Duoband-Antenne für 13 und 3 cm

Für Es'hailSat-2-Empfang

Peter-Jürgen Gödecke, DJ7GP

Als im März 2014 bekannt wurde, dass die Qatar Satellite Company den geostationären Satelliten Es'hailSat-2 mit einer Amateurfunk-Nutzlast ausrüsten wird, war das für mich der Anlass, über eine mögliche Antennenkonfiguration nachzudenken. Heraus kam ein Duoband-Erreger für 13 und 3 cm.

Nach den vorliegenden Informationen wird der Uplink im S-Band (13 cm) mit rechtsdrehender Zirkularpolarisation und der Downlink im X-Band (3 cm) mit vertikaler bzw. horizontaler linearer Polarisation arbeiten (**Tabelle**). Bei Verwendung eines Parabolspiegels ist zu berücksichtigen, dass die Zirkularpolarisation durch die Spiegelung ihre Drehrichtung umkehrt. Aktive Mikrowellenamateure können sicher ihre vorhandenen Antennen und Geräte für eine Kommunikation über den Satelliten nutzen. Wer aber, wie ich das vorhabe, eine fest auf den Satelliten ausgerichtete Antenne plant, wird sich nach etwas geeignetem umsehen müssen.

Im wesentlichen kommen aus meiner Sicht zwei Lösungen infrage:

1. Eine Antenne für den Uplink, z.B. eine (Kreuz-)Yagi oder eine Helix für 13 cm und eine Antenne für den Downlink, z.B. eine Sat-Schüssel für 3 cm mit entsprechendem Feed, oder
2. Eine Sat-Schüssel mit einem Duoband-Erreger für 13 und 3 cm.

Über einen Duoband-Erreger für Lösung 2 soll im folgenden berichtet werden.

Für den Betrieb über einen Satelliten ist eine möglichst gute Entkopplung des 3-cm-Erregers vom 13-cm-Erreger anzustreben, weil, zumindest zum Einpegeln der Übertragungsstrecke, auf 13 cm gesendet und gleichzeitig auf 3 cm empfangen werden muss.

Aus diesem Grund scheidet auch ein Duoband-Ringdipol als vermeintlich einfache Lösung aus. Zur Probe habe



Tabelle: Afu-Transponder auf Es'hailsat-2

Transponder		Band	Polaristion	Frequenz (MHz)	Bandbreite
NB	Uplink	S-Band	RHCP	2400,175	250 kHz
	Downlink	X-band	LVP	10 489,675	
WB	Uplink	S-Band	RHCP	2405,500	8 MHz
	Downlink	X-Band	LHP	10 495,000	

