärtskeule aufweisen soll.



In **Bild 2** ist die Ausrichtung des  $3/2\text{-}\lambda$ -Dipols in der Achse  $0^\circ$ - $180^\circ$ . Die beiden Keulen bei  $270^\circ$  und  $90^\circ$  sind zurückzuführen auf den mittleren Strombauch, die vier anderen Keulen haben ihre Ursache in den zwei zusätzlich auftretenden Strombäuchen.

Bei einer Richtantenne nach dem Yagi-Prinzip muss nun die Keule bei  $90^\circ$  verstärkt werden, gleichzeitig müssen die fünf anderen so weit wie möglich unterdrückt werden. Auf den ersten Blick erscheint das als ein aussichtsloses Unterfangen, aber es gelingt mit einem Trick.

Dazu betrachten wir zunächst **Bild 3**. Hier wurde ein zusätzliches, etwa  $\lambda/2$ -langes Element für 435MHz eingefügt.



**Bild 3**

Bei richtigem Abstand und korrekter Länge erfüllt dieses Element gleich mehrere Funktionen und erweist sich so fast als „eierlegende Wollmilchsau“.

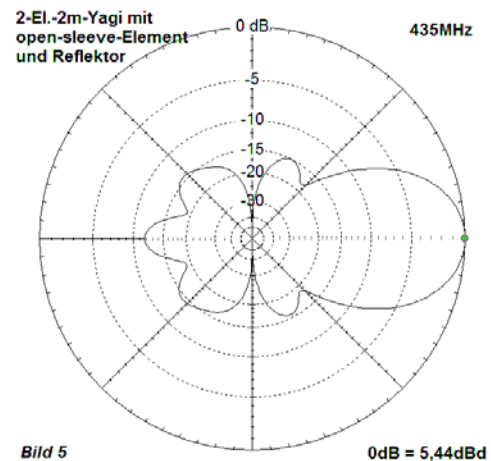
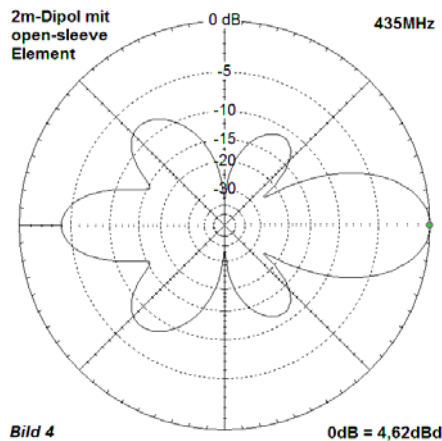
- Es führt einen höheren Strom als das gespeiste Element 1 und hat so „open-sleeve“-Eigenschaften und ist damit der eigentliche Strahler auf 432MHz.
- Es führt durch die enge Nachbarschaft zum Speiseelement zu einer virtuellen Verlängerung des 2m-Strahlers, der durch die  $3/2\text{-}\lambda$ -Resonanz einen stark kapazitiven Blindanteil hat.
- Es senkt den auf 432MHz höheren Strahlungswiderstand auf  $50\Omega$  ab.
- Es verringert die Amplitude der beiden äußeren Strombäuche des Speiseelementes und ist damit für den Rückgang der beiden starken Nebenkeulen verantwortlich (vergl. **Bild 1!**).
- Es entfaltet noch eine gewisse Direktorfunktion und trägt dadurch zur Gewinnerhöhung bei.

So ergibt sich schon allein ein Gewinn von 4,6dBd und man sollte sich überlegen, ob es sich lohnt in eine vorhandene 2m-Yagi ein solches Matchelement für die Mitnutzung des 70cm-Bandes hineinzusetzen. Wie EZNEC +5 und die Praxis zeigen, ergibt sich so auch eine ausreichende Bandbreite. Auf 435MHz läßt sich tatsächlich eine Impedanz von  $50 \pm j0\Omega$  einstellen und an den Bandgrenzen steigt das SWR nicht über 1,25 an. Das Azimutdiagramm einer solchen Anordnung sieht man in **Bild 4**.

Wie Versuche zeigen, ist das bei Yagis mit Faltdipolen aus verschiedenen Gründen deutlich schwieriger als mit gestreckten Halbwellendipolen als Speiseelement. Ideal eignen sich die zerlegbaren 50Ω-Leichtbau-Yagis, die in verschiedenen Varianten vorgestellt wurden [3, 4, 5, 6].

