

Kompakte Dreielementantenne: Triple-M-Beam von KW bis VHF

K. Warsow, DG0KW

Die hier vorgestellte Antenne ist die Weiterentwicklung der in [1][2] beschriebenen Zweielementantenne und ist mit der bereitgestellten Software von VHF bis KW dimensionierbar. Dieser Antennentyp lässt sich, da ihre Elemente gegenüber anderen Antennen um 45° oder 90° gedreht sind, in eine vorhandene Antennengruppe einfügen ohne die dort vorhandenen Antennen merklich zu beeinflussen.

Die positiven Erfahrungen im 6-m-Band mit dem Doppel-M-Beam weckten bei mir den Wunsch die Leistung der Antenne weiter zu steigern. Dieses ist, wie in [1] beschrieben, durch das Zusammenschalten von zwei oder mehreren Antennen zu einer Gruppenantenne möglich. Da sich bei mir am drehbaren Mast schon ineinander verschachtelte Gruppenantennen für das 2-m-Band und das 70-cm-Band sowie die 6-m-Band-Antenne befinden, ist dort kein Platz mehr für eine weitere Antenne. Es blieb nur die Möglichkeit den Gewinn der Antenne durch zusätzliche Elemente zu steigern. Dieser Antennentyp muss aber folgende Kriterien erfüllen:

- Dimensionierbar von VHF bis KW, Einband-u. Mehrband – Betrieb (mit Zusatz) möglich
- kompakte Bauweise
- trotzdem volle Leistung
- in vorhandene Antennengruppen mit geringem Abstand integrierbar
- geringste bis gar keine Beeinflussung anderer Antennen
- aus simplen Baumarktprodukten herstellbar

Eine Recherche in den umliegenden Baumärkten ergab, das Alu-Quadratrohr für den Boom nur bis zu einer Länge von 2,5 m handelsüblich sind. Die komplette Antenne muss auf dieser Länge zu realisieren sein. Eine grobe Simulation am PC zeigte das bei der Boomlänge nur eine Dreielementantenne mit einer Speisepunktimpedanz $Z = 12,5 \Omega$ in Frage kommt. Dieser Wert hat einige Vorteile:

- Die Impedanz von $Z=12,5 \Omega$ lässt sich mit einem 4:1-Balun an 50Ω anpassen.
- Einbandantennen, mit einem Schleifendipol (Faltdipol) ausgestattet, können direkt über einen 1:1-Balun (Mantelwellensperre) an 50Ω -Kabel angeschlossen werden.
- Die Antenne weist einen hohen Gewinn (G) bei einem sehr guten Vor-Rück-Verhältnis (VRV) auf.

Aber auch der Nachteil soll genannt werden. Die Antenne verfügt gegenüber 50Ω -Antennen über eine geringere Frequenz-Bandbreite. Da ein solcher Beam vorwiegend für DX genutzt wird und deshalb auch für den DX-Bereich im jeweiligen Band optimiert wird, muss das nicht unbedingt ein Nachteil sein. Nebenbei werden dadurch Außerband-Signale stärker unterdrückt. Es wurden nun mehrere Antennen dieses Typs berechnet und 25 Varianten davon am PC simuliert. Dabei kristallisierten sich drei der Varianten mit unterschiedlichen Parametern und verschiedenen Einsatzgebieten als optimierungswürdig heraus. Diese sind in der **Tabelle 1** aufgeführt.

Tabelle1: Die Varianten des Triple-M-Beam

Nr.	Variante	G /dBd	VRV /dB	Boomlänge * 6-m-Band /m
1	„Stadt“	6,0	22 - 61	2,50
2	„Standart“	6,3	20 - 26	2,77
3	„Land“	6,6	13 - 14	3,13

* Aufbauvariante wie in Bild 2

Die Industrie ist dazu übergegangen in allen möglichen Geräten der Leistungselektronik, um die Störstrahlungs-Werte zu „optimieren“ und Filter einzusparen, wobbelnde (jitternde) Taktgeneratoren einzubauen. Wie in [7] berichtet wird, hält diese Technik bei der es darum geht die Störstrahlungsleistung auf ein breites Frequenzband zu verteilen, jetzt auch in der NF-Verstärkertechnik Einzug. Diese Mogelpackung macht sich als breitbandiges Rauschen beim Empfang bemerkbar. Deshalb ist in dichtbesiedelten Gebieten die 1.Variante mit einem hohen VRV angebracht. Die auf einen hohen Gewinn optimierte 3.Variante ist dagegen für ländliche Gegenden mit geringen Störaufkommen gedacht. Die 2.Variante liegt mit ihren Parametern in etwa dazwischen.

Die Boomlänge der 1.Variante passt zu den in Baumärkten erhältlichem Quadratrohr. Deshalb habe ich die erste Version des Programms zur Triple-M-Beam-Berechnung für diese Variante geschrieben, die anderen beiden Varianten kommen in einer späteren Programmversion hinzu.

DG0KW - Triple - M - Beam

- Was ist ein Triple - M - Beam ?

Hierbei handelt es sich um eine Dreielemente Antenne mit abgewinkelten Elementen. Die drei Elemente der Antenne, der Direktor, der Dipol und der Reflektor, haben die Form des Buchstaben M und sind in **Bild 1** und **Bild 2** rot dargestellt. Bei dieser Antenne handelt es sich um eine schmalbandige Hochleistungsantenne, die dem für diese Antennenlänge möglichen Maximalgewinn sehr nahe kommt. Die Antenne erreicht bei nur der halben mechanischen Größe die Leistung einer Antenne mit Elementen voll gestreckter Länge. Im Vor-Rück-Verhältnis (VRV) übertrifft sie diese sogar noch.

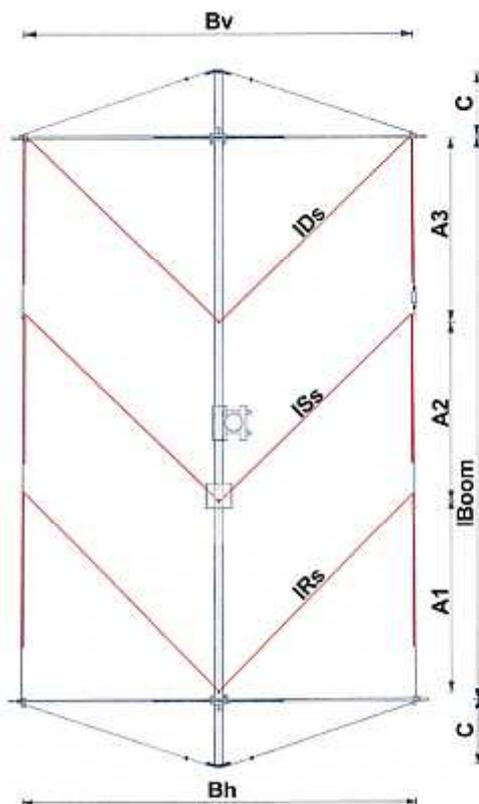


Bild 1

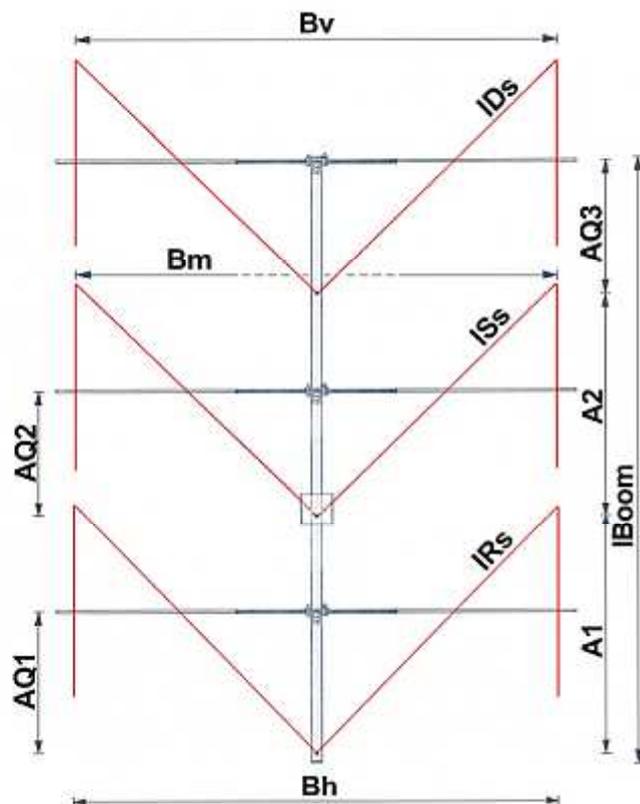


Bild 2

Schematische Darstellung des Aufbaus eines Triple-M-Beam:

