

Der Doppel-M-Beam, eine kompakte Antenne nicht nur für das 6m-Band

Klaus Warsow – DG0KW

Es wurde eine Antenne für das 6m-Band gesucht, die in eine ineinander verschachtelte Gruppenantenne für 2 m und 70 cm bei geringer Windlast eingefügt werden kann, ohne die vorhandenen Antennen merklich zu beeinflussen. Dieses ist nur mit einer Antenne möglich, deren Elemente um 45° bis 90° in eine andere Richtung weisen als bei denen am Mast vorhandenen Antennen. Da die Elemente der entstandenen Antenne auch nur aus Draht hergestellt werden können, ist dieser Beam auch für Kurzwelle geeignet.

Um das Antennendrehgerät nicht weiter zu belasten, kam eine Antenne mit vollen gestreckten Elementelängen von rund drei Metern für das 6m-Band nicht in Frage. In der Literatur habe ich darauf hin nach Zweielemente-Antennen mit abgewinkelten Elementen gesucht und wurde in [1] auf den Seiten 258 und 295 fündig.

Als erstes wurde der VK2ABQ-Beam, das Prinzip ist auch als „Moxon-Beam“ bekannt, untersucht und getestet. Die Antenne erwies sich beim Abstimmen als problematisch, da sich der Dipol und der Reflektor gerade im Spannungsbauch an den Enden der Elemente eng gegenüber stehen und dort kapazitive Überkopplungen stattfinden. Die Antenne hätte auch um 45° aus der Richtung der anderen Antennen gedreht werden müssen und wurde deshalb verworfen.

Als zweite Antenne wurde der G3LDO-Doppel-D-Beam untersucht. Diese Antenne verhält sich bei Abstimmversuchen recht gutmütig. Aber auch diese Antenne müsste um 90° aus der Richtung gedreht werden.

In [2] und [3] wird ein „Sigma- Beam“ nach JG1UNE für das 10m-Band beschrieben. Bei dieser Antenne befinden sich die Elemente wie gewünscht in einem Winkel 45° bis 90° zu den Elementen der anderen Antennen am Mast, und der Abstand zwischen dem Dipol und dem Reflektor ist auf der ganzen Länge der Elemente gleichbleibend. Die Antenne wurde dann über die Wellenlänge (λ) auf das 6m-Band umgerechnet und aufgebaut. Die Elementelängen erwiesen sich dann aber als zu kurz und ein Abstimmen der Antenne gestaltete sich schwierig. Der Abstand zwischen dem Dipol und dem Reflektor ist mit um die $0,08 \lambda$ zu gering, die beiden Elemente der Antenne beeinflussen sich beim Abstimmen gegenseitig sehr stark. Es war auch kaum ein Vor/Rück-Verhältnis (VRV) der Antenne festzustellen. Dieses wird auch durch die DX-Ergebnisse mit dieser Antenne in [3] von DL9JFT indirekt bestätigt. Eine Simulation der Antenne ergab einen Gewinn (G) von knapp 3 dBd bei einem VRV von 3 bis 4 dB. Theoretisch ist ein VRV von 8 dB möglich. In der Praxis benötigt man aber zum Erreichen eines solchen Wertes das sprichwörtliche „goldene Händchen“.

Berechnung einer neuen Antenne

Nun wurden in der Simulation mehrere Antennen mit einer Impedanz im Speisepunkt von 50, 28, 18 und 12,5 Ω bei einer Resonanzfrequenz von 50,2 MHz erstellt. Dabei stellte sich heraus, dass eine Antenne mit niedriger Impedanz auch den größten Gewinn und meistens auch das beste VRV erbringt. Gleichzeitig weist diese Antenne den geringsten Abstand zwischen Dipol und Reflektor auf, aber leider auch die geringste Bandbreite. Als Kompromiss zwischen Antennengröße und der Bandbreite wurde dann die Antenne mit einer Impedanz von 25 bis 28 Ω zum Praxistest ausgewählt und aufgebaut. Diese Impedanz kann recht einfach mittels eines Viertelwellen-Transformators aus Koaxkabel auf 50 Ω umgesetzt werden. Bei dieser Antenne befindet sich der Reflektor in einem Abstand von $0,125 \lambda$ zum Dipol.

Die Wellenlänge λ in Meter dafür berechnet sich wie folgt:

$$\lambda_{[m]} = \frac{300}{f_{[MHz]}}$$

Dabei ist f die gewünschte Resonanzfrequenz in MHz. Die elektrischen Gesamtlängen der beiden Elemente der Antenne, also ohne Berücksichtigung eines Verkürzungsfaktors, werden mit folgenden Formeln berechnet:

$$lD_{[m]} = \frac{163,00}{f_{[MHz]}} \quad lR_{[m]} = \frac{169,85}{f_{[MHz]}}$$

lD steht für die Länge des Dipols und lR für die Länge des Reflektors. Die beiden Längen sind aufgrund ihrer abgewinkelten Form etwas länger als $0,5 \lambda$. Das Verhältnis der Längen beider Elemente zueinander beträgt:

$$V_{DR} = \frac{lR}{lD} = 1,042$$

Dieses Verhältnis muss auch beim Abstimmen der Antenne immer erhalten bleiben! Der Abstand beider Elemente auf dem Boom beträgt:

$$A_{[m]} = 0,125 \lambda$$

Die Breitenmaße der Antenne betragen:

$$Bv_{[m]} = 0,25 \lambda \quad Bh_{[m]} = 0,255 \lambda$$

Dabei ist Bv die vordere und Bh die hintere Breite. Die Boomlänge beträgt vom vorderen Querträger zum hinteren Querträger:

$$LgBoom_{[m]} = 0,25 \lambda$$

Zusätzlich werden vorne und hinten je ein Spannturm von minimal $C_{[m]} = 0,0335 \lambda$ oder besser von $C_{[m]} = 0,042 \lambda$ benötigt. Diese beiden Längen müssen zu $LgBoom$ hinzu gerechnet werden und ergeben dann die Gesamtlänge des Antennenträgers:

$$gesLgBoom_{[m]} = 0,25 \lambda + (2 * C) = 0,334 \lambda$$

Der Winkel zwischen den beiden V-förmigen Dipolschenkeln beträgt $2 * 45^\circ = 90^\circ$, zwischen den Reflektorschenkeln aber nur $2 * 44^\circ = 88^\circ$. Das macht den Aufbau der Antenne, zumindest beim ersten Exemplar, etwas komplizierter.

An der Musterantenne haben die beiden vorderen Spitzen von Dipol und Reflektor einen Abstand von $D_{[m]} = 0,1169 \lambda$ zueinander. Aber dieser Wert kann nur als grobe Orientierung gelten, er streut mit der Art der Befestigung des Dipols am Querträger. Der prinzipielle Aufbau sowie die Zuordnung der Abmaße sind in **Bild 1** zu sehen. Die Antennendrähte sind rot dargestellt.

In Anlehnung an die Art der Namensgebung des G3LDO-Doppel-D-Beam habe ich diese Antenne DG0KW-Doppel-M-Beam genannt.