Auf 2m werden die Eigenschaften in keiner Weise beeinflusst, so daß man ein solches Zusatzelement praktisch für ca. 4dBd Gewinn auf 70cm ohne weiteres nachrüsten kann.

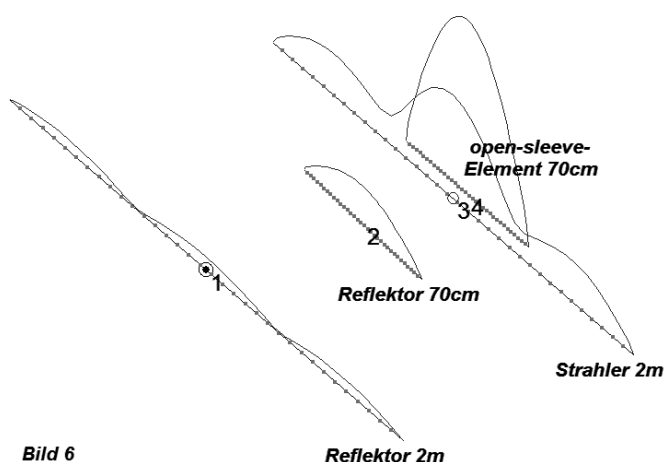
Für Yagis mit weiteren Direktoren für das 2m-Band wird das Hinzufügen von 70cm-Direktoren für sinnvolle Strahlungsdiagramme nicht ganz einfach, weil die  $\frac{3}{4}\lambda$ -Resonanzen auf 435MHz wieder zum Auffächern des Richtdiagrammes führen. Unter bestimmten Bedingungen können aber verschiedene Typen der Leichtbau-Yagis auf 70cm erweitert werden, wenn man auch die Direktoren für 2m um open-sleeve-Elemente ergänzt und damit die Strombelegung entsprechend beeinflusst.



Noch interessanter wird die Sache, wenn man eine 2-Element-2m-Yagi um ein solches open-sleeve-Element und einen zusätzlichen, konventionellen Reflektor für 70cm ergänzt. Das resultierende Diagramm ergibt sich aus **Bild 5**, die Anordnung der Elemente und die Elementströme sind in **Bild 6** aufgeführt.

### Praktische Ausführungen von Duoband-Yagis

Die untenstehende Antenne (**Bild 6**) besteht aus einer 2-Element-Yagi mit der Anordnung Strahler-Reflektor für das 2m-Band. Zusätzlich wurde davor ein open-sleeve-Element für 70cm gesetzt und ein separater Reflektor für 70cm angeordnet.



Das SWR ist auf beiden Bändern (144-146MHz und 430-440MHz) über den gesamten Bereich <1,3.

Damit kann die Antenne jeweils für CW/SSB und FM verwendet werden. Wie man den Elementströmen auf 435MHz entnehmen kann, ist der eigentliche Strahler das open-sleeve-Element, das lediglich strahlungsgekoppelt ist und keinerlei Kontakt zum Speiseelement hat.

**Tabelle 1: Daten der Yagi nach Bild 6 für beide Bänder (Freiraum)**

	Gewinn	V/R-Verhältnis	3dB-Winkel hor.	3dB-Winkel ver.
144,3MHz	4,17 dBd	10 dB	69,6°	136,2°
432MHz	7,5 dBd	7 dBd	43,8°	67,6°

**Tabelle 2: Längen und Abstände der Elemente (6mm Durchmesser) nach dem Schema von Bild 6**

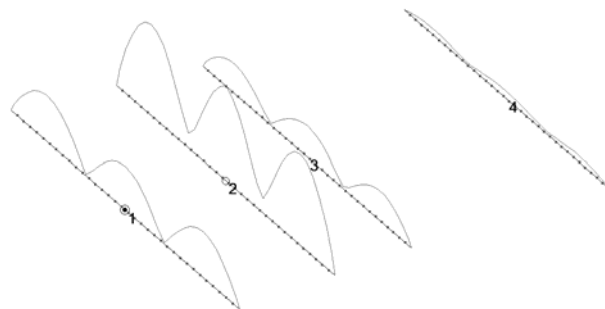
Element-Nr.	Aufgabe	Länge	Position
1	Reflektor 2m	1022mm	0mm
2	Reflektor 70cm	320mm	230mm
3	Strahler 2m u. 70cm	940mm	370mm