Bild 1: mit zwei Querträgern und Spannseil

Bild 2: mit drei Querträgern ohne Spannseil

Hervor zu heben ist die Möglichkeit diese Antenne in eine vorhandene Antennengruppe einzufügen, da ihre Elemente gegenüber anderen Antennen um 45° oder 90° gedreht sind, ohne die vorhandenen Antennen merklich zu beeinflussen. Benötigt z.B. eine normale Yagi für das 6-m-Band noch etwa 3 m Abstand zu anderen Antennen, so kommt dieser Antennentyp bei horizontaler Polarisierung mit minimal 0,5 m Abstand ($0,08\lambda$) nach oben und unten sowie 1 m ($0,167\lambda$) Abstand nach Hinten aus. Durch das nachträgliche Abstimmen der Antenne wird diese an die Umgebungsverhältnisse angepasst.

- Technische Daten

G :	6,0 dBd	(8,15 dBi)
VRV :	≥ 22 dB	(bis 61 dB möglich, frequenzabhängig)
Z :	12,5 Ω	(50 Ω über einen 4:1 Balun an der N-Buchse)
Bestes SWV:	1:1,1	oder besser
Öffnungswinkel:	α_E ca. 70°	α_H ca. 90°
Bandbreite 6m:	bis SWV $S_{1,5}$ ca. 450 kHz ,	$S_{2,0}$ ca.780 kHz , $S_{3,0}$ ca.1,23 MHz

- Berechnung der Maße der Antenne

Die Berechnung der Antenne erfolgt mit der unter [3] in deutscher Sprache bereitgestellten Software. Genaue Details der Programmbedienung sind der Hilfedatei des Programms zu entnehmen. Eine Programmansicht der gebräuchlichsten Funktionen zeigt **Bild 3**. Der prinzipielle Ablauf der Berechnung ist:

- Festlegen der **Bauvariante**, wie in **Bild 1** oder **Bild 2** (siehe auch weiter unten)
- Berechnen des **Verkürzungsfaktor VF** , abhängig vom Drahtdurchmesser und der Antennenhöhe
- Berechnung des **Triple-M-Beam**
- Nach dem Aufbau der Antenne und ersten Messungen können unter **Pruning / Optimieren** Korrekturwerte zur Längenänderung berechnet werden

The screenshot displays the 'DG0KW Triple-M-Beam-Berechnung' software interface. The main window is titled 'Berechnung eines Triple-M-Beam nach DG0KW'. It features several input fields and buttons for calculation. The 'Antenne berechnen für Band [MHz]' section has radio buttons for different frequency bands (1.8, 3.5, 7, 10, 14, 18, 21, 24, 28, 50, and 'andere'). The 'Resonanz im Band für:' section has radio buttons for 'Bandbreite', 'QW-Bereich', and 'SSB-Bereich'. The 'Resonanzfrequenz [MHz]' is set to 50.2. The 'Verkürzungsfaktor' is 0.97. The 'Drahtisolierung' section has a dropdown for 'relative Dielektrizitätszahl' (set to 1.00059 Luft) and a text box for 'Durchmesser [mm]' (set to 8). There are 'Berechnen' and 'Anzeigen' buttons. Below the input fields, there is a text box with calculated dimensions: 'Berechnet für die Resonanzfrequenz = 50.2 MHz / Bauvariante: drei Querträger ohne Spannseil / ID=3,154 m / IDs=1,083 m / IS=3,251 m / ISs=1,09 m / IR=3,3 m / IRs=1,103 m / A1=1,136 m / A2=0,913 m / AQ1=0,51 m / AQ2=0,45 m / AQ3=0,412 m / Bv=1,533 m / Bm=1,543 m / Bh=1,561 m / IBoom=2,461 m / gesBboom=2,476 m /'. Below this is a diagram of the antenna structure with labels for dimensions: AQ1, Bh, IRs, and IBo. The status bar at the bottom shows 'Status: Bereit für Antennenberechnungen', '12:54', and '07.09.2011'. On the right, there are two smaller windows: 'VF berechnen' and 'Antennen-Pruning/Optimieren'. The 'VF berechnen' window shows 'Optionen' with 'Frequenz [MHz]' (50.2), 'Antennenhöhe [m]' (3.0), 'Drahtdurchmesser [mm]' (8), 'Verkürzung in Z durch' (Schwängelgrad: 4.1, Antennenhöhe: 2.8), and 'voraussichtlicher Verkürzungsfaktor' (0.951). The 'Antennen-Pruning/Optimieren' window shows 'ist Antennenlänge IS [m]' (3.251), 'ist Resonanzfrequenz [MHz]' (48.9), 'soll Resonanzfrequenz [MHz]' (50.2), 'Neu: Antennenlänge IS' (3.167), 'VF gesamt' (0.945), and 'Länge IS ändern um [mm]' (-84.2), 'Länge IR ändern um [mm]' (-85.5), 'Länge ID ändern um [mm]' (-81.7). There are 'Berechnen' buttons in both windows.

Bild 3:
Triple-M-Beam-
Berechnung
Programm-
Ansicht

- Ergebnisse der Berechnung

Die Ergebnisse der Berechnungen werden im Textformat ausgegeben. Dabei sind die Längenangaben in Meter der in der **Bild 1** oder **Bild 2** markierten Längen dargestellt. **Die Maße sind immer auf die Drahtmitte bezogen.** Über **Anzeigen** bekommt man detailliertere Ergebnisse in einem separaten Textfenster, der Schnellansicht zu sehen. Die Ergebnisse stehen hier auch zum Drucken bereit. Alle Winkel der drei Elemente betragen 45° oder 90° .

Ein Beispiel:

Es soll ein Triple-M-Beam für das 6-m-Band berechnet werden. Als Bauvariante wurde die mit drei Querträgern ohne ein Spannseil (**Bild 2**) gewählt. Dann wurden folgende Werte vorgegeben:

Resonanzfrequenz Gesamt Beam: 50,2 MHz
Antennenhöhe: 3,0 m (ideale Höhe von $0,5 \lambda$)
Drahtdurchmesser: 8,00 mm (ohne Isolierung)

Die Berechnung des Verkürzungsfaktor VF ergibt 0,9507. Als Zweites wird damit die Antenne mit folgenden Ergebnissen berechnet:

Drahtlängen: Direktor: ID = 3,091 m (Ges.-Drahtlänge des Direktor)
 IDs = 1,083 m („Schenkellänge“ des Direktor)
Dipol: IS = 3,186 m (Ges.-Drahtlänge des Dipol)
 ISs = 1,090 m („Schenkellänge“ des Dipol)
Reflektor: IgR = 3,235 m (Ges.-Drahtlänge des Reflektor)
 IRs = 1,103 m („Schenkellänge“ des Reflektor)

Abstände: *Reflektor/Dipol* A1 = 1,136 m
Dipol/Direktor A2 = 0,913 m
Querträger 1 AQ1 = 0,510 m (Abstand zum Befestigungs-Pkt. des Reflektor auf dem Boom)
Querträger 2 AQ2 = 0,450 m (Abstand zum Befestigungs-Pkt. des Dipol auf dem Boom)
Querträger 3 AQ3 = 0,412 m (Abstand zum Befestigungs-Pkt. des Direktor auf dem Boom)

Breitenmaße:
Vorne: Bv = 1,533 m Querträger 3 = 1,583 m
Mitte: Bm = 1,543 m Querträger 2 = 1,593 m
Hinten: Bh = 1,561 m Querträger 1 = 1,611 m

Boom:
LBoom = 2,461 m
GeslBoom = 2,476 m

Mindestabstände zu anderen Antennen/Metallflächen/Erdboden o.Ä.:

oberhalb/unterhalb = 0,48 m
 nach hinten = 1,00 m

Die bei der Berechnung mit ausgegebenen Mindestabstände sind wirklich die minimalsten Abstände der horizontalen Antenne. Eine Antenne arbeitet natürlich immer am besten, je freier und höher sie aufgebaut ist.