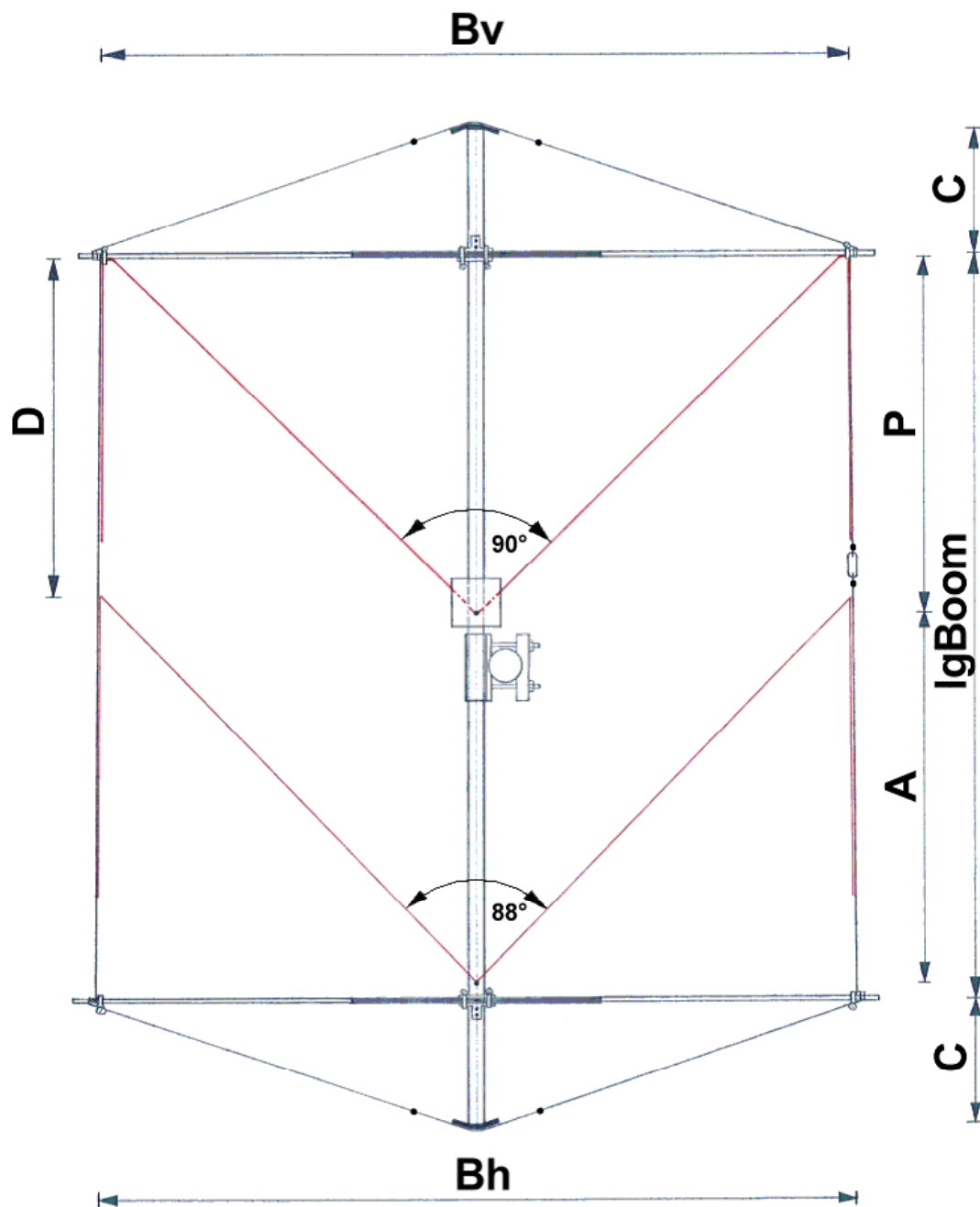


Bild 1: Prinzipieller Aufbau der Antenne

Ergebnisse und Erfahrungen mit der Antenne

Bei sorgfältigem Aufbau und Abstimmen der Antenne lassen sich folgende Daten erreichen:

G:	3,5 – 3,8 dBd	(5,65 – 5,95 dBi)
VRV:	>20 dB	(> 3 – 4 S-Stufen)
Z:	25 – 28 Ω	(50 Ω an der N-Buchse)
Bestes SWV:	1:1,1	oder besser
Öffnungswinkel	α_E : ca. 72°	α_H : ca. 135°

Einige Berechnungen des Antennengewinns ergeben für diese Antenne Werte um 4,2 dBd. Dabei handelt es sich aber um den theoretisch möglichen Maximalgewinn. Im Vergleich dazu erreicht ein Zweielemente-Beam für das 6m-Band mit Elementen voller gestreckter Länge ($Z = 50 \Omega$) einen Gewinn G von 3,5 dBd, ein VRV von 8 dB bei etwa gleichen Öffnungswinkeln.

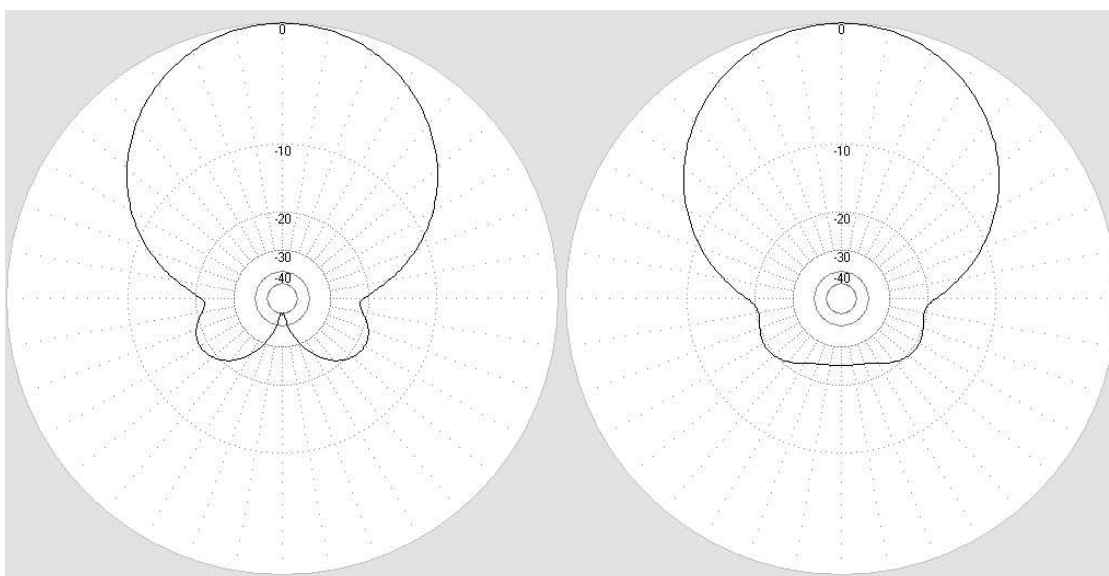


Bild 2: Horizontales Strahlungsdiagramm (siehe Text)

In **Bild 2** sind zwei Strahlungsdiagramme des Doppel-M-Beam zu sehen. Das linke Diagramm stellt das mit dem sprichwörtlichen „goldenen Händchen“ erreichbare Optimum dar. Das hierbei erreichte VRV-Verhältnis von 48 dB tritt nur in einem schmalen Frequenzbereich von etwa 300 KHz Breite auf. Das rechte Diagramm zeigt die normale Richtwirkung der Antenne mit immerhin VRV = 24 dB. Der Vorwärtsgewinn G lag in beiden Fällen um 3,7 dBd.