Die oben vorgestellten Überlegungen sind die Grundlagen für die Konstruktion von Duoband-Yagis mit nur einem Speisepunkt für 145MHz und 435MHz und reellen 50Ω-Impedanzen auf beiden Bändern. Allerdings gibt es dabei ein weiteres Problem zu lösen, was aus **Bild 7** ersichtlich wird. Hier sieht man die Stromverteilung der in [ 4, 5] vorgestellte 4-Element-Leichtbau-Yagi für das 2m-Band, wenn sie auf 70cm erregt wird.

**Bild 7:**

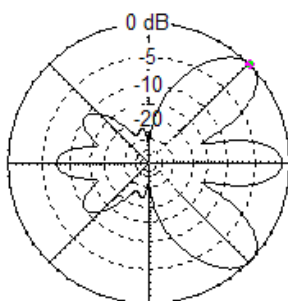
Stromverteilung der 4-Element-2m-Yagi [4] bei Erregung auf 435MHz

- 1 = Reflektor
- 2 = Strahler
- 3 = Direktor 1
- 4 = Direktor 2



Die zusätzlichen 2m-Elemente zeigen auf 435MHz genauso wie der Erreger jeweils 3/2-λ-Resonanzen mit drei Strombäuchen. Als Folge ist auch das Richtdiagramm wieder nicht so, wie man es eigentlich von einer Yagi erwartet. Es tritt aber schon ein spürbarer Gewinn in der Vorwärtsrichtung auf, leider liegt das Maximum nicht da, wo es eigentlich hingehört, nämlich bei 0° (**Bild 8**).

Noch etwas wird ersichtlich: Der Direktor 1 trägt durch seinen Elementstrom dazu bei, dass er auch auf 70cm noch wirksam ist. Direktor 2 ist zu weit entfernt und hat kaum noch Bedeutung.



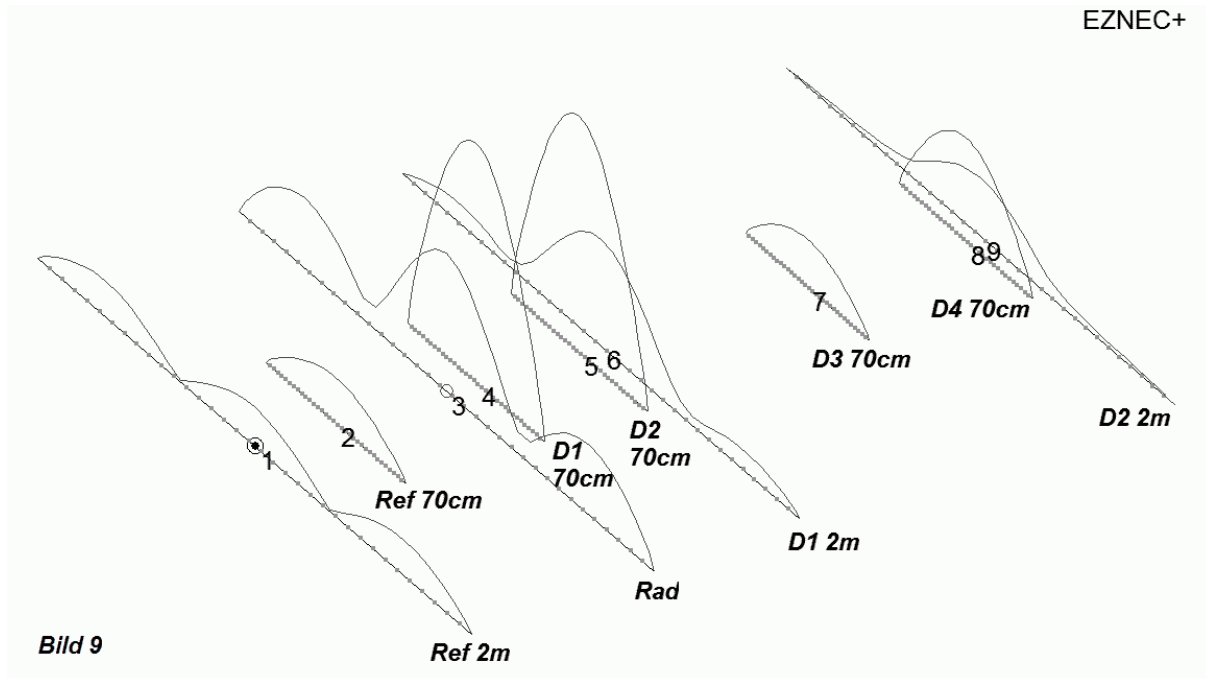
**Bild 8:**

Richtdiagramm der 4-Element-50-Ω-Yagi für 2m ohne zusätzliche 70cm-Elemente bei Erregung auf 435MHz (0dB = 5,39dBd).