Die Antenne wurde auch noch sicherheitshalber mit einem VF von 0,97 berechnet. Dabei wurden die Drahtlängen ID = 3,154 m, IS = 3,251 m und IR = 3,300 m ermittelt. Bei der damit aufgebauten und getesteten Antenne wurde eine Resonanzfrequenz von 48,9 MHz gemessen.

Über **3.Pruning/Optimieren** wurden dann die Korrekturwerte für die gewünschte Resonanzfrequenz von 50,2 MHz berechnet. Es wurden folgende Werte eingegeben:

Ist Antennenlänge IS [m]: 3,251
Ist Resonanzfrequenz [MHz]: 48,9
soll Resonanzfrequenz [MHz]: 50,2

Die Berechnung ergab dann:

Neu: Antennenlänge IS [m]: 3,167
 VF gesamt: 0,945
Länge ID ändern um [mm]: - 81,7
Länge IS ändern um [mm]: - 84,2
Länge IR ändern um [mm]: - 85,5

Der Direktor muss danach um 81,7 mm, der Dipol um 84,2 mm und der Reflektor um 85,5 mm gekürzt werden. Diese Werte stimmten dann auch mit der Praxis überein. Die Differenz in der Dipollänge IS zur ersten Berechnung beträgt 19 mm, das sind weniger als 0,7 %. Die Resonanzfrequenz der Antenne hätte damit bei nur 49,9 MHz gelegen. Diese Abweichung entsteht durch die unkalkulierbare Umgebungseinflüsse am Standort der Antenne.



Bild 4:
 DG0KW-Triple-M-Beam für das 6m-Band im Test. Das USB-Kabel führt zu dem VNA, ein Antennenmessgerät direkt an der Antennen-Buchse

- Welche Aufbauvariante sollte nun gewählt werden?

Die erste Aufbauvariante mit zwei Querträgern und dem Spannseil (**Bild 1**) eignet sich im Prinzip für alle Antennen, speziell aber für Antennen mit Elementen, die aus verhältnismäßig dünnen Drähten hergestellt sind. Das können Antennen für die Kurzwellen-Bänder bis zum 6m-Band sein. Dieser Aufbau wurde auch schon bei der Antenne in [1][2] angewendet.

Wenn der Beam nicht drehbar ausgeführt ist, kann er auch einfach ohne einen Boom zwischen Masten, Häusern oder Bäumen gespannt, aufgebaut werden. Dabei fest in Richtung zu einem DXCC-Gebiet zeigend, das noch gearbeitet werden soll. So ist dann auch ein Dreielemente-Beam für das 80-m-Band oder sogar für das 160-m-Band zu realisieren!

Die zweite Aufbauvariante mit den drei Querträgern ohne Spannseil (**Bild 2**) setzt verhältnismäßig dicke Elemente voraus, die sich schon fast selber tragen. Das sind für eine 6-m-Band-Antenne Elementedurchmesser von 8 bis 10 mm (**Bild 4**). Damit ist diese Variante nur für das 6-m-Band und höher, vielleicht bei entsprechend stabilem Aufbau auch noch für das 10-m-Band bis zum 12-m-Band geeignet.

- Aufbau der Antennendose mit Balun

Die Antenne weist im Speisepunkt eine Impedanz von 12,5 Ω auf. Diese Impedanz muss an das zur Speisung einer Antenne übliche 50 Ω – Koaxkabel angepasst werden. Dieses geschieht mit einem 4:1 Breitband – Balun nach Guanella, der umgedreht betrieben wird. Der Balun muss mit einer 25 Ω -Leitung auf einem oder besser auf zwei Ferritkernen hergestellt werden. Dazu eignen sich Ringkerne oder auch Doppellochkerne. Das Kernmaterial für Breitband-Anwendungen wird je nach dem Frequenzbereich in dem die Antenne arbeitet ausgewählt (xxx steht dabei für die Kerngröße bei Ringkernen von AMIDON):

FT xxx – 61	10 – 160 (200) MHz
FT xxx – 43	1 – 50 MHz
FT xxx – 77	0,5 – 30 MHz

Als 25 Ω -Leitung eignet sich am besten ein entsprechendes PTFE (Teflon)-Koaxkabel (z.B. TF 25 [6]). Dieses wird zweimal mit 4 Wdg auf die Ringkerne gewickelt. Die Windungszahlen lassen sich einfach mit dem *mini Ringkern-Rechner* [4] für jeden Kern berechnen. XL sollte dabei auf der tiefsten Frequenz minimal das Vierfache von 50 Ω betragen. Als Ringkern wurde für die 6-m-Band-Antenne der Typ FT 114-61 verwendet. Die Version mit zwei Kernen kann mit 100 W, die Version mit einem Kern bis 50 W Sendeleistung betrieben werden. Die beiden Wicklungen werden auf der 12,5 Ω -Seite überkreuz parallelgeschaltet und auf der 50 Ω -Seite in Serie geschaltet (**Bild 5**). Bei der Einkern-Variante sollte darauf geachtet werden, dass sich die Hauptbestandteile der beiden Wicklungen möglichst weit von einander entfernt gegenüber auf dem Ringkern befinden.

Als Antennendose eignet sich jeder Feuchtraum-Abzweigkasten ab einer Größe von 80x80 mm, der über eine richtige Dichtung im Deckel verfügt. Damit sich die N-Buchse einfacher montieren lässt, sind dünnwandige Kästen wie im **Bild 6** zu verwenden. Die beiden mittleren Enden des Dipol werden durch die seitlichen Kabel-Dichtungen in die Antennendose eingeführt. Durch die 3 mm-Bohrungen in den Dipolenden (siehe unten) werden Lötösen mit längeren M3 –Schrauben befestigt (Federringe und Scheiben nicht vergessen). Gleichzeitig kann mit den Schrauben, mit einer zusätzlichen Mutter, ein Steg aus einem Isoliermaterial (Acryl, PVC o.Ä.) angeschraubt werden. Dieser verhindert, da er so lang wie die ganze Innenraumbreite der Antennendose bemessen wird, ein Verrutschen der beiden Dipolanschlüsse innerhalb der Dose. Sollte der Balun den Dipolenden im Wege sein, so müssen diese wie im **Bild 6** zu erkennen ist, noch etwas nachgebogen werden. Auf der Mittellinie der Dose, die nachher auf dem Boom aufliegt, werden vorne und hinten im Innenraum je ein Loch für eine Befestigungsschraube gebohrt. Diese Bohrungen werden so gesetzt, dass der Balun sie nicht verdeckt.



Bild 5: Balun 4:1 ($50 \Omega : 12,5 \Omega$) auf einem und auf zwei Ferritringen FT114-61 für 10 – 160 MHz



Bild 6: Blick in die Antennendose mit kompensierten Balun

Der in der Stückliste aufgeführte 1 K Ω -Widerstand (blau in **Bild 6**) dient der Ableitung von statischen Aufladungen. Er wird in der Antennendose mit dem freibleibenden Mittelanschluss des Balun (50 Ω -Seite) oder mit dem Masseanschluss der N-Buchse verbunden. Sein zweiter Anschluss wird mit einer Lötöse für eine der beiden letztgenannten Befestigungsschrauben versehen.