Tabelle (unten):
Einzelheiten zu den zwei Afu-Transpondern auf Es'Hailsat-2

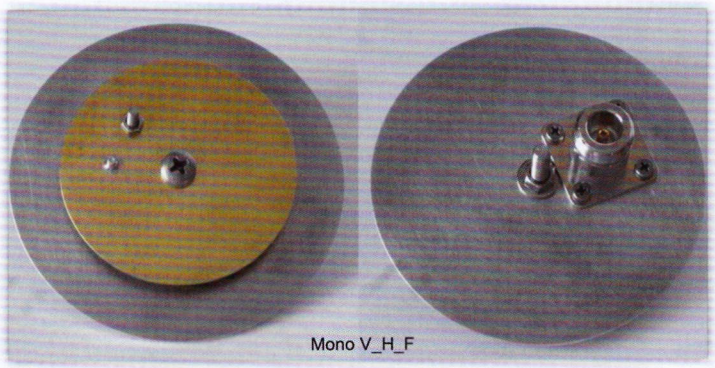


Bild 1 (links):
Monoband-Patch für 2,4 GHz

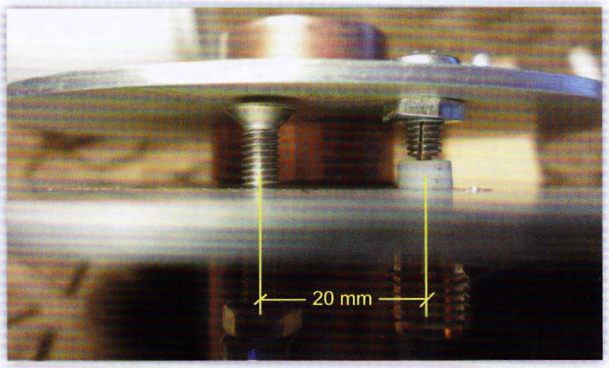


Bild 2 (rechts):
Schraube für Zirkularpolarisation

ich einen Duoband-Ringdipol aufgebaut. Peter, DG5AXC, hat zwischen dem 13-cm-Ring und dem 3-cm-Ring eine Koppeldämpfung von <16 dB gemessen. Um nicht Gefahr zu laufen, das Rad noch einmal zu erfinden, habe ich zunächst einmal recherchiert.

Im AMSAT Journal 1/1997 findet man den Artikel „Antennen für Phase 3-D, Teil 3" von ON6UG, in dem er eine Dreiband-Patch für 6 cm, 13 cm und 23 cm über einem runden Hohlleiter-Erreger (Töpfchenstrahler) für 3 cm beschreibt, leider ohne Angaben zu Rücklaufdämpfung(en) und Strahlungsdiagramm(en).

Im Internet findet man „Making a Dual Band S & L Patch" von WØLMD, dazu von HB9HAL den „Erfahrungsbericht mit dem Nachbau der 13/23 cm WØLMD Dualpatch-Antenne" und von W1GHZ „Analysis of the WØLMD Dualband Patch Feed for L&S Band". Sehr hilfreich ist auch das im Internet verfügbare „Microwave Antenna Book" von W1GHZ.

Nach dem Studium der oben genannten und weiterer Artikel stand für mich fest, es soll eine Duoband-Antenne mit einem Patch für 13 cm (2,4 GHz) über einem Töpfchenstrahler für 3 cm (10 GHz) werden.

Der 2400-MHz-Patch

Da bisher keine Erfahrungen mit der Anfertigung solcher Antennengebilde vorlagen, wurde zunächst ein Monoband-Patch für 2,4 GHz gebaut. Die beiden Scheiben aus Aluminium- und Messingblech waren auf der Drehbank schnell hergestellt und mit einer M5-Schraube auf Abstand verbunden. Eine N-Buchse für die Einspeisung und eine M3-Schraube als kleine Kapazität zur Erlangung der Zirkularpolarisation wurden angebracht (**Bild 1**). Von Peter, DG5ACX, wurde das Gebilde gemessen. Dabei bestätigte sich die Aussage von HB9HAL, dass die Strahlerscheibe mit dem von WØLMD angegebenen Durchmesser von 60,3 mm zu klein ist. Bei einem Scheibendurchmesser von 62 mm stellte sich eine Resonanz bei 2400 MHz und eine Rücklaufdämpfung besser als –30 dB ein.

Jetzt ging es daran, die M5-Schraube, die den Strahler mit dem Reflektor verbindet, durch ein Kupferrohr mit 22 mm Außendurchmesser und 20 mm Innendurchmesser, wie es für den 3-cm-Topfstrahler gebraucht wird, zu ersetzen.