Die Antenne wurde zuerst im Freien abgestimmt. Dabei zeigte sich, dass größere Metallteile mit der größten Ausdehnung in der gleichen Ebene wie die Antenne (horizontal) nur einen minimalen Abstand von einem Meter ($0,16 \lambda$) zu haben brauchen. Ab diesem Abstand ist eine Beeinflussung kaum noch nachzuweisen. Am Mast konnte dieser Abstand dann aber nicht eingehalten werden, es standen nach oben und unten nur rund 0,6 m Abstand zu den 2m- und 70cm-Antennen zur Verfügung. Die Resonanzfrequenzen der Antenne verschoben sich etwas zu den tieferen Frequenzen hin. Daraufhin habe ich die Elemente der Antenne an jeder Seite noch einmal spontan um 5 mm gekürzt, was sich aber als zu viel erwies. Das beste Stehwellenverhältnis (SWV) liegt jetzt bei 50,6 MHz (**Bild 3**).

Der erste Aufbau der Antenne erfolgte mit einem Boom aus Holz (Quadratleiste 23 x 23 mm). Nach einem Jahr hatte sich der Boom aber durch die Sonneneinwirkung nach oben gebogen. Die Antenne wurde dann auf einem Alu-Boom noch einmal neu aufgebaut.

Die Transformationsleitung aus RG59-Kabel an der Anschlussdose musste, speziell an der Dipolseite, von Metallteilen (Boom, Mast) ferngehalten werden. Die Seite an der N-Buchse verhielt sich dagegen völlig unkritisch. Daran ist zu erkennen, dass die Transformationsleitung neben einer transformatorischen noch eine symmetrierende Wirkung hat. Jetzt befindet sich die Antenne 3 m über dem Dach, 20 m über Grund bei nur 30 m über NN (JO64).

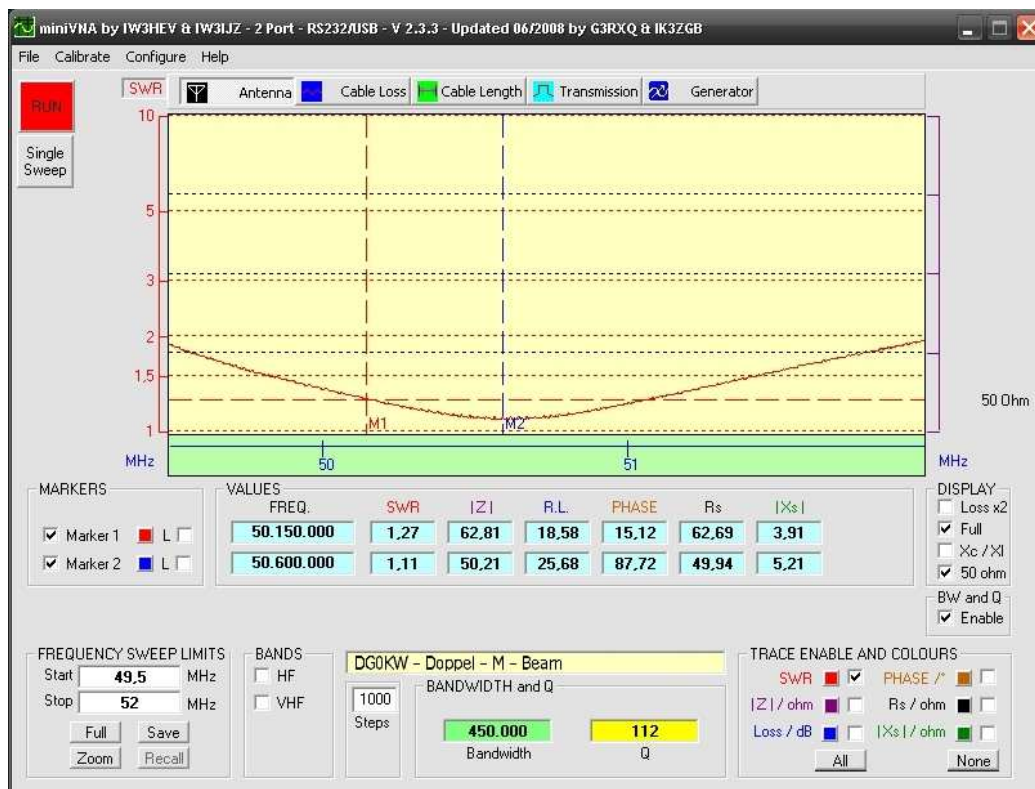


Bild 3: Das SWV der Antenne von 49,5 – 52 MHz, gemessen mit einem VNA

Damit wurde in drei Jahren ein ODX von 3807 km (EA8, 4X) erreicht. Dazu stand ein Eigenbau-TRX mit nur 8 W Ausgangsleistung in SSB zur Verfügung.

Aufbauanleitung zum Doppel – M – Beam

Für die von mir aufgebaute Antenne für $f = 50,2$ MHz ergaben sich durch die Berechnung mit obigen Formeln $\lambda = 5,976$ m, $ID = 3,247$ m, $IR = 3,383$ m, $A = 0,747$ m, $B_v = 1,494$ m, $B_h = 1,524$ m, $L_g\text{Boom} = 1,494$ m, $C = 0,25$ m, $gesL_g\text{Boom} = 1,996$ m und $D = 0,699$ m. Ich habe versucht, eine einfache Möglichkeit zu finden, solch eine Antenne aufzubauen. Es ist vielleicht nicht die allerbeste Lösung dabei heraus gekommen, aber der Aufbau ist in einer Stunde zu schaffen. Die Aufbauanleitung ist so gestaltet, dass der Aufbau der Antenne an vorhandenes Material angepasst werden kann. Alle für die Antenne benötigten Materialien sind in der Stückliste aufgeführt und natürlich nur ein Vorschlag. Bis auf die Mastschelle, die Glasfibrerstäbe sowie Koaxkabel und Buchsen, sind die Materialien in Baumärkten zu erhalten. Alle benötigten Materialien sind in der **Stückliste** am Ende dieses Artikels aufgeführt. Ein Teil der Materialien ist in **Bild 4** dargestellt.



Bild 4: Ansicht einiger Kleinteile: in der Mitte der Flanschverbinder und darunter der T-Flachwinkel

Sollten für die Querträger aber Rundhölzer verwendet werden, so sollten diese ein paar Tage vorher mit einer Holzschutzlasur und nach dem Trocknen mit einem Bootsack o.ä. gestrichen worden sein. Sollten Sie jetzt gerade nicht vorhaben diese Antenne zu bauen, so überlesen Sie diesen Abschnitt. Ohne die Antennenmaterialien vor sich liegen zu haben, ist die Aufbauanleitung wahrscheinlich schwer verständlich.