Die 12,5 Ω -Seite des Balun wird in der Antennendose mit den beiden Dipolanschlüssen, die 50 Ω -Seite direkt oder über ein kurzes Koaxkabel mit der N-Buchse verbunden.

Wer über entsprechende Messmöglichkeiten verfügt kann die Breitbandigkeit des Balun durch eine Kompensation noch verbessern. Beim Anschließen der Koaxkabel des Balun geht durch das Abisolieren Kapazität zwischen der Abschirmung und dem Innenleiter des Kabels verloren und es entstehen durch die Anschlussdrähte zusätzliche Induktivitäten. Dieses kann durch zusätzliche Kondensatoren kompensiert werden, die den Balun-Anschlüssen parallel geschaltet werden. Bei allen bisher aufgebauten Antennen für das 6-m-Band waren auf der 50 Ω -Seite 3 pF bis 6 pF und auf der 12,5 Ω -Seite 27 pF bis 33 pF (Scheibenkondensatoren/500V) zur Kompensation ermittelt worden. In **Bild 7** ist die gemessene Kurve eines kompensierten 4:1-Balun von 0,1 bis 180 MHz an einem 12,5 Ω -Abschlusswiderstand dargestellt. Der 12,5 Ω -Widerstand kann durch Parallelschaltung von drei 51 Ω und einem 47 Ω -Widerstand hergestellt werden. Bei den Widerständen sollte es sich um SMD-Widerstände oder um Metallschichtwiderstände handeln, die mit möglichst kurzen Anschlussdrähten angelötet werden.

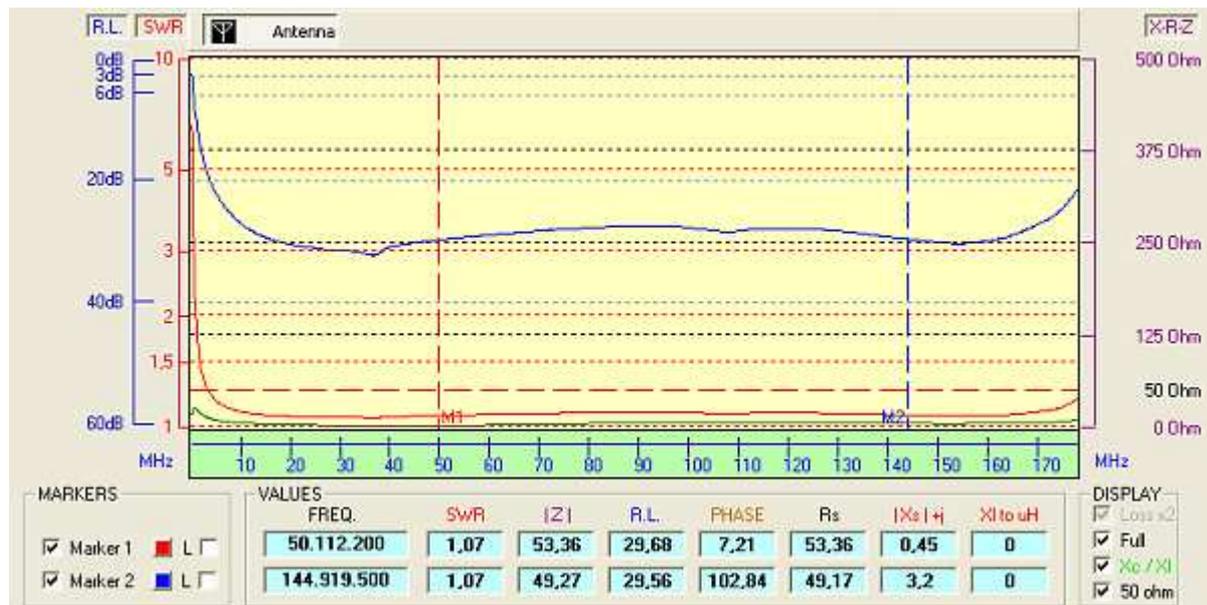


Bild 7: Mit einem VNA gemessenes SWV (rot) des 4:1-Balun von 0,1 bis 180 MHz

- Aufbau der Antenne für das 6-m-Band

In der **Stückliste 1** oder der **Stückliste 2** im Anhang sind je nach gewählter Bauvariante alle benötigten Materialien aufgeführt. Bis auf die Glasfibrstäbe sind alle Materialien in guten Baumärkten erhältlich. Beim Aufbau der Antenne leistet ein großes rechtwinkliges Dreieck mit Schenkellängen von über einem Meter gute Dienste.

Bei der ersten Bauvariante werden zwei Alu-Rohre von 0,5 m Länge, bei der zweiten Bauvariante drei Alu-Rohre von 0,25 m Länge benötigt. Diese Rohre werden an jeder Seite je zweimal überkreuz mit 15 mm tiefen Einschnitten versehen. Darauf kommen dann später Schlauchklemmen zum Arretieren der in die Rohre eingeführten Querträger aus Glasfibrstäben. Unter die Mitte der kurzen Alu-Rohre werden je ein T-Flachwinkel mit zwei Schlauchklemmen befestigt und dann die Querträger arretiert.

Die drei M-förmigen Elemente werden wie berechnet aus 8 mm oder 10 mm Alu-Draht hergestellt. Diesen Alu-Draht gibt es als Meterware von der Rolle (Blitzschutzbedarf), wenn

nicht im Baumarkt dann beim örtlichen Elektriker. Es fand sich leider bisher kein Anbieter in DL, der diese Elemente aus leichterem 10 mm-Alu-Rohr herstellen kann. Die drei berechneten Gesamtlängen werden abgemessen und dann gerade gerichtet. Der Elektriker zeigte mir den verblüffenden Trick dazu. Der Draht wird auf der einen Seite im Schraubstock, auf der anderen Seite in einer Bohrmaschine eingespannt und stramm gehalten. Ein paar langsame Umdrehungen mit der Bohrmaschine, der Draht streckt sich gerade und vor allem, er wird härter. Dann werden die Elemente gebogen. Der Biegeradius sollte dabei 10 mm nicht unterschreiten. Der Dipol wird dann in der Mitte durchtrennt und die letzten 50 mm um 45° gerade gebogen. Etwa 5 mm von der Trennstelle entfernt wird hier je eine 3 mm-Bohrung quer durch den Alu-Draht ausgeführt. Hier wird der Dipol dann später in die Antennendose eingeführt und am Balun angeschlossen (**Bild 6**).

Der Boom wird stellenweise mit Ölpapier o.Ä. ausgestopft und mit den beiden Stopfen verschlossen. Alle Maße werden auf der Oberseite angezeichnet und die beiden Kabelschellen für den Direktor und den Reflektor angeschraubt. Alle Antennenteile sind nun für die Endmontage vormontiert, wie im **Bild 8** zu sehen ist.



Bild 8: Die vormontierten Bauteile liegen bereit

Jetzt können die Querträger montiert werden. Dazu werden sie maßgenau und rechtwinklich mit dem T-Flachverbinder auf den Boom gelegt, die beiden Bohrungen angezeichnet und mit einem 3 mm-Bohrer vorgebohrt. Es hat sich bewährt die beiden Blechschrauben zuerst nur halb einzuschrauben, ein paar Tropfen Metall- oder Sekunden-Kleber unter dem T-Flachverbinder auf den Boom zu geben und dann die Schrauben ganz einzudrehen (**Bild 9**). Das erhöht auf Dauer merklich die Stabilität.

Die M-förmigen Elemente der Antennen müssen isoliert auf dem Boom befestigt werden. Dafür sorgen die beiden Kabelschellen und die Antennendose. Begonnen wird mit dem Direktor und dem Reflektor. Beide Elemente werden auf dem Boom mit der Schelle befestigt. Danach werden unter ständiger Kontrolle der Winkel die Stellen auf den Querträgern markiert, wo die Elemente diese kreuzen. Diese Stellen müssen auf beiden Seiten den gleichen Abstand zum Boom aufweisen.