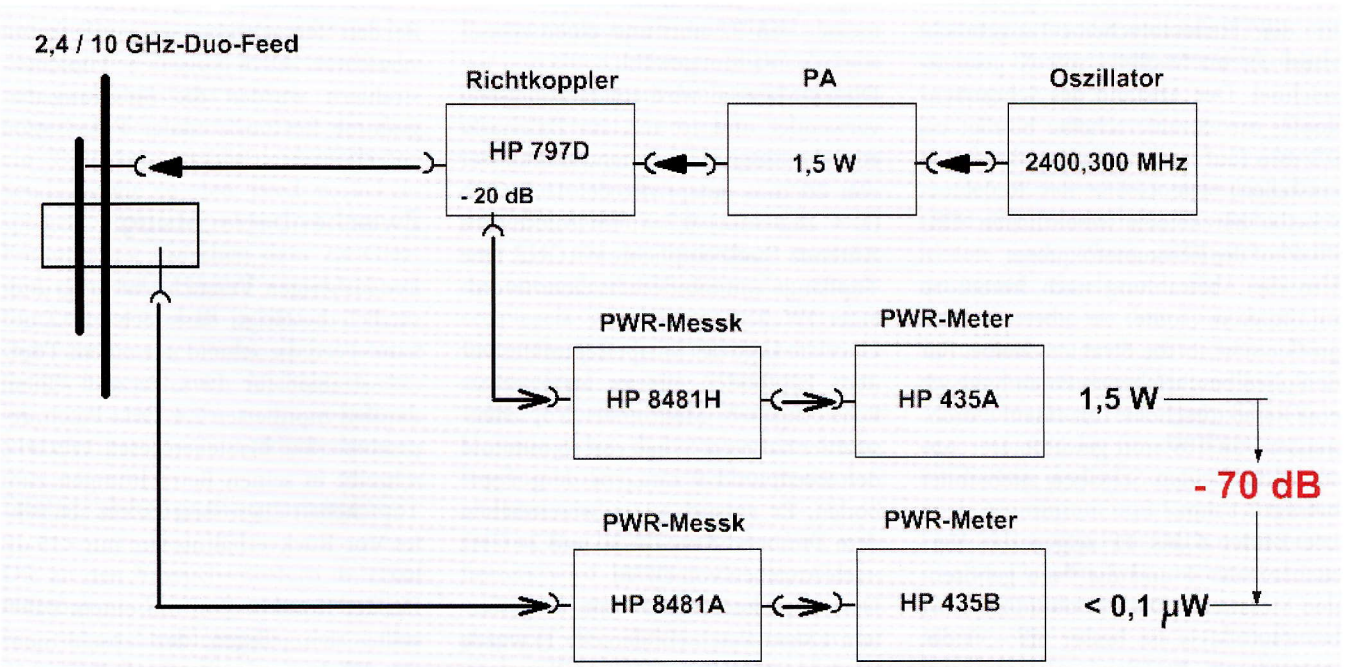


Bild 3:
Aufbau zur Messung der Koppeldämpfung

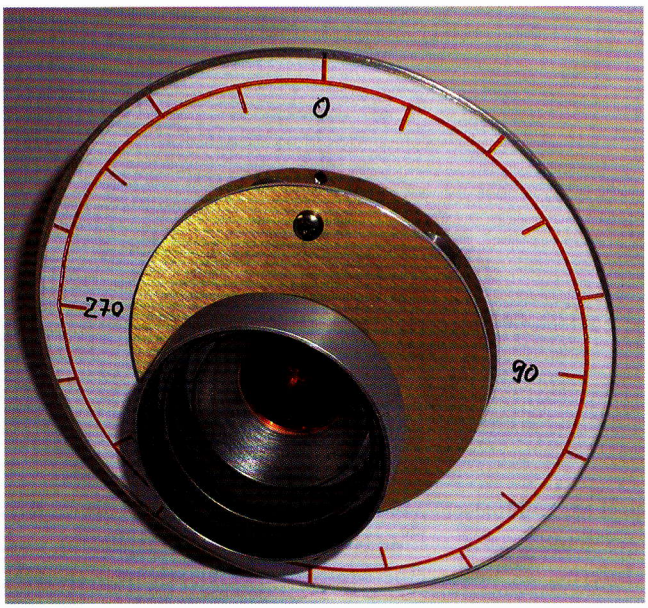


Bild 4 (links):
Muster 2 mit Rillenhorn

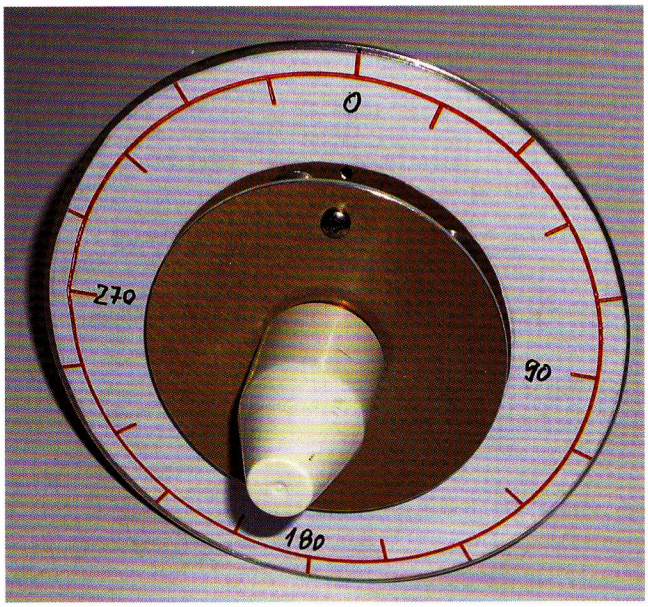


Bild 5 (rechts):
Muster 2 mit Konzentrator und Abdeckkappe

Dazu wurden für den Strahler Scheiben unterschiedlichen Durchmessers und mit vielen Bohrungen zur Ermittlung der Lage des Feedpunktes und der M3-Schraube für die Zirkularpolarisation angefertigt. In einer längeren Messreihe wurde ein Durchmesser für die Strahlerscheibe von 74 mm als optimal ermittelt. Der Feedpunkt liegt auf einem Kreis mit einem Radius von 29,5 mm.

Zur Erzielung linksdrehender Zirkularpolarisation wird 20 mm links vom Feedpunkt auf einem Radius von 32 mm eine M3-Senkkopfschraube in der Reflektorscheibe angebracht (**Bild 2**), im Maßbild mit X gekennzeichnet. Der Abstand des Schraubenkopfes zur Strahlerscheibe beträgt ca. 0,2 mm (auf beste Zirkularpolarisation einstellen). Die Größe der Reflektorscheibe hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Resonanzfrequenz.

Um die Abstrahlung nach hinten zu minimieren, sollte sie aber deutlich größer sein als die Strahlerscheibe. Für den oben beschriebenen Patch habe ich eine Reflektorscheibe mit einem Durchmesser von 109 mm gewählt. Der Abstand der beiden Scheiben zueinander beträgt 7,1 mm.

Die **Bilder 6 bis 11** zeigen das Versuchsmuster 1 und die dazu gehörenden Messwerte. Die Rücklaufdämpfung bei 2400 MHz ist besser als –30 dB.

Anmerkung: Bei den ersten Musteraufbauten ist die M3-Schraube für die Zirkularpolarisation in der Strahlerscheibe angebracht. Das ist natürlich ungünstig. Sie sollte, von der Rückseite aus bedienbar, in der Reflektorscheibe angebracht werden.