Der höchste Gewinn tritt bei +/- 45° aus der gewünschten Richtung auf, bei 0° liegt der Gewinn bei 4,35dBd. Das SWR ist sogar brauchbar und liegt bei etwa 1,5.

Durch zusätzliche eingefügte Elemente für 432MHz gelingt es, das Richtdiagramm, den Gewinn und die Anpassung spürbar zu verbessern. Allerdings muss man sich exakt an die vorgegebenen Abmessungen halten. Die Strahler bestehen aus handelsüblichen 4mm-Aluminium-Schweißstäben AlMg5, die parasitären Elemente aus 3,2mm-Stäben. Der Einsatz dieser Antennen beschränkt sich auf das CW/SSB-Segment bei 432MHz, weil die open-sleeve-Technik zu schmalbandigen Lösungen

führt. Die eingefügten Elemente und deren Wirksamkeit erkennt man in **Bild 9**. Dabei ist Element 4, hier als D1 für 70cm bezeichnet, das open-sleeve-Element für die Anpassung nach dem oben beschriebenen Schema. Die Elemente 5 und 8 sind Direktoren für 70cm nach dem open-sleeve-Konzept, Element 7 als echter 70cm-Direktor muss eingefügt werden, um die Wellenleiterzone nicht abreisen zu lassen.



Die auf den beiden Bändern erreichten Daten sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die für einen Nachbau erforderlichen Abmessungen lassen sich aus Tabelle 4 entnehmen.



**Bild 10:**

Die um 5 zusätzliche 70cm-Elemente ergänzte 4-Element-2m-Leichtbau-Yagi

Die horizontalen Strahlungsdiagramme sind unter den Bildern 11 und 12 zu finden.

Das 70cm-Diagramm ist etwas ungewöhnlich, aber für die Praxis gut brauchbar.

**Tabelle 3: Eigenschaften der 4-/5-Element-Duoband-Yagi nach den Bildern 9 und 10**

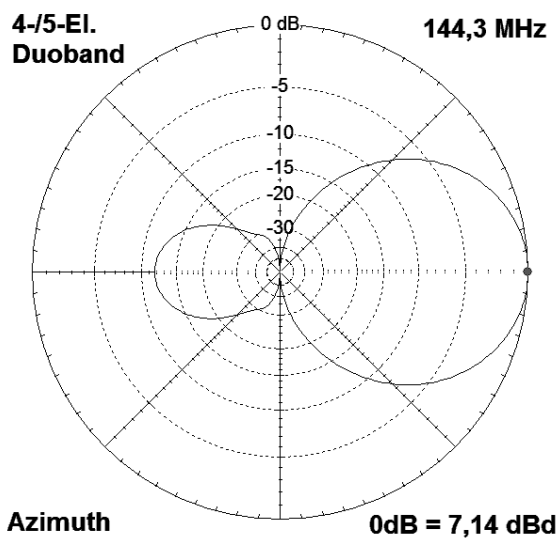
	Gewinn	V/R	3dB-Winkel hor.	3dB-Winkel ver.
144,3 MHz	7,1dBd	11,5dB	58,0°	81,8°
432 MHz	9,0dBd	11dB	29,4°	68,2°

**Tabelle 4: Abstände, Längen und Wirkung der Elemente bei der 1m langen 4-Element-50Ω-2m-Yagi mit 4 zusätzlichen 70cm-Elementen nach Bild 9. Durchmesser der Parasitärelemente 3,2mm, Strahler 4 mm**