Bild 9:
Querträger-
Halterung durch
einen T-
Flachwinkel und
Schlauchklemmen
am Boom

Es wurden verschiedene Arten der Befestigung der Elemente auf den Querträgern mit Klips, Schellen usw. erprobt, aber alles erwies sich als zu wacklig. Die notwendige Festigkeit ist nur mit speziell dafür gefertigten Plastikformteilen zu erreichen. Am einfachsten ist die Befestigung durch einen Kreuzwickel mit einer 1,5 mm dicken Schnur wie in **Bild 10**. Alle Elemente wurden mit einem solchen Kreuzwickel befestigt, der danach von allen Seiten mit Plastik-Spray gesichert wird. Um pickenden Vögeln die Arbeit zu erschweren werden darüber noch zwei Lagen selbstvulkanisierendes Isolierband gelegt.



Bild 10:
Die einfachste
Befestigungsart
der Elemente
auf dem Querträger

Der Dipol wird mit der vormontierten Antennendose unter Einhaltung der Winkel und der Abstände der „Schenkel“ der Elemente zu einander auf die gleiche Art befestigt. Dabei wird auch die Antennendose mit zwei Blechschrauben von oben auf dem Boom festgeschraubt. Eine der beiden Schrauben befestigt gleichzeitig die Lötöse mit dem 1 K Ω -Widerstand.

Kann die Antenne von oben auf den Mast gesetzt werden, so wird die Mastschelle zum Befestigen der Antenne am Mast im Schwerpunkt der Antenne vor der Antennendose befestigt.

Besteht diese Möglichkeit nicht, so wird die Mastschelle hinter der Antennendose befestigt. Dabei ist auf Bewegungsfreiheit zum Anschrauben des Antennenkabels zu achten.

- Abstimmen der Antenne

Nach der Fertigstellung der Antenne wird diese an ihren Standort, an dem sie nachher auch betrieben werden soll, getestet und die Resonanzfrequenz oder die Frequenz mit dem besten Stehwellenverhältnis (SWV) ermittelt. Stimmen diese durch die Umgebung der Antenne nicht mit der Berechnung überein, so müssen die Antennenelemente in der Länge abgestimmt werden. Um diesen Vorgang abzukürzen ist im Berechnungs-Programm über das Menü **Berechnen / 3. Pruning / Optimieren** ein Berechnungs-Fenster zu öffnen. Dort werden die Antennenlänge (IS des Dipol) und die gemessene Resonanzfrequenz sowie die gewünschte Resonanzfrequenz eingetragen. Dann wird die Länge berechnet, um deren Größe die gesamte Drahtlänge des Dipol (IS), des Direktors (ID) und des Reflektors (IR) verändert werden müssen. Das Ergebnis der Berechnung zeigt die Größenordnung und die Richtung der nötigen Längenänderung an.

Die Antenne strahlt hauptsächlich im Strombauch, also im V-förmigen Teil der Antenne. Die nach hinten gebogenen äußeren Teile der Elemente verlängern diese auf die Resonanzlänge. Das Abstimmen der Antenne auf die gewünschte Resonanzfrequenz geschieht deshalb durch Kürzen der Antennendrähte mit dem halben Wert an den äußeren Enden symmetrisch auf beiden Seiten (immer an allen 6 Enden!). Diese Änderung der Drahtlänge sollte aber, wenn möglich, in kleineren prozentualen Schritten vorgenommen werden. Denn es ist nichts schlimmer als dass nach dem Abschneiden der Antennendraht zu kurz ist. Anschließend wird wieder gemessen. Ein vektorieller Antennenanalysator wie der FA-NWR oder ein ähnliches Messgerät leistet dabei gute Dienste. Bei Verwendung eines Stehwellenmessgerätes sind immer mehrere Frequenzen zu prüfen. Die Antenne wird so abgestimmt, dass das niedrigste Stehwellenverhältnis bei der gewünschten Frequenz zu finden ist und zu den beiden Bandenden wieder ansteigt (**Bild 14**). Speziell bei KW-Antennen dieses Typs können die Enden der Elemente auch teleskopähnlich ausgeführt sein, also aus zwei ineinander verschiebbaren Rohren bestehen. Das erleichtert das Abstimmen.

Bei allen Antennen ist die Impedanz der Antenne nur bei der Resonanz-Frequenz reell und dann aber meistens auch nicht gleich 50Ω . Hat das Antennenkabel nun eine ungünstige Länge, so wirkt es als Viertelwellen-Transformator und setzt diese Impedanz in ganz andere Bereiche um. Deshalb sollte das Antennenkabel möglichst eine bestimmte Länge haben (siehe unter **[5]**). Messungen der Impedanz oder der Resonanz einer Antenne sollten möglichst wie im **Bild 4** immer direkt am Antennenanschluss oder, wenn nicht möglich, über ein möglichst kurzes Kabel mit einer Länge von $0,5\lambda * V_k$ oder einem Vielfachen davon, durchgeführt werden. Diese Kabellängen werden in den Ergebnissen der Kabellängenberechnung **[5]** unter „günstig“ aufgeführt.

- Ergebnisse und Erfahrungen mit der Antenne

Die Antenne befand sich nach dem Abstimmen am Mast zwischen den 70-cm-Band-Antennen und den 2-m-Band-Antennen. Wie im **Bild 15** zu erkennen ist, wären diese Abstände für eine „normale“ Yagi zu gering. In der Mitte des Arbeitsbereiches der Antenne (z.B. 50,2 MHz) sind die erreichten Parameter, wie das horizontale Strahlungsdiagramm in **Bild 11** zeigt, am besten. Das VRV erreicht dort ein Maximum von bis zu 61 dB. Am Rand des Arbeitsbereiches (z.B. 50,0 MHz) sind es beim VRV aber immer noch 22 dB (**Bild 12**). Das gemessene SWV von 48 bis 52 MHz ist in **Bild 14** dargestellt.

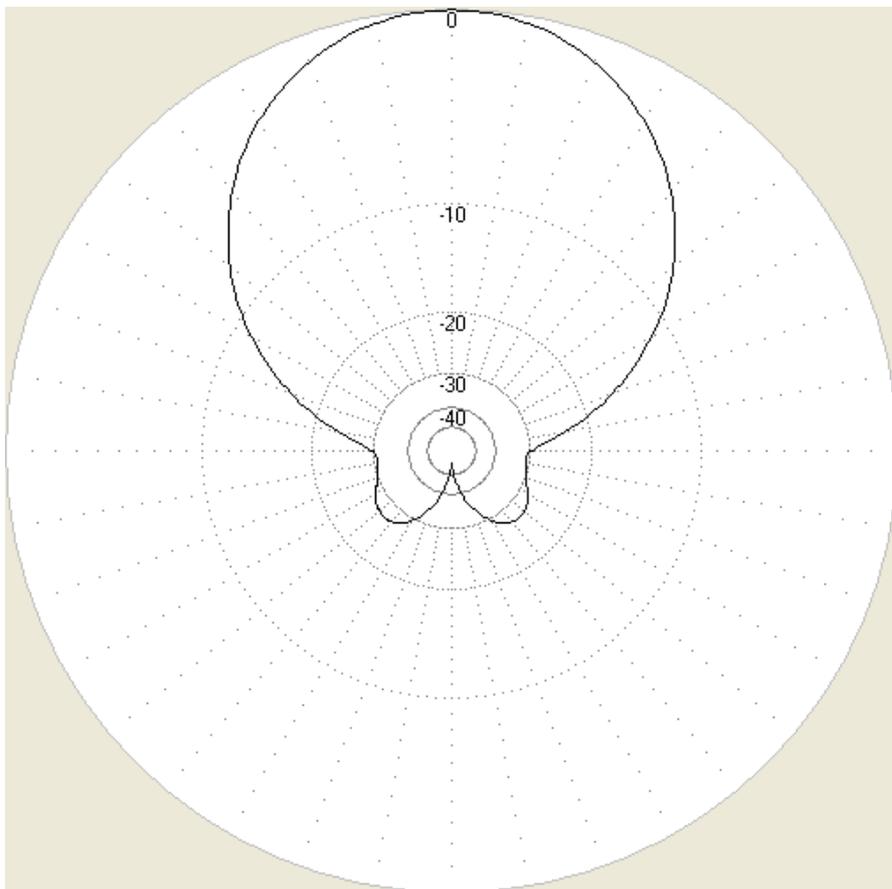


Bild 11:
Horizontales
Strahlungsdiagramm (Freiraum)
des Triple-M-
Beam bei dem
VRV-Maximum
von 61 dB