In den Boom werden drei kleine Papierknäuel einer billigen Tageszeitung (saugfähiges Papier) über die ganze Länge verteilt eingeführt. Dieses sollte auch mit Antennenmasten gemacht werden, es dämpft Geräusche der Antennenanlage bei starkem Wind. Der Boom wird nun mit den Flanschverbindern an beiden Seiten verschlossen. Diese weisen in der horizontalen Ebene zu jeder Seite eine Lasche mit einem Loch darin auf. Hier kann die Perloneine, welche die gesamte Antenne umspannt, befestigt und damit ein Abrutschen der Leine von den Flanschverbindern verhindern werden.

Dann wird die Montage der Querträger vorbereitet. Die Querträger müssen aus einem nichtmetallischen Material bestehen. Von einem Ende des Boom ausgehend wird im Abstand C eine Markierung auf dem Boom angebracht. Von dieser Markierung aus wird im Abstand $L_g\text{Boom}$ eine weitere Markierung angebracht. Die Restlänge bis zum Boomende dürfte nun noch etwa der Länge C entsprechen oder geringfügig länger sein. Dieses Ende wird als „hinten“ gekennzeichnet.

Die T-Flachwinkel werden nun von oben auf den Boom gelegt, so dass sich die Mittellinie des wagerechten Teil des „T“ mit der Markierung deckt. Der senkrechte Teil zeigt in Richtung des jeweiligen Ende des Boom. Dabei müssen die Absenkungen der Bohrungen des T-Flachwinkel nach oben zeigen, auch muss auf Rechtwinklichkeit geachtet werden. Dann werden die Bohrungen auf dem Boom angezeichnet und mit einem 3 mm Bohrer vorgebohrt. Die T-Flachwinkel werden anschließend mit kurzen Blechschauben mit 4 mm Ø (Senkkopf) auf dem Boom angeschraubt. Das ein Meter lange Alu-Rohr wird in der Mitte geteilt. Die als Querträger vorgesehenen Stäbe werden auf jeder Seite etwa 50 mm länger bemessen als durch die Maße B_v und B_h vorgegeben. Diese Stäbe müssen ohne Spiel in die Alu-Rohre passen. Sollte das Spiel zu groß sein, so muss mit zwei bis drei Gewebeklebeband-Wickel um den Stab nachgeholfen werden. Die Querträger werden dann auf die T-Flachwinkel gelegt, der kürzere vorne und der längere hinten. Von jeder Seite wird nun eine Schlauchklemme über das Alu-Rohr und den T-Flachwinkel geschoben und zugezogen. Damit sind die Querträger befestigt. Sollte weiterhin die Möglichkeit bestehen, dass sich die Querträger innerhalb des Alu-Rohres verschieben, so können die jeweils beiden noch freien Bohrungen in den T-Flachwinkeln zur Arretierung der Querträger genutzt werden. Durch die Bohrungen hindurch wird das Alu-Rohr bis in den Querträger hinein mit einem dünnen Bohrer angebohrt. In diese Bohrung wird dann eine kurze, dünne Blech- oder Holzschraube zur Arretierung der Querträger eingeschraubt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Alu-Rohre an den Enden mit einer Säge zu schlitzen und dann zur Arretierung der Querträger mit zusätzlichen Schlauchklemmen zusammen zu quetschen.

Damit das Spannseil nicht verrutscht, wird auf jedes Ende der Querträger eine Schlauchklemme gesetzt und festgezogen. Die jeweils äußeren Kanten der Schlauchklemmen haben auf dem vorderen Querträger zueinander den Abstand B_v abzüglich zweimal den äußeren Drahtdurchmesser (= 1,394 m), auf dem hinteren Querträger den Abstand B_h abzüglich zweimal den äußeren Drahtdurchmesser (= 1,424 m) und das immer symmetrisch zum Boom. Die Verschraubungen der Schlauchklemmen befinden sich, in Boomrichtung gesehen, am vorderen Querträger vor dem Querträger und am hinteren Querträger hinter dem Querträger (siehe **Bild 5**). Versuche, das Spannseil an den Enden der Querträger in einer Nut zu führen, brachten auf Dauer keine positiven Ergebnisse. Durch Wettereinflüsse bedingt rutschte das Seil ständig ab. Das Spannseil wird auf beiden Seiten der Antenne getrennt verlegt. Von Querträger zu Querträger wird das Spannseil unterhalb der Querträger, an den Schlauchklemmen anliegend, geführt und in zwei Windungen um den Querträger nach außen gewickelt. Die letzte Windung kann dabei auch ein einfacher Knoten sein (siehe **Bild 6**).

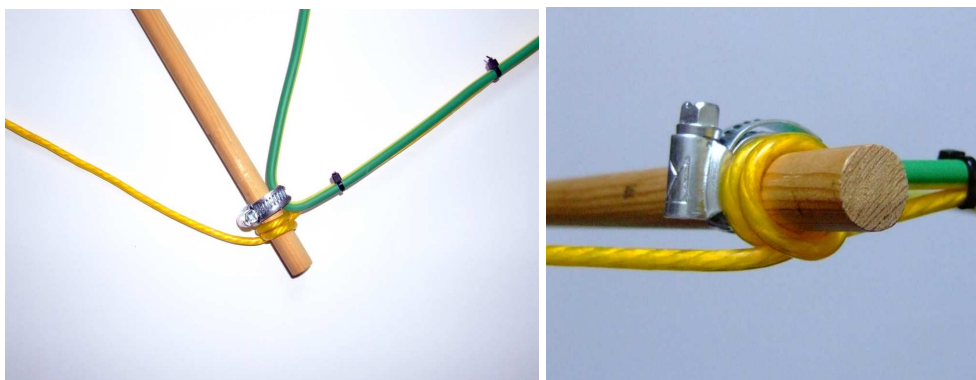


Bild 5 (links) u. **Bild 6** (rechts): Befestigung von Dipol und Spannseil am vorderen Querträger

Von dort aus wird das Spannseil zum jeweiligen Boomende geführt und endet etwa 100 bis 150 mm weiter auf der jeweils anderen Seite des Boom. Dort werden die beiden Seiten des Spannseiles mit jeweils einer Simplexklemme miteinander verbunden. Hier besteht später die Möglichkeit das Spannseil nachzuspannen. Zum Anbringen der Antenne am Mast muss sich die Verspannung auf einer Seite an einer bestimmten Stelle zwischen Dipol und Reflektor öffnen lassen. Auf dieser Seite muss die Spannseilhälfte um minimal 100 mm länger als die

andere Hälfte sein. Die Stelle zum Öffnen befindet sich $0,1054 \lambda$ (~ 630 mm) vom vorderen Querträger entfernt. Das Spannseil wird deshalb bei 650 mm durchtrennt, 50 mm werden zurückgebogen und mit einer Simplexklemme in eine Öse verwandelt. An dem weiterführenden Seil wird auch solch eine Öse erstellt. Beide Ösen werden mit einem Notkettenglied o.ä. verbunden und das Seil wird wie oben beschrieben weitergeführt. Die Seile werden dann gespannt. Die Querträger müssen dabei aber gerade bleiben. Damit ist das Grundgerüst der Antenne fertig.