Die an zwei weiteren Musteraufbauten ermittelten Werte sind auf den **Bildern 12 bis 23** dargestellt. Die Zirkularpolarisation lässt sich mit der schon genannten M3-Schraube optimieren.

Der 10-GHz-Töpfchenstrahler

Für den 3-cm-Töpfchenstrahler habe ich, wie schon viele OMs vor mir, Kupferrohr mit einem Außendurchmesser von 22 mm und einer Wandstärke von 1 mm gewählt.

Dieses Material wird im Heizungsbau verwendet und ist u.a. im Baumarkt zu bekommen. Der Innendurchmesser von 20 mm entspricht bei 10,5 GHz (λ = 28,6 mm) 0,7 λ. Im Microwave Antenna Book empfiehlt W1GHZ eine Topflänge von mindestens einer (Hohlleiter-)Wellenlänge.

Über die Lage des Einspeisepunktes vor dem Topfboden gibt es unterschiedliche Angaben. Mein erster Töpfchenstrahler hatte die Länge von 48 mm und den Feedpunkt 9 mm vor dem Topfboden. Er entspricht im wesentlichen dem Duoband-Feed für 10 und 24 GHz nach Angaben von DJ7FJ.

Der Töpfchenstrahler mit aufgesetztem 13-cm-Patch (Bilderseite 1) wurde wiederum von Peter, DG5ACX, gemessen. Die Rücklaufdämpfung bei 10,5 GHz ist besser als –20 dB.

Als nächstes wurde ein 3-cm-Töpfchenstrahler angefertigt, bei dem der Abstand des Feedpunktes zum Topfboden verändert werden kann (Bilderseite 2).

Optimale Ergebnisse hinsichtlich Frequenzgang und Rücklaufdämpfung stellten sich bei einem Abstand von 11 mm und einem Koppelstift mit 2 mm Durchmesser und 6 mm Länge ein. Um mit einem Töpfchenstrahler sowohl vertikale als auch horizontale Polarisation nutzen zu können, werden einfach zwei Einkoppelstifte im rechten Winkel zueinander angebracht.