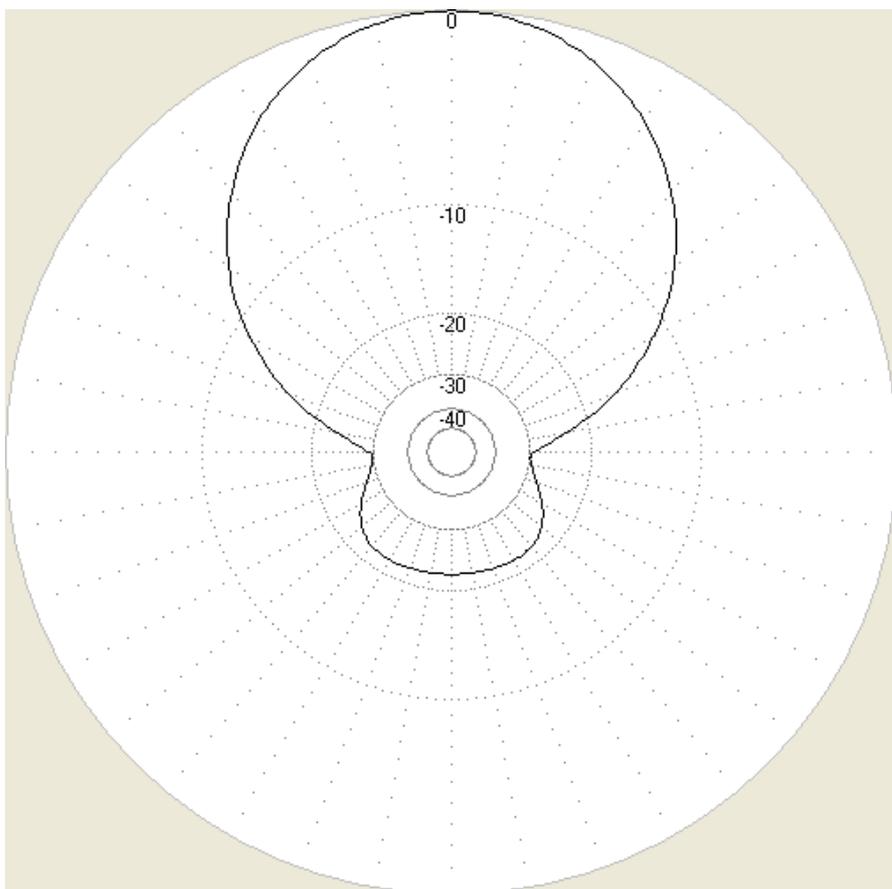


Bild 12:
Horizontales
Strahlungsdiagramm (Freiraum)
des Triple-M-
Beam bei einem
VRV von 22 dB

Die Antenne bezieht ihren höheren Gewinn gegenüber dem Doppel-M-Beam [1], neben einem etwas kleineren horizontalen Öffnungswinkel, zum großen Teil aus der Verkleinerung des vertikalen Öffnungswinkel um ca. 45°. Dadurch empfängt die Antenne weniger Störungen von

unten und oben. Ein erster Schwenk der Antenne um 360° zeigte dieses erfreulicherweise auch. Es konnten mehr Richtungen mit einem erträglicheren Störaufkommen gefunden werden.

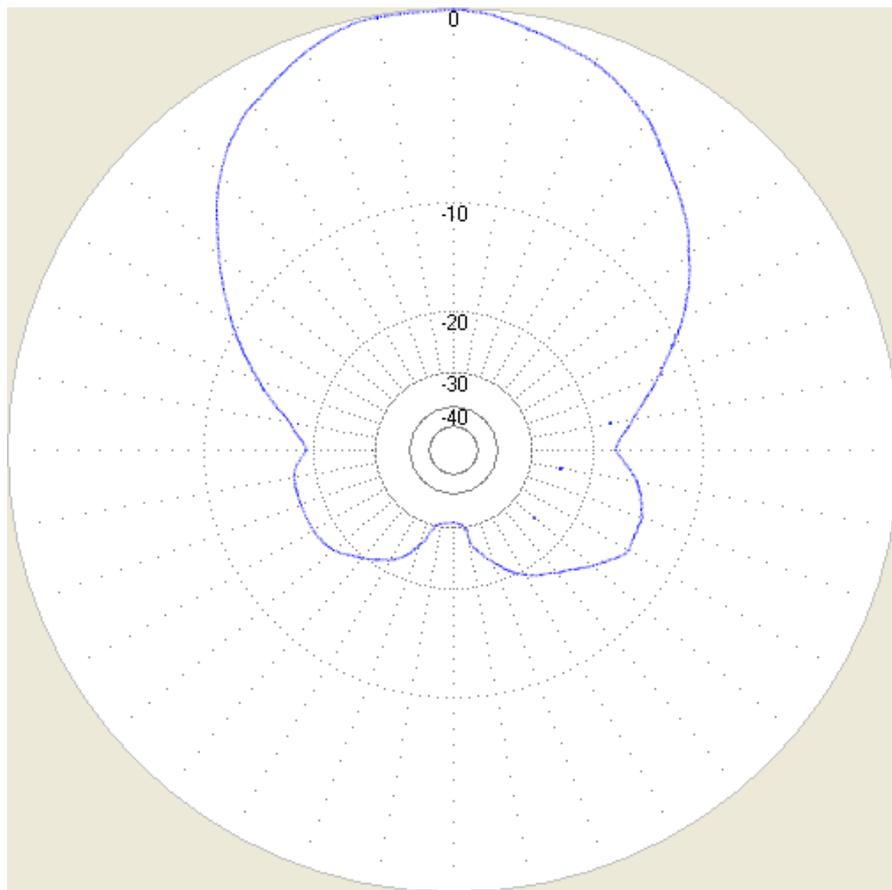


Bild 13:
Gemessenes
horizontales
Strahlungs-
Diagramm des
Triple-M-Beam
in normaler
Umgebung mit
einem VRV von
32 dB
(siehe Text)

Die Aufnahme des Strahlungsdiagramm einer Antenne an ihrem normalen Standort, also in einen nicht reflexionsfreien Raum, ist meist nicht sehr aussagekräftig. Durch die Reflexionen des Messsignals in der Umgebung werden immer schlechtere Werte der Antenne gemessen. Ich habe es aber trotzdem mit einem konstanten Signal aus 6 km Entfernung an einer HB9CV-Antenne versucht. Das Ergebnis ist im **Bild 13** zu sehen. Das dabei gemessene VRV beträgt immerhin noch 32 dB. Oder anders ausgedrückt, das VRV der Antenne muss auf Grund der unzureichenden Meßmethode immer besser als die gemessenen 32 dB sein. Die etwas größere Rückkeule im Bereich von etwa 90° bis 150° ist auf Reflexionen an Hochhäusern in nur 200 m Entfernung zurückzuführen. Auch kam es in dem Bereich zu nadelfeinen Auslöschungen des Messsignals durch die reflektierten Signale. Diese Stellen sind im Diagramm als Messpunkte dargestellt. Die Ähnlichkeit zu dem Diagramm in **Bild 11** ist aber noch deutlich erkennbar.