Nun werden die beiden Drähte für den Dipol und den Reflektor zugeschnitten (ID u. IR). Die Mitte beider Drähte wird gekennzeichnet. Den Dipol bitte noch nicht in zwei Hälften trennen! Jetzt muss der Punkt gefunden werden in dem sich die beiden V-förmigen Schenkel des Dipol auf dem Boom in einem Winkel von $2 \cdot 45^\circ$ treffen. In etwa lässt sich dieser Punkt, gemessen vom Alu-Rohr aus, berechnen mit

$$P_{[m]} = \left(\frac{Bv}{2} \right) - x_{[m]}$$

Dabei setzt sich x aus der Breite der Schlauchklemme zuzüglich etwa zweimal dem Außendurchmesser des Antennendrahtes zusammen. Genauer ist es aber zu messen. Dazu wird ein 100 bis 150 mm langes Reststück vom Antennendraht, wie in **Bild 5** zu erkennen, mit unter eine der äußeren Schlauchklemmen am vorderen Querträger geklemmt und in einem Winkel von 45° nach hinten gebogen. Nun wird eine zweite Person gebraucht, die einen dünnen Bindfaden an der Schlauchklemme so hält, dass er im 45° -Knick des Antennendrahtes immer in der Drahtmitte bleibt. Am Boom wird ein Winkelmesser angelegt und der Punkt gekennzeichnet, in dem der Bindfaden in einem 45° -Winkel auf die Boom-Mitte trifft. Zur Kontrolle können die Abstände von diesem Punkt zu den Schlauchklemmen auf beiden Seiten des Querträgers gemessen werden. Sie sollten gleich groß sein. Von diesem Punkt ausgehend wird im Abstand A nach hinten eine weitere Markierung in der Boom-Mitte angebracht. In diesem Punkt treffen sich die beiden V-Schenkel des Reflektors auf dem Boom. Von diesem zweiten Punkt aus werden mit dem Bindfaden und am Boom angelegten Winkelmesser (jetzt nur 44°) die Punkte auf dem Spannseil markiert, die der Bindfaden kreuzt. Auch diese Abstände nach beiden Seiten sollten wieder gleich groß sein.

Der für den Reflektor vorbereitete Draht wird möglichst gerade gebogen, in der Mitte dann in einem Winkel von 88° geknickt und mit einer Kabelschelle so isoliert auf den Boom geschraubt, dass der Knick direkt über der Markierung liegt. An beiden Markierungen an den Spannseilen, im gleichen Abstand vom Boom, wird der Draht dann nach hinten umgeknickt und mit Kabelbindern an den Spannseilen befestigt. Damit ist der Reflektor fertiggestellt.

Um den Dipol aufzubauen, muss erst die Antennendose vorbereitet werden. Dazu wird probeweise die Mastschelle an den Boom geschraubt. Dabei bitte auf die Lage des Mastes in der Richtung zur Öffnung im Spannseil achten. Die Antennendose sitzt direkt vor der Mastschelle oben auf dem Boom und die N-Buchse sitzt an der Seite der Dose, die der Mastschelle am nächsten ist (nach hinten ausgerichtet). Dorthin zeigt nun auch die Seite der Dose mit nur einer Öffnung in der Mitte. In die N-Buchse wird ein Stecker geschraubt und vor diese Öffnung gehalten. Würde es nun Probleme bereiten den Stecker zu lösen, denn die Mastschelle ist im Wege, so muss die Dose um 180° gedreht werden. Zum Montieren der N-Buchse wird dann die Öffnung genommen, nun an einer Seite mit zwei Öffnungen, welche den größeren Abstand zum Mast besitzt. Eine Montage der Buchse mit in der Dose sitzenden Flansch ist vorzuziehen. Alle vier Schrauben werden innen mit Lötflammen versehen. Die Lötflammen werden dann um den Mittelanschluss herum mit einem etwa 1 mm starken Draht verbunden und verlötet. Am Unterboden der Dose wird die Mittellinie von vorne nach hinten gekennzeichnet und im vorderen und im hinteren Teil mit je einer Bohrung von etwa 3,5 mm im Durchmesser versehen. Durch diese Bohrungen hindurch wird die Dose dann später mit Blechrauben von 4 mm \varnothing auf den Boom befestigt. Außerdem sollte rechts oder links, an einer tiefgelegenen Stelle im Boden der Dose, ein Loch mit gleichem Durchmesser für das

Kondenswasser vorgesehen werden. Nun werden die vier Öffnungen in der Dose, zwei an der rechten und zwei an der linken Seite, mit Gummistopfen o. ä. versehen.

Um den Dipol im richtigen Winkel zu montieren, hat sich ein kleiner Trick bewährt. Etwa drei Meter eines Bindfadens werden, von der Fadenmitte ausgehend, etwa dreimal um den Boom gebunden und oben darauf verknotet. Dieser Knoten muss genau auf der Markierung auf dem Boom liegen (mit Klebeband zusätzlich fixieren). Die beiden Enden des Fadens werden nun nach jeder Seite an der jeweiligen Schlauchklemme am vorderen Querträger in der Art befestigt, dass sich zweimal der 45°-Winkel einstellt. Der Draht für den Dipol wird möglichst gerade gebogen und dann in der Mitte um 90° geknickt. Nun wird der Draht durch kleine, strammsitzende Löcher in den vorderen Gummistopfen der Dose gesteckt. Auf der einen Seite hinein und auf der anderen Seite wieder hinaus bis die Mitte des Drahtes sich mitten in der Dose befindet. Von innen, direkt an den Gummistopfen, wird der Draht durch Kabelbinder am Verrutschen gehindert. Die Dose mit dem Draht wird nun auf den Boom gelegt und die Stelle gesucht, bei der sich der Draht mit dem Faden auf beiden Seiten deckt. Dazu muss der Draht noch etwas nachgebogen werden. Auch muss darauf geachtet werden, dass sich die beiden Bohrungen im Boden der Dose (zum Befestigen) auf der Mittellinie des Boom befinden. Diese Bohrungen werden auf den Boom durchgezeichnet und vorgebohrt. Dann kann die Antennendose mit Blechschrauben mit 4 mm Ø und Unterlegscheiben angeschraubt werden. Bei der hinteren Schraube wird zusätzlich noch eine Lötöse, versehen mit einem etwa 50 mm langen Draht, mit angeschraubt. Am vorderen Querträger kann dann der Antennendraht des Dipol, wie in **Bild 5** zu sehen, mit den Schlauchklemmen befestigt werden. Außen an den Schlauchklemmen, wird der Draht dann um 90° nach hinten gebogen und am Spannseil mit Kabelbindern befestigt.

Der Faden kann nun wieder entfernt werden. Jetzt kann der Antennendraht an der markierten Mitte in der Antennendose durchtrennt und etwa 15 mm abisoliert werden.