Bei den Versuchsmustern wurde darauf verzichtet. Auch von den Töpfchenstrahlern wurden die Strahlungsdiagramme bei horizontaler Polarisation aufgenommen (Bilder 6 bis 24).

Zwischenbetrachtung

Die bisherigen Versuche haben grundsätzlich bestätigt, dass sich ein Duoband-Feed, bestehend aus einem Töpfchenstrahler für 10 GHz und einem darüber montierten 2,4-GHz-Patch, reproduzierbar herstellen lässt. W1GHZ schreibt in seinen Betrachtungen zum Töpfchenstrahler, dass er ein schlechtes Vor-Rückverhältnis von nur <15 dB hat.

Bei der Kombination mit einem Patch sollte sich, wegen der abschirmenden Wirkung der Patchscheiben, rein gedanklich, ein besseres Vor-Rückverhalten ergeben.

Die Messungen der Strahlungsdiagramme beweisen diese Annahme nur bedingt, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Messungen im Freien aber nicht im Freifeld vorgenommen wurden. Ebenso war noch die Koppeldämpfung zwischen dem Patch und dem Töpfchenstrahler zu ermitteln. Dazu wurden in den 13-cm-Patch 1,5 W bei 2,4 GHz eingespeist.
An der Buchse des 3-cm-Hörnchens wurden dabei weniger als 0,1 µW gemessen (< 2.2 mV an 50 Ω). Die Koppeldämpfung ist also größer als 70 dB **(Bild 3)**.
An dieser Stelle ist es angebracht, über den Typ des Parabolspiegels, der eingesetzt werden soll, nachzudenken. Infrage kommt entweder ein rotationssymmetrischer oder ein Offset-Spiegel. Ein rotationssymmetrischer Spiegel mit einem f/D von etwa 0,4 verlangt ein weiteres Strahlungsdiagramm des Feeds als ein Offsetspiegel mit einem f/D von etwa 0,6 oder größer. Das muss bei der Auslegung des Feeds berücksichtigt werden.
Einen optimalen Wirkungsgrad erreicht das System Spiegel/Feed, wenn das Strahlungsdiagramm am Spiegelrand um ca. 10 dB gegenüber dem Spiegelmittelpunkt abfällt.
Für Spiegel mit einem f/D von 0,4 sollte der Winkel zwischen den 10-dB-Punkten im Strahlungsdiagramm ca. 110°, für Spiegel mit einem f/D von 0,6 ca. 90° betragen.
Ein rotationssymmetrischer Spiegel hat den Nachteil, dass ein Teil seiner Fläche vom Feed abgedeckt wird.
Schwerer wiegt aber die Tatsache, dass ein Teil der vom Feed abgegebenen Sendeenergie in den Feed zurückgespiegelt wird, was möglicherweise die Entkopplung zwischen dem 2,4-GHz- und dem 10-GHz-Teil verschlechtert. Ein Offsetspiegel ist in diesem Fall sicher die bessere Wahl, zumal solche Sat-TV-Spiegel auch leichter zu bekommen und wohl auch preiswerter sind als rotationssymmetrische Spiegel.

Die Strahlungsdiagramme

Die an den Versuchsmustern unter zu Hilfenahme des Programms DIADEM ermittelten Strahlungsdiagramme der 3-cm-Töpchenstrahler zeigen für die Verwendung vor einem Offsetspiegel eine viel zu breite Keule.