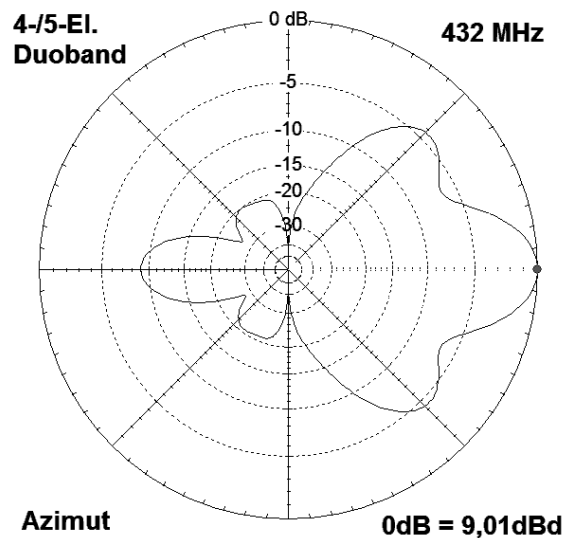
El.-Nr.	Aufgabe	Länge	Position
1	Reflektor für 2m	1022 mm	0 mm
2	Reflektor für 70cm	329 mm	110mm
3	Strahler 2m u. 70cm	977 mm (4mm)	260 mm
4	Direktor 1 für 70cm	322 mm	300 mm
5	Direktor 2 für 70cm	321 mm	440 mm
6	Direktor 1 für 2m	935 mm	470 mm
7	Direktor 3 für 70cm	290 mm	750 mm
8	Direktor 4 für 70cm	314 mm	965 mm
9	Direktor 2 für 2m	915 mm	985 mm

In den **Bildern 11 und 12** sind die horizontalen Freiraumdiagramme für beide Bänder auf den SSB-Frequenzen erkennbar. Das SWR bleibt im gesamten 2m-Band unter 1,5. Auf 70cm ist das SWR-Minimum mit <1,2 im Bereich um 432-434MHz. Darüber und darunter steigt das SWR bis auf 2 an und der Gewinn sinkt wieder ab.

Erstaunlicherweise stellt sich bei 2,00m Abstand für zwei mit  $2 \times 5/4 \lambda$ -75Ω-Kabeln gestockte Antennen auch auf 70cm ein Stockungsgewinn von 3dB ein. Damit stellt die gestockte Zweiergruppe mit 10dBd Gewinn auf 2m und über 11dBd auf 70cm schon eine recht leistungsfähige und extrem leichte Portabelanlage dar.



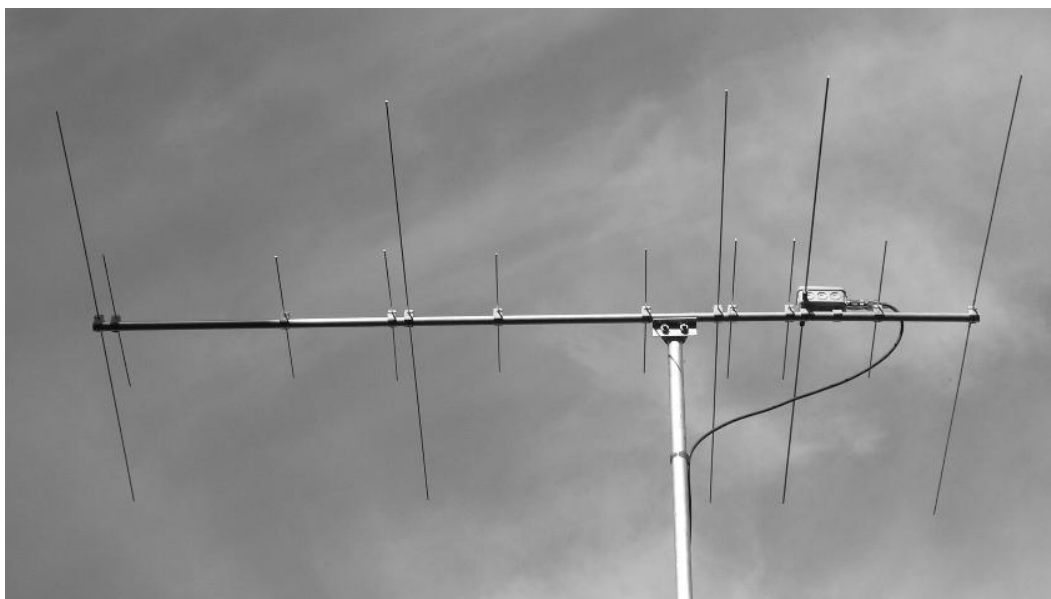
**Bild 11: Horizontales Diagramm 144,3 MHz**