Als Letztes wird nun der Viertelwellen-Transformator aus Koaxkabel hergestellt. Dafür wird eine Leitung mit einer Impedanz von

$$Z_{W[\Omega]} = \sqrt{Z_{E[\Omega]} * Z_{A[\Omega]}} \quad \text{mit einer Länge von} \quad Vlg_{[m]} = \frac{75}{f_{[MHz]}} * V_k$$

benötigt. Z_E ist die Eingangsimpedanz (28 Ω), Z_A ist die Ausgangsimpedanz (50 Ω), Z_W ist der Wellenwiderstand der Transformationsleitung und V_k ist der Verkürzungsfaktor des Koaxkabels (0,66). Für diese Antenne ergibt die Berechnung $Z_W = 37,42 \Omega$ und $Vlg = 0,98 \text{ m}$ bei einer Frequenz $f = 50,5 \text{ MHz}$ (Bandmitte). Diese Leitung kann aus zwei parallel geschalteten 75 Ω-Kabeln hergestellt werden. Dazu werden zwei 1,04 m lange Koaxkabelstücke vom Typ RG59 benötigt. An beiden Kabelstücken wird die äußere Isolierung an den beiden Enden auf einer Länge von 30 mm entfernt. Der Schirm wird längs an einer Seite entflochten und zurückgeschlagen. Die beiden Kabelstücke werden nebeneinander gelegt und die Schirmenden beider Kabel an beiden Enden miteinander verdrillt. Die Isolierung der Innenleiter wird dann auf einer Länge von 25 mm entfernt und an jedem Ende beide Innenleiter miteinander verdrillt. Die verdrillten Leiter werden dann für eine bessere Verbindung noch zusätzlich verlötet. Etwa alle 70 mm werden die beiden nun elektrisch parallel geschalteten Kabelstücke durch kleine Kabelbinder aneinander gebunden. Das Ende dieser Transformationsleitung wird an einer Seite der Dose in die zweite Öffnung, das andere Ende wird unter den Boom hindurch geführt und in die gegenüber liegende Öffnung gesteckt. Das eine Ende wird an der N-Buchse angelötet (Schirm an die Lötöse) und das andere Ende wird mit den beiden Dipolanschlüssen verlötet. Dabei sollten die Anschlüsse der Transformationsleitung so kurz wie möglich gehalten werden, an den Dipolanschlüssen aber, um die Symmetrie zu wahren, gleich lang sein.

Der kurze Draht von der Lötöse im Boden der Dose wird dabei auch noch mit einer Lötöse der N-Buchse verbunden. Dadurch werden statische Aufladungen abgeführt.

Bei den Musterantennen wurde, unter anderem um Gewicht zu sparen, die Isolierung der Antennendrähte bis auf einige kleine Bereiche entfernt. Bestehen blieb die Isolierung etwa 100 mm in der Mitte, etwa 100 mm in den vorderen Spitzen (beim Dipol also unter den Schlauchklemmen) und etwa 50 mm an den Enden der Elemente (verschiebbar). Die Isolierung in der Mitte des Dipol teilte sich auf in zwei mal 50 mm als zusätzliche Isolation zur Durchführung der Antennendrähte durch die Gummistopfen der Antennendose. Die nun blanken Kupferdrähte wurden mit einer Korrosionsschutz-Farbe gestrichen. Nach zwei Jahren Betrieb der Antenne am Mast, begannen sich einige der normalen UV-beständigen Kabelbinder aufzulösen. Deshalb wurden dann an den Enden der Elemente, beim Reflektor zusätzlich auch in den vorderen Spitzen, Kabelbinder aus Metall eingesetzt. Diese dürfen, wie auch die Schlauchklemmen am vorderen Querträger, keinen elektrischen Kontakt zu den Antennendrähten haben. Deshalb waren die Restlängen der Isolierung notwendig. Die Enden von isolierten Drähten und der Plaste-Wäscheleine werden mit einem Tropfen Kleber o.ä. verschlossen. Andere kritische Stellen der Antenne können mit Plastik-Spray wetterfest gemacht werden.

Damit ist die Antenne fertiggestellt. Das beste SWV ist jetzt noch zwischen 47 und 49 MHz zu finden. Die Antenne muss noch abgestimmt werden. Nach etwa einem halben Jahr sollten alle Schrauben leicht nachgezogen und das Spannseil noch einmal gespannt werden (**Bild 7**). Dieses Aufbauprinzip der Antenne ist für das 6m-, vielleicht auch noch für das 10m- und das 12m-Band brauchbar. Dabei kann der Boom mit einem Unterzug und einer zweiten Mastschelle versehen werden. Auf den unteren KW-Bändern ist ein noch stabilerer Aufbau ratsam. Dazu ist in [3] ein Aufbauvorschlag gegeben.

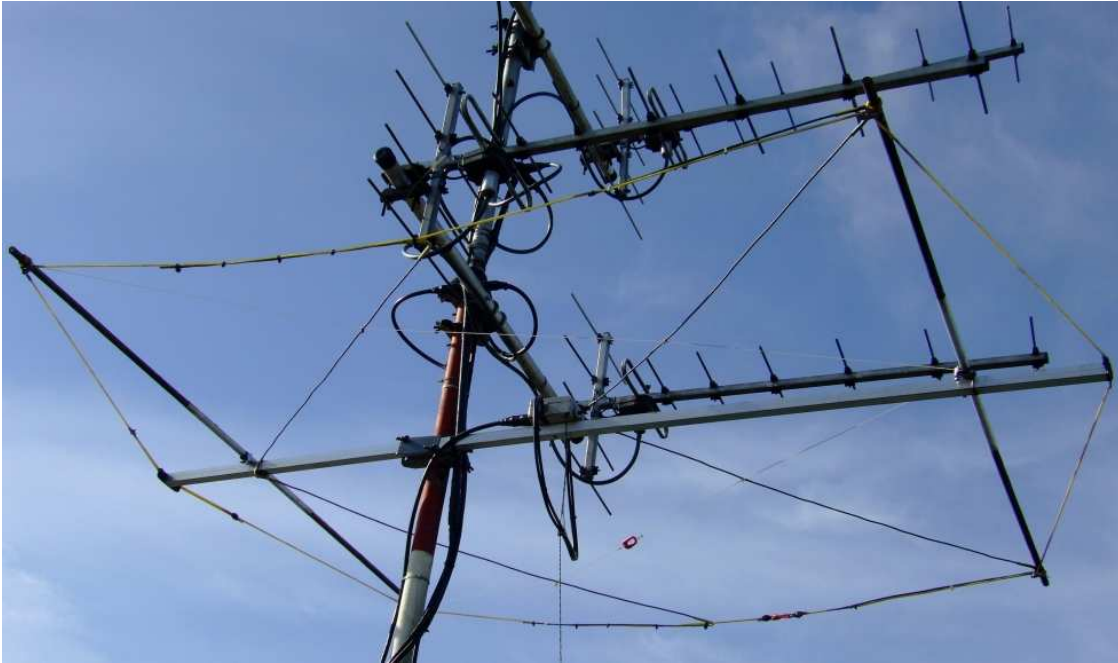


Bild 7: Nach etwa einem halben Jahr am Mast sollte die Antenne etwas nachgespannt werden