Es wurden auch Versuche gemacht, einen günstigeren Abstand der Antenne zu den 70-cm-Band- und den 2-m-Band-Antennen zu finden. Dabei wurden die Kurven des Triple-M-Beam und der 2-m-Band-Antennen überwacht. Ab etwa 0,4 m Abstand zu der 2-m-Antenne wurde in der Kurve der 6-m-Antenne durch Strahlungskopplung ein Dip bei 147 MHz sichtbar. Bei den 2-m-Band-Antennen handelt es sich um Antennen aus amerikanischer Produktion für das dort übliche 2-m-Band von 144 MHz bis 148 MHz. Diese Antennen haben ihre besten Parameter, wie es die Kurve auch zeigte, leider erst bei 147 MHz. Die Kurve der 2-m-Antenne begann sich erst ab einem Abstand von 0,3 m sichtbar zu verändern. Dieses ist auf kapazitive Beeinflussung zurückzuführen. Ein Vergleichstest mit einer Blechplatte im gleichen Abstand zeigte fast die gleichen Auswirkungen. Eine Überraschung brachte die Annäherung der 6-m-Antenne an die 70-cm-Antennen. Ab 0,47 m Abstand verschob sich das SWV-Minimum in Richtung 50 MHz und dort nach weiterer Annäherung angekommen, wurden die Kurven undefinierbar breit. Als Ursache dafür konnte dann eine Eigenresonanz der mechanischen Befestigung der 70-cm-Antennen gefunden werden. Diese Antennen für Vormastmontage sind

am Mast an einem Querträger befestigt und bilden ein U-förmiges Gebilde mit etwa 3,3 m Umfang (**Bild 15**). Die Halbwellenresonanz dieses Gebildes konnte dann auch mit einem Dipmeter knapp unterhalb des 6-m-Bandes nachgewiesen werden. Wie nun diese Resonanz beseitigen? Bei mir liegen dazu noch keine Erfahrungen vor. Es ist aber davon auszugehen, dass ein Ferritring auf den Querträger geschoben, diese Resonanz beseitigt oder wenigstens stark dämpft. Bei einer Konzipierung einer neuen Antennenanlage sollte also immer darauf geachtet werden, das Tragegestelle für Antennen (H-Konfigurationen o.Ä.) keine schädlichen Eigenresonanzen aufweisen.

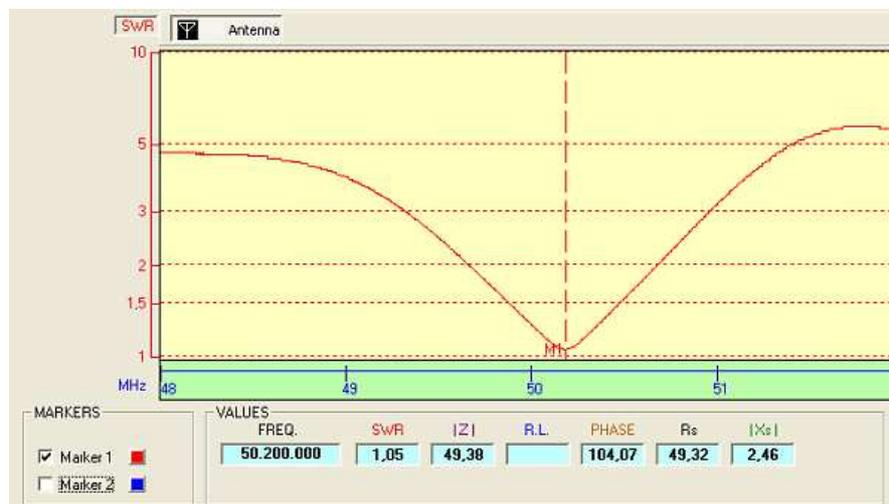


Bild 14:
Gemessenes
SWV der
Antenne von 48
bis 52 MHz

Die ersten QSO's mit der neuen Antenne verliefen recht erfreulich. Obwohl der Gewinn der Antenne im Vergleich mit dem Doppel-M-Beam nur eine halbe S-Stufe höher ist, kam es mir bedeutend mehr vor. Das ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Antenne weniger Störungen aus der Umgebung aufnimmt und Signale dadurch einen höheren Signal-Rauschabstand haben.



Bild 15:
Ansicht der
gesamten
Antennenanlage
für 2m und 70cm
mit einem Triple-
M-Beam für 6m

- Erweiterungen

Um den 4:1-Balun einzusparen kann die Antenne auch mit einem Schleifendipol (Faltdipol) versehen werden. Dieser wird zuerst als gestreckter Schleifendipol gebogen und dann in die M-Form gebracht. Die Höhe der Schleife wird dabei, je nach verwendeter Antennendose etwa 50 bis 60 mm betragen. Zu der vorher ermittelten Länge des Dipol, sie stellt jetzt den geraden Teil des Schleifendipol dar, kommt noch der Biegeradius der Bögen an beiden Enden zur Gesamtlänge hinzu. Der Schleifendipol kann auch aus zwei M-förmigen Einzelteilen zusammengesetzt werden. Diese werden an jedem Ende etwa 60 mm (6-m-Band) länger als vorher ermittelt bemessen und dann diese 60 mm vom Ende entfernt mit einem Kurzschlusschieber miteinander verbunden. Hier kann der Dipol dann sogar noch abgestimmt werden. Dazu wird der Schieber verschoben oder, was meist besser funktioniert, die überstehenden vier Enden gekürzt. In der Antennendose werden die Dipolanschlüsse über einen 1:1-Balun (Mantelwellensperre) mit der N-Buchse verbunden. Dieser Balun wird mit dem gleichen Ferritkern und der gleichen Windungszahl wie oben beschrieben gewickelt. Es wird aber nur ein 50 Ω -Koaxkabel dazu verwendet. Für den ersten Aufbau der Antenne mit einem Schleifendipol sollte diese aber schon mit einem normalen Dipol abgestimmt sein. Der Direktor und der Reflektor brauchen dann nicht mehr geändert werden. Die Antenne weist mit einem Schleifendipol eine um etwa 20% höhere Bandbreite auf, erreicht aber nur noch ein maximales VRV von 30 dB und kann nicht zur Mehrband-Antenne erweitert werden.

Die Erweiterung der Antenne zu einer Mehrband-Antenne ist ohne den Eingriff in den Speisepunkt durch strahlungsgekoppelte Elemente möglich. Dabei wird die Antenne für das Band mit der tiefsten Frequenz bemessen und mit strahlungsgekoppelten Elementen in V-Form für höhere Bänder ergänzt. Ein Triple-M-Beam für das 6-m-Band ist z.B. für das 4-m-Band und das 2-m-Band erweiterbar. Die **Tabelle 2** zeigt dazu zwei einfache Beispiele der Erweiterung der Antenne durch einen Dipol für diese Bänder.

Tabelle 2: Erweiterung der 6-m-Antenne durch einen Zusatz-Dipol auf ein weiteres Band

Band	f_r /MHz	Länge Zusatz-Dipol (Vf=0,97) /m	Abstand zum Dipol /mm
2 m *	144,300	1,012	40,5
4 m	70,200	2,126	23,5

* siehe Text

Der Triple-M-Beam für das 6-m-Band besitzt bei diesem Beispiel Elemente mit einem Durchmesser von 8 mm und der V-förmige Zusatz-Dipol, der mit Abstandshaltern isoliert vor dem Dipol befestigt wird, ist aus einem Draht mit einem Durchmesser von 5 mm hergestellt. Da der Zusatz-Dipol bei einem Vf von 0,97 immer etwas zu lang ist, kann er durch Kürzen auf die gewünschte Frequenz im jeweiligen Band abgestimmt werden. Der Antennengewinn im zusätzlichen Band entspricht bei diesem Beispiel normalerweise nur der eines Halbwellendipols. Die Ausnahme stellt die Erweiterung auf das 2-m-Band dar. Die Elemente der 6-m-Antenne befinden sich dort annähernd in einer $3 \lambda/2$ -Resonanz. Der Zusatz-Dipol ist hier als Halbwellenkomensationselement dimensioniert und sorgt für eine Anpassung der gesamten Antenne im 2-m-Band. Dadurch ergibt sich dort mit nur einem zusätzlichen Element immerhin ein Gewinn von etwa 3,5 dBd bei einem VRV von um die 6 dB. Befinden sich am gleichen Antennenmast aber noch andere 2-m-Antennen, so ist von einer Erweiterung der Antenne auf das 2-m-Band abzuraten. Die Abstände zwischen den Antennen müssten dann doch bedeutend größer sein (>2 m). Im 4-m-Band sind mit dieser einfachen Erweiterung immerhin schon Crossband-QSO's (6-m/4-m) machbar. Die Erweiterung im 4-m-Band zu einer Dreielement- oder Vierelement-Antenne ist möglich.