**Bild 12: Horizontales Diagramm 432 MHz**

Auch weitere Yagis der 50Ω-Leichtbaureihe wurden auf ihre Eignung überprüft, sie um 70cm-Elemente zu ergänzen. Je mehr Direktoren auf 2m mit ihren  $3/2 \lambda$ -Resonanzen vorhanden sind, desto schwieriger wird es, die Aufzippelung auf drei Keulen in der Vorwärtsrichtung zu verhindern. Am geeignetsten erwies sich eine 1,50m lange 5-Element-Yagi (**Bild 13**), die um 8 zusätzliche Elemente für 70cm ergänzt wurde.

Auf 2m stellt sich ein exzellentes Richtdiagramm (**Bild 14**) bei hohem Antennengewinn ein, das SWR bleibt bis 145MHz <1,3, darüber steigt es bis 1,6 an. Das Horizontaldiagramm auf 432MHz ist gegenüber einer Monoband-Yagi wie bei der vorher beschriebenen Antenne etwas ungewöhnlich, aber der Gewinn mit 9,1dBd ist durchaus respektabel.



**Bild 13:** Die 1,50m lange Duoband-Yagi mit 5 Elementen auf 2m und 8 Elementen auf 70cm

Diese Antenne ist aber für den Einsatz in den CW/SSB-Segmenten der Bänder konzipiert, weil sie besonders bei 432MHz recht schmalbandig ist.

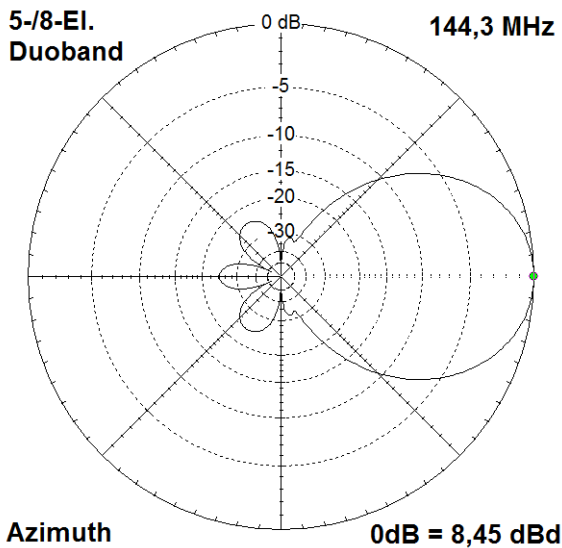
**Tabelle 5: Eigenschaften der 5-/8-Element-Duoband-Yagi**

	Gewinn	V/R	3dB-Winkel hor.	3dB-Winkel ver.
144,3 MHz	8,45dBd	24dB	51,0°	64,4°
432 MHz	9,1dBd	14dB	28,2°	54,2°

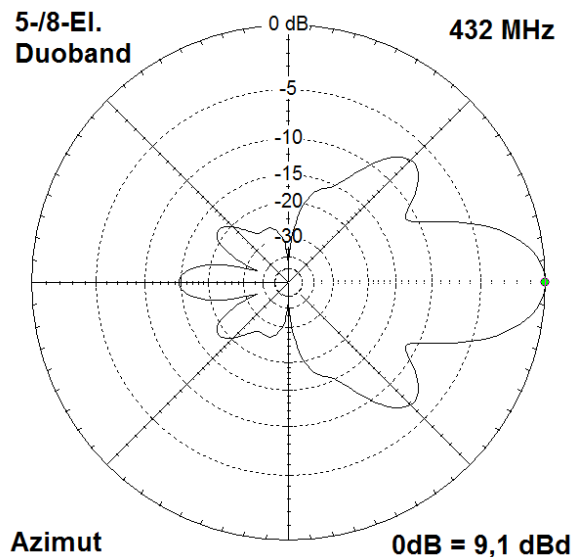
**Tabelle 6: Abstände, Längen und Wirkung der Elemente bei der 1,5m langen 5-Element-50Ω-2m-Yagi mit 8 zusätzlichen 70cm-Elementen nach Bild 11. Durchmesser der Parasitärelemente 3,2mm, Strahler 4 mm.**