Abstimmen der Antenne

Die Längen der Antennenelemente wurden ohne Berücksichtigung eines Verkürzungsfaktors berechnet und sind deshalb zu lang. Die Antenne strahlt hauptsächlich im Strombauch, also im V-förmigen Teil der Antenne. Die nach hinten gebogenen Teile der Elemente verlängern diese auf die Resonanzlänge. Das Abstimmen der Antenne auf die gewünschte Resonanzfrequenz geschieht deshalb durch Kürzen der Antennendrähte an den äußeren Enden symmetrisch auf beiden Seiten. Dabei muss das Verhältnis der Längen zwischen dem Dipol und dem Reflektor von $V_{DR} = 1,042$ immer erhalten bleiben. Wird der Dipol um 100 mm gekürzt, so muss der Reflektor um 104,2 mm gekürzt werden. Stünde ein Verkürzungsfaktor zur Verfügung, so könnte der Abstimmvorgang beträchtlich beschleunigt werden. Die Größe dieses Faktors ist speziell auf der Kurzwelle abhängig vom verwendeten Antennendraht, seinem Durchmesser und der Isolierung sowie der Höhe der Antenne über dem Boden. Außerdem spielen die Bodenbeschaffenheit und die Umgebung der Antenne noch eine Rolle. Die Antenne wird so abgestimmt, dass das beste SWV bei der gewünschten Frequenz zu finden ist und zu den Bandenden wieder schlechter wird. Ein Beispiel dazu ist in **Bild 3** zu betrachten. Ein Analysator (VNA) oder ähnliches Messgerät leistet dabei gute Dienste. Wird mit einem Stehwellenmessgerät gearbeitet, sind immer mehrere Frequenzen zu prüfen.

Zwei kleine Hilfen bietet das Programm „Stromsummen-Antennen-Berechnung“ [4] an. Über *Berechnen/1. Verkürzungsfaktor* erhält man ein Berechnungsprogramm für den Verkürzungsfaktor. Wie in **Bild 8** zu erkennen ist, errechnet dieses Programm für diese Antenne in drei Meter über Grund ($0,5 \lambda$) einen Verkürzungsfaktor von 0,937. Dabei werden die Drahtisolierung und die Umgebung der Antenne nicht berücksichtigt, es sollte sicherheitshalber ein Wert von 0,02 dazu addiert werden (= 0,957). Mit diesem Verkürzungsfaktor werden dann die Längen der Antenne (ID u. IR) multipliziert. Das Verhältnis V_{DR} bleibt dabei erhalten. Daraus ist zu erkennen, bei welcher Länge sich die gewünschte Resonanz der Antenne etwa einstellen wird. Dieses Programm ist eigentlich für Eindrahtantennen gedacht, weshalb ein gewisser Restfehler bleibt. Bei den Musterantennen ergab sich nach der Fertigstellung ein Verkürzungsfaktor von 0,950. Bei vollständig isolierten Antennendraht ist mit einem Verkürzungsfaktor von 0,93 bis 0,91 zu rechnen. Dieses kleine Programm leistet auch gute Dienste bei der Umrechnung von Antennen auf andere Drahtdurchmesser oder andere Antennenhöhen.

Optionen	
Erequenz [MHz]:	50,2
Antennenhöhe [m]:	3
Drahtdurchmesser [mm]:	3,57
Verkürzung in % durch	
Schlangheitsgrad:	3,7
Antennenhöhe:	2,8
voraussichtlicher Verkürzungsfaktor:	0,937
<input type="button" value="Rechnen"/>	

Bild 8: Berechnung des voraussichtlichen Verkürzungsfaktors

Unter *Berechnen/4. Pruning/Optimieren* bietet das Programm noch ein nützliches Hilfsmittel zum Abstimmen der Antenne. Dieses ist in **Bild 9** dargestellt. Dort werden die Antennenlänge (*ID*), die gemessene Resonanzfrequenz sowie die gewünschte Resonanzfrequenz eingegeben. Als Ergebnis der Berechnung erhält man die Korrekturlänge für den Antennendraht. Den dabei mit ausgewiesenen *Vk gesamt* bitte ignorieren. Aber Vorsicht, die eingegebenen Werte können mit einem Messfehler behaftet sein. Es ist sicherer die Antennenlänge immer nur mit dem halben Wert zu korrigieren und sich so schrittweise dem Abstimmziel zu nähern. Denn es ist nichts schlimmer beim Antennenbau als ein zu kurzer Antennendraht!

ist Antennenlänge [m]:	3,247
ist Resonanzfrequenz [MHz]:	48,0
soll Resonanzfrequenz [MHz]:	50,2
Neu:	
Antennenlänge:	3,105
Vk gesamt:	1,039
Länge ändern um [cm]:	- 14,2
<input type="button" value="Rechnen"/>	

Bild 9: Berechnung der Längenkorrektur

Steht kein VNA und auch kein anderes Messgerät zur Verfügung, welches über Frequenzbereiche außerhalb der Afu-Bänder verfügt, so kann auch ein Dip-Meter (Griddipper) verwendet werden. Dieses Gerät sollte über eine digitale Frequenzanzeige verfügen. Damit

können die Eigenresonanzfrequenzen von Dipol (f_{rD}) und Reflektor (f_{rR}) gemessen werden. Diese Frequenzen werden berechnet mit:

$$f_{rD}[\text{MHz}] = f_{[\text{MHz}]} * \sqrt{V_{DR}} \quad f_{rR}[\text{MHz}] = \frac{f_{[\text{MHz}]}}{\sqrt{V_{DR}}}$$

oder wenn eine der beiden Frequenzen bekannt ist:

$$f_{rD}[\text{MHz}] = f_{rR}[\text{MHz}] * V_{DR} \quad f_{rR}[\text{MHz}] = \frac{f_{rD}[\text{MHz}]}{V_{DR}}$$

Bei $f = 50,2$ MHz und $V_{DR} = 1,042$ errechnen sich damit $f_{rD} = 51,243$ MHz und $f_{rR} = 49,178$ MHz. Die Messungen der Eigenresonanzen erfolgen immer in der Mitte der Elemente. Die Anschlüsse des Dipol sind dazu in der Antennendose miteinander kurzzuschließen. Bei der Messung sollte ein möglichst großer körperlicher Abstand von der Antenne angestrebt werden. Auch dadurch konnte bei den Musterantennen ein Messfehler von unter einem Prozent erreicht werden.

Noch ein paar Worte zum Wo und Wie. Antennen für die KW-Bänder sollten möglichst an ihrem endgültigen Standort abgestimmt werden, für VHF-Antennen (6m-Band) reicht ein schnell umlegbarer Mast von $0,5 \lambda$ (3 m) Höhe aus. Das Messgerät sollte sich direkt an der Anschlussbuchse der Antennendose befinden. Sollte dieses nicht möglich sein, so sollte das Anschlusskabel die Länge von $0,5 \lambda * V_k$ des Kabels oder einem Vielfachen davon haben. Die möglichen Kabellängen können mit dem Programm zur Kabellängen-Berechnung [5] berechnet werden und sind dort unter „günstig“ dargestellt.