Um den Antennengewinn weiter zu steigern können mehrere Triple-M-Beam zu einer Gruppe zusammen geschaltet werden. Dazu sind in der Literatur, da es sich um Antennen mit einer üblichen Anschlussimpedanz von 50 Ω handelt, viele Beispiele zu finden.

- Fazit

Die hier beschriebene Antenne kann, dank der bereitgestellten Berechnungs-Software (Freeware), für alle Bänder der KW bis zum 6-m-Band und höher konzipiert werden. Sie weist auch ohne Traps einen geringeren Platzbedarf auf und ist in eine vorhandene Antennenanlage ohne große Beeinflussung der anderen (Yagi-) Antennen integrierbar.

Der hier gemachte Aufbauvorschlag aus simplen Baumarktprodukten stellt eine schnelle Aufbaulösung dar und ist natürlich durch speziell hergestellte Klemmen, Elementhalterungen und Antennendosen verbesserbar.

Einige ergänzende Grafiken sind in der Erstveröffentlichung [8] dieser Antenne zu finden.

Abschließend möchte ich mich bei Peter, DL1KUD, für die Bereitstellung der konstanten Testsignale bedanken.

dg0kw@dar.c.de

Literaturangaben

- [1] Warsow, K., DG0KW: Kompakte Zweielementesantenne: Doppel-M-Beam für das 6-m-Band, FUNKAMATEUR 59 (2010) H. 5, S. 525-527
- [2] Warsow, K., DG0KW: Der Doppel-M-Beam, eine kompakte Antenne nicht nur für das 6m-Band, www.dl0hst.de/technik/DG0KW_Doppel-M-Beam.pdf
- [3] Warsow, K., DG0KW: Triple-M-Beam-Berechnung, www.dl0hst.de/software.htm ((ist dort jetzt noch nicht zu finden, erst zum Erscheinungstermin dieses Artikels))
- [4] Burmeister, W., DL5SWB: mini Ringkern-Rechner, www.dl5swb.de/html/mini_ringkern-rechner.htm
- [5] Warsow, K., DG0KW: Kabellängen-Berechnung, www.dl0hst.de/software.htm
- [6] Wippermann, W., DG0SA: www.wolfgang-wippermann.de/PTFE.htm
- [7] Beckers, T.: Klasse-D-Entwicklungen: Weniger Störungen trotz filterlosen Ausgang, elektor 41 (2010) H. 11, S. 60-61
- [8] Warsow, K., DG0KW: Kompakte Dreielementantenne: Triple-M-Beam für 6m, FUNKAMATEUR 61 (2012) H. 2, S. 174-176 / H.3 S. 286-289

Anhang:

Stückliste 1 für den DGØKW-Triple-M-Beam (6m-Band) der Bauvariante nach Bild 1:
(Bauvariante mit zwei Querträger und Spannseil)

- 3,35 m Quadratrohr 23,5x23,5x1,5 mm, Alu, blank (oder 19,5x19,5x1,5 mm)
- 2 Stk GFK-Rundstab (Glasfaserstab) 12mm Ø, 2m lang (notfalls 2x2,40 m Rundholz 13 mm Ø)
- 1 m Rundrohr 15x1,5 mm, Alu, blank (oder 2x0,50 m lang, bei 13mm Rundholz: 16x1,5 mm)
- 15 m Perlonleine 3 – 4 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 2, Regalbau-Zubehör)
- 1 Stk. FR Abzweigkasten 83x83x35 mm (an 3 Seiten 2 Löcher, an einer Seite ein Loch, beinhaltet auch Gummistopfen, 2 Stück werden gebraucht)
- 2 Stk. T-Flachwinkel 70x36x16 mm (6 Bohrungen), für größere Ant. 120x54x19 mm
- 12 Stk. Schlauchklemme 12-22 mm
- 6 Stk. Simplex-Klemmen für 3 mm oder 4 mm Leinen
- 2 Stk. kleines Kettennotglied, möglichst aus Plaste (oder Kettenschnellverschluss, Karabinerhaken o.ä., dient dem schnellen Öffnen der seitlichen Verspannung)
- 10 m Aludraht 8-10 mm Ø (Blitzschutz), oder minimal Kupferdraht Ø >3,5 mm (z.B. PVC-Aderleitung 10 mm², HO 7 V-U, isoliert)
- 2 Stk. Aufputz-Kabelschelle je nach Draht - Ø 4 mm bis 10 mm (oder Rohrklipp 10 mm)
- 1 Stk. N-Flanschbuchse, 4-Loch, Teflon
- 1 Stk. Mastschelle, passend zum vorhandenen Mast, für einen Boom bis 25x25 mm (je nach Quadratrohr)
- 1 Stk. Balun 4:1 / 50 :12,5 Ohm (siehe Text)
- 1 Stk. Widerstand 1 KΩ, etwa 0,4 bis 0,6 W
- div Kleinteile: kleine Kabelbinder (UV-beständig), 6 Stk. kleine Kabelbinder aus Metall (oder den Kabelbindern ähnliche kleine Schlauchklemmen), kurze 4 mm Senkkopf-Blehschrauben (4,2x16 mm), min. 4 Stk. 3 mm Schrauben mit Scheiben und Muttern sowie Lötösen für die N-Buchse, Plastik-Spray

Stückliste 2 für den DGØKW-Triple-M-Beam (6m-Band) der Bauvariante nach Bild 2:
(Bauvariante mit drei Querträger ohne Spannseil)

- 2,5 m Quadratrohr 23,5x23,5x1,5 mm, Alu, blank (oder 19,5x19,5x1,5 mm)
- 3 Stk GFK-Rundstab (Glasfaserstab) 12mm Ø, 2m lang (notfalls 2x2,40 m Rundholz 13 mm Ø)
- 1 m Rundrohr 15x1,5 mm, Alu, blank (oder 3x0,25 m lang, bei 13mm Rundholz: 16x1,5 mm)
- 2 Stk. Stopfen 23,5x23,5 mm für Boom (passend zum Quadratrohr, Regalbau-Zubehör)
- 1 Stk. FR Abzweigkasten 83x83x35 mm (an 3 Seiten 2 Löcher, an einer Seite ein Loch / beinhaltet auch Gummistopfen: 2 Stück werden gebraucht)
- 3 Stk. T-Flachwinkel 70x36x16 mm (6 Bohrungen), für größere Ant. 120x54x19 mm
- 12 Stk. Schlauchklemme 12-22 mm
- 10 m Aludraht 8-10 mm Ø (Blitzschutz)
- 2 Stk. Aufputz-Kabelschelle 8 mm oder 10 mm (oder Rohrklipp 10 mm)
- 1 Stk. N-Flanschbuchse, 4-Loch, Teflon
- 1 Stk. Mastschelle, passend zum vorhandenen Mast, für einen Boom bis 25x25 mm (je nach Quadratrohr)
- 1 Stk. Balun 4:1 / 50 :12,5 Ohm (siehe Text)
- 1 Stk. Widerstand 1 KΩ, etwa 0,4 bis 0,6 W
- div Kleinteile: Perlonschnur 1,5mm Ø (UV-beständig), Senkkopf-Blehschrauben (4,2x16 mm), min. 4 Stk. 3 mm Schrauben mit Scheiben und Muttern sowie Lötösen für die N-Buchse, selbstverschweißendes (vulkanisierendes) Isolierband, Plastik-Spray