El.-Nr.	Aufgabe	Länge	Position
1	Reflektor für 2m	1035 mm	0 mm
2	Reflektor für 70cm	320 mm	160mm
3	Strahler 2m u. 70cm	995 mm (4mm)	280 mm
4	Direktor 1 für 70cm	327 mm	305 mm
5	Direktor 2 für 70cm	320 mm	405 mm
6	Direktor 1 für 2m	954 mm	430 mm
7	Direktor 3 für 70cm	286 mm	550 mm
8	Direktor 4 für 70cm	280 mm	800 mm
9	Direktor 2 für 2m	944 mm	950 mm
10	Direktor 5 für 70cm	310 mm	980 mm
11	Direktor 6 für 70cm	284 mm	1160 mm
12	Direktor 7 für 70cm	299 mm	1450 mm
13	Direktor 3 für 2m	929 mm	1480 mm

Die für einen Vergleich mit anderen Antennen interessanten Horizontaldiagramm sind in den **Bildern 13** und **14** dokumentiert. Auch hier ist ein Stocken möglich, für 2m ist der optimale Abstand 2,30m. Auf 70cm stellt sich dann allerdings nur noch 2dB als Zusatzgewinn ein und das Vertikaldiagramm ist stark aufgezipfelt. Trotzdem ist auch diese Variante einen Versuch in der Praxis wert.

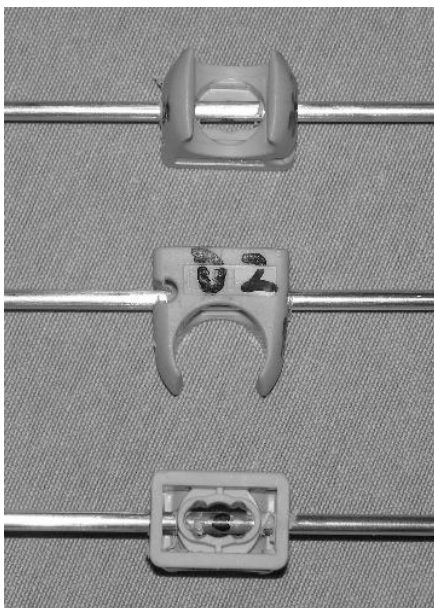


**Bild 13: Horizontaldiagramm auf 144,3MHz**



**Bild 14: Horizontaldiagramm auf 432MHz**

## Mechanische Lösungen



**Bild 15: Die Klemmbefestigung**

Auch wenn die Leichtbau-Yagis schon ausführlich beschrieben wurden, soll noch einmal kurz auf deren Mechanik eingegangen werden, die ebenfalls für die Duoband-Ausführungen gelten.

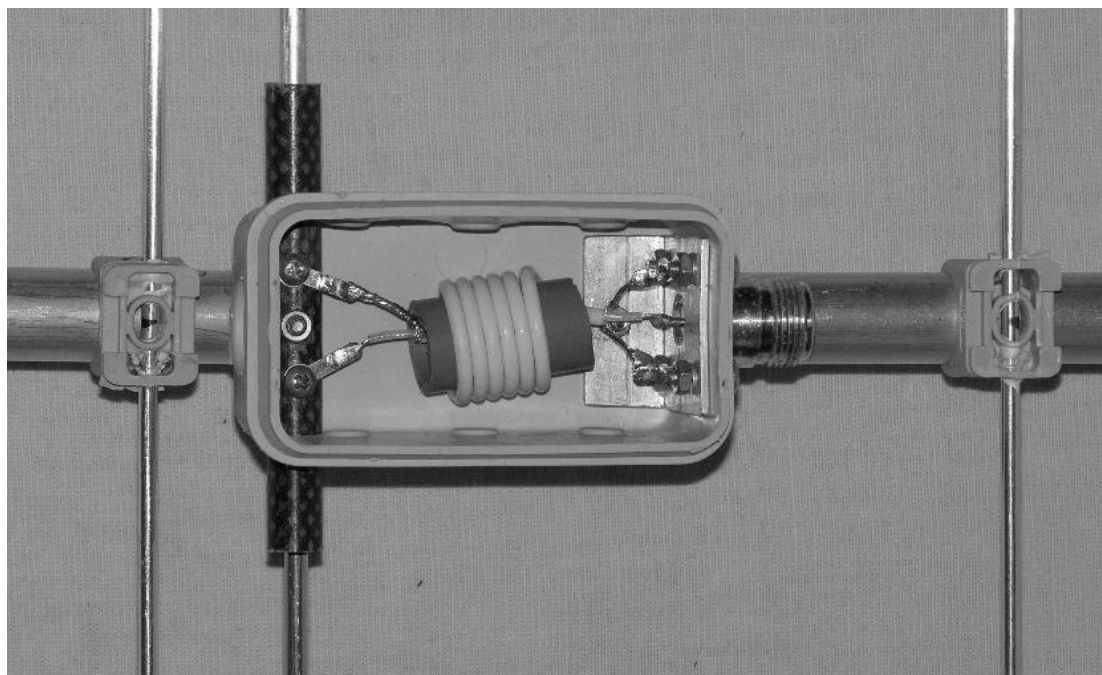
Als Boomrohre können PVC-Installationsrohre mit 16mm, bzw. 20mm Durchmesser verwendet werden. Bessere Stabilität bei geringfügig höherem Gewicht erhält man mit 16x1mm-Alurohren als Träger für die Elemente. Die Elemente selbst werden aus Aluminium-Schweißstäben AlMg5 ausgeführt, die Befestigung erfolgt mit Installationsklemmen für die o.a. Installationsrohre (**Bild 15**).