Erweiterungen

Bei einer Antenne mit einer Impedanz von 25 bis 28 Ω bietet es sich an, zwei dieser Antennen zu einer Gruppenantenne zusammen zu schalten. Dabei steigt der Gewinn der Antennenanlage um 2,5 bis 3 dB. Der Abstand beider Antennen zueinander sollte dabei übereinander minimal $0,5 \lambda$ und nebeneinander $0,7 \lambda$ betragen. Beide Antennen werden mit zwei gleichlangen 50 Ω -Koaxkabel, die eine Länge von $n_{1,3,5} * 0,25 \lambda * V_k$ des Kabels haben, zusammen geschaltet. Die dafür möglichen Längen können mit dem Programm [5] berechnet werden und sind dort unter „ungünstig“ dargestellt. Diese Leitungen stellen eine Transformationsleitung dar, welche die Impedanz der Antenne auf einen Wert von 100 Ω transformiert. Durch die Zusammenschaltung der beiden Kabel mit einem T-Stück (T-Adapter) o.ä. entsteht wieder eine Impedanz von 50 Ω . Von diesem Punkt kann dann ein beliebiges Koaxkabel zum TRX führen. Die beiden Transformationsleitungen sollten die ersten $0,25 \lambda$ (ohne V_k) nicht auf Metall verlegt werden. Dort sind Abstandshalter für das Kabel notwendig.

In der Antennendose beider Antennen müssen die Dipolanschlüsse direkt mit der N-Buchse verbunden werden, die Transformationsleitung aus RG59-Kabel wird hierfür nicht benötigt. Genauso ist auch der Draht von der Lötöse im Boden der Antennendose zur N-Buchse zu entfernen. Beide Antennen sollten mechanisch und elektrisch identische Werte aufweisen. Um statische Aufladungen abzuleiten, wird das T-Stück leitend mit dem geerdeten Mast verbunden.

Ein Ausbau dieses Monoband-Beam zum Multiband-Beam ohne den Eingriff in den Speisepunkt ist möglich. Aber das ist ein anderes Thema.

Fazit

Die vorgestellte Antenne erreicht bei nur der halben mechanischen Größe die Leistung einer Antenne mit Elementen voller Länge. Im VRV-Verhältnis übertrifft sie diese sogar noch. Durch das nachträgliche Abstimmen der Antenne wird diese an die Umgebungsverhältnisse angepasst. Durch die Formeln kann die Antenne auch für andere Bänder berechnet werden.

Hervor zu heben ist die Möglichkeit, diese Antenne in eine vorhandene Antennengruppe einzufügen (**Bild 10**), ohne die vorhandenen Antennen merklich zu beeinflussen.



Bild 10: Der Doppel-M-Beam, eingefügt in eine Antennengruppe aus zwei 2m-Langyagi und vier 70cm-Yagi

Nachtrag (Mai 2010):

Dieser Artikel ist in anderer Form auch in [6] erschienen. Zusätzlich wurde das *Doppel-M-Beam-Berechnung*-Programm [7] fertig gestellt. Es baut auf die in diesem Text aufgeführten Formeln und dem Programm in [4] auf. Bei der Berechnung des VF wurde dabei der Korrekturwert schon berücksichtigt. Auch die Berechnung der Längenkorrektur bei dem Abstimmen der Antenne wurde an diesen Antennentyp angepasst. Weitere Einzelheiten sind im Hilfetext zu dem Programm zu finden.

Stückliste für den DGØKW-Doppel-M-Beam (6m-Band):

- 2 m Quadratrohr 23,5x1,5 mm, Alu, blank
- 1 m Rundrohr 15x1,5 mm, Alu, blank (oder 2x0,5 m lang)
- 1,60 m Glasfaserstab 13mm Ø (falz nur in 15 mm Ø greifbar: 0,5 m Rundrohr 18x1,5 mm)
- 1,63 m Glasfaserstab 13mm Ø (falz nur in 15 mm Ø greifbar: 0,5 m Rundrohr 18x1,5 mm)
oder statt Glasfaserstäbe 2x2,40 m Rundholz 13 mm Ø
- 15 m Perlonleine 3 mm Ø oder Plaste-Wäscheleine max. 4 mm Ø (ohne Metalldraht
und möglichst mit geflochtener Leine im Inneren)
- 2 Stk. Flanschverbinder 23,5 mm als Stopfen für Boom (siehe **Bild 4**, Regalbau-Zubehör)
- 1 Stk. FR Abzweigkasten 83x83x35 mm mit Klemmleiste (an 3 Seiten 2 Löcher, an
einer Seite ein Loch, beinhaltet auch Gummistopfen, 4 Stück werden gebraucht)
- 2 Stk. T-Flachwinkel 70x36x16 mm (6 Bohrungen), für größere Ant. 120x54x19 mm
- 8 Stk. Schlauchklemme 12-22 mm
- 6 Stk. Simplex-Klemmen für 3 mm Leinen
- 2 Stk. kleines Kettennotglied, möglichst aus Plaste (oder Kettenschnellverschluss,
Karabinerhaken o.ä., dient dem schnellen Öffnen der seitlichen Verspannung)
- 1 Stk. Aufputz-Kabelschelle 5 mm (am besten für Koaxkabel)
- 6,70 m 10 mm² Kupferdraht (10 m PVC-Aderleitung 10 mm², HO 7 V-U, isoliert)
- 1 Stk. N-Flanschbuchse, 4-Loch, Teflon
- 2,10 m Koaxkabel RG59, 75 Ω
- 1 Stk. Mastschelle, passend zum vorhandenen Mast, für einen Boom bis 25x25 mm
- div. Kleinteile: kleine Kabelbinder (UV-beständig), 6 Stk. kleine Kabelbinder
aus Metall (oder den Kabelbindern ähnliche kleine Schlauchklemmen), kurze 4 mm
Senkkopf-Blechsrauben, min. 4 Stk. 3 mm Schrauben mit Scheiben und Muttern
sowie Lötösen für die N-Buchse, Plastik-Spray

Literaturangaben

- [1] Rothammel, K., Krischke, A.: Antennenbuch, 10. Aufl., Franckh-Kosmos Verlags-GmbH
& Co, Stuttgart 1991
- [2] Rohländer, W., Y22OH: Blick in den Antennenwald, Sigma-Beam nach JG1UNE,
Elektronisches Jahrbuch für den Funkamateure 1990, MV der DDR, Berlin 1989, S. 133
- [3] Schmidt, P., DL9JFT: Dipol mit Reflektor in raumsparender Ausführung.
FUNKAMATEUR 48 (1999) H. 10, S. 1147
- [4] Warsow, K., DG0KW: Stromsummen-Antennen-Berechnung, www.dl0hst.de/software.htm
- [5] Warsow, K., DG0KW: Kabellängen-Berechnung, www.dl0hst.de/software.htm
- [6] Warsow, K., DG0KW: Kompakte Zweielemente Antenne: Doppel-M-Beam für das 6-m-
Band, FUNKAMATEUR 59 (2010) H. 5, S. 525-527
- [7] Warsow, K., DG0KW: Doppel-M-Beam-Berechnung, www.dl0hst.de/software.htm