Für eine stationäre Montage sind diese Klemmen nicht geeignet, für zerlegbare Ausführungen beim Portabelbetrieb bieten sie hingegen optimale Bedingungen. Man muss nur aufpassen, die Löcher gerade zu bohren. Wählt man den Bohrer 0,1mm kleiner als den Elementdurchmesser, lassen sich die Aluminiumstäbe vorsichtig mit einem Hammer einschlagen.

Die Anschlussbox muss so aufgebaut sein, dass der in der Mitte unterbrochene Strahler für 2m sehr dicht am direktorseitigen Ende montiert ist, weil sonst der Abstand zum ersten „open-sleeve“-Element für 70cm nicht gewährleistet ist. Als Folge muss auch die Koaxbuchse und damit die Niederführung des Speisekabels am reflektorseitigen Ende angebracht werden (**Bild 16**).

Die Mantelwellenunterdrückung und Symmetrierung erfolgt über eine Viertelwellendrossel aus Teflon-Koaxialkabel RG-188. Für weniger Leistung tut es auch das einfachere RG-178. Mechanisch etwas schwieriger unterzubringen ist eine Drossel aus RG-58. Dann sollte aber nur eine gute MIL-Qualität mit dichtem Cu-Schirm verwendet werden. Ungeeignet sind Kabel mit Schaumstoff-Dielektrikum, weil sich das nicht ohne Probleme mit kleinem Biegeradius aufwickeln lässt.





*Bild 16: Erregerzone und Dose mit Speisedrossel, links D1 für 70cm, rechts Reflektor 70cm*

#### **Literatur- und Quellenangaben:**

- [1] Lewallen, R. (W7EL): Programm EZNEC+, Version 5.0.6, Info bei [www.eznec.com](http://www.eznec.com)
- [2] Voors, A. : Programm 4NEC2, Info und Download bei <http://home.ict.nl/~arivoors/>
- [3] Schwarzbeck, G. (DL1BU†): VHF-/UHF-Mehrband- und Breitbandantennen, CQ-DL (59) 1988 H. 2, S. 80-88
- [4] Steyer, M. (DK7ZB): Leichtbau-Yagis für UKW, 52. Weinheimer UKW-Tagung 2007, Scriptum der Vorträge, S. 17.1-17.8
- [5] Steyer, M. (DK7ZB): Leichtgewichtige UKW-Antennen für SOTA und BBT, CQ-DL (78) 2007 H. 4, S. 269-271
- [6] Steyer, M. (DK7ZB): Praktische Ausführung leichter UKW-Yagis, CQ-DL (78) 2007 H. 5, S. 332-335
- [7] Steyer, M. (DK7ZB): Leichtbau-Yagis für UKW, FUNKAMATEUR 57 (2008) H. 1, S. 64-67
- [8] Steyer, M. (DK7ZB): Leichtbau-Yagis für den Duoband-Betrieb 2m/70cm, FUNKAMATEUR 57 (2008) H. 7, S. 753-755