Ein Blick auf die für das Sat-TV verwendeten LNBs, die ja für Offsetspiegel vorgesehen sind, zeigt mögliche Lösungen. Bei den Sat-LNBs werden Rillenhörner (corrugated horns) verwendet oder bei neueren LNBs schmaler Bauform Konzentratoren (dielektrische Linsen).
Wie die aufgenommenen Strahlungsdiagramme des 3-cm-Töpfchenstrahlers von Baumuster 3 zeigen, hat das aufgesetzte Rillenhorn, entgegen der Erwartung, keinen merklichen Einfluss auf das Strahlungsdiagramm. Aber das 10-GHz-Töpfchen mit aufgesetztem Konzentrator und zugehöriger Abdeckkappe (Bilderseite 3) hat einen 10-dB-Öffnungswinkel von ca. 95°. Das passt recht gut für die Verwendung vor einem Offsetspiegel!
Solch einen Konzentrator mit Abdeckkappe kann man einem handelsüblichen LNB entnehmen. Im vorliegenden Fall stammt er von einem Inverto-Single-LNB (Bild 4, 5).
Zu beachten ist, dass der Konzentrator immer mit der zugehörigen Abdeckkappe verwendet werden muss, weil die, auf Grund ihrer Form, den Strahlengang ebenfalls beeinflusst.
Die gemessenen Strahlungsdiagramme, mit und ohne Kappe, unterstreichen das.
Der Einsatz eines Rillenhorns kommt aus zwei Gründen nicht in Betracht: Die ermittelte Wirkung ist unzureichend, und das Horn deckt den 13-cm-Patch unzulässig ab. Auf 10 GHz haben wir nun einen „schönen Blick" über die Offset-Schüssel auf den Satelliten. Aber wie sieht es auf 13 cm aus?
Die gemessenen Strahlungsdiagramme der 13-cm-Patches zeigen einen 10-dB-Öffnungswinkel zwischen ca. 105° und 135°. Das ist deutlich zu breit für die optimale Ausleuchtung eines Offsetspiegels mit einem f/D von 0,6. Baumuster 3 habe ich deshalb in einen Topf gesetzt (Tiefe 41 mm, Reflektordurchmesser 105 mm), in der Hoffnung, dass dadurch der den Strahlengang in der gewünschten Weise beeinflusst wird.
Das ist aber leider nicht der Fall, verbessert wird lediglich das Vor-Rück-verhältnis ein wenig. Auch die Ausprägung der Zirkularpolarisation ist noch nicht zufriedenstellend. Hier ist also noch „Entwicklungsarbeit" erforderlich.

Zusammenfassung

Der vorgestellte Duoband-Erreger eignet sich in seiner Grundform gut für rotationssymmetrische Parabolspiegel mit einem f/D von ca. 0,4. Für Offsetspiegel mit einem f/D von ca. 0,6 muss der Öffnungswinkel der Strahlungskeulen verringert werden. Das ist mit einem Konzentrator plus Kappe von einem Sat-LNB für das 10-GHz-Töpfchen recht gut gelungen.
Für den 13-cm-Patch ist noch keine Lösung gefunden. Aber, im Gegensatz zur 10-GHz-Empfangsseite, bei der man sich durch Überstrahlen des Spiegels zusätzliches Hintergrundrauschen einfängt, ist die Situation auf der 13-cm-Sendeseite nicht ganz so dramatisch. Zwar sinkt durch die Überstrahlung der Wirkungsgrad der Antennenanordnung, aber das lässt sich durch etwas höhere Sendeleistung ausgleichen. Mit einem 90-cm-Satspiegel wird in unseren Breiten eine Sendeleistung von „nur" ca. 5 bis 10 W erforderlich sein.
Während der Entwicklung der Duoband-Antenne war es immer möglich, die Antenne für die erforderlichen Messungen irgendwie zu befestigen. Für den praktischen Betrieb muss aber eine, im Sinne des Wortes, tragfähige Lösung für die Montage im Brennpunkt eines Parabolspiegels gefunden werden. Besonders für die Verwendung vor einem Offsetspiegel ist die Montage in der Halterung für die üblichen LNBs mit 40 mm Durchmesser eine praktikable Lösung.
Zur Probe wurde aus einem Stück KG-Rohr mit 40 mm Außendurchmesser solch eine Montagehilfe gebaut **(Bild 25)**. Wenn man das Rohr nach hinten noch etwas verlängert, bleibt genügend Spielraum für optimale Positionierung vor dem Spiegel.
Zum Schluss noch eine Anmerkung zu den verwendeten Materialien. Eine Materialpaarung wie bei den Versuchsmustern ist für die Verwendung im Freien denkbar ungünstig, bilden doch Aluminium und Kupfer unter der Einwirkung von Feuchtigkeit ein galvanisches Element, was unweigerlich zur Korrosion führt.
Man sollte also auch die Patch-Scheiben wie das Horn aus Kupfer- oder Messingblech oder beides aus Aluminium anfertigen.

DUOBANDANTENNE 13-CM-PATCH/3-CM-TÖPFCHEN, MUSTER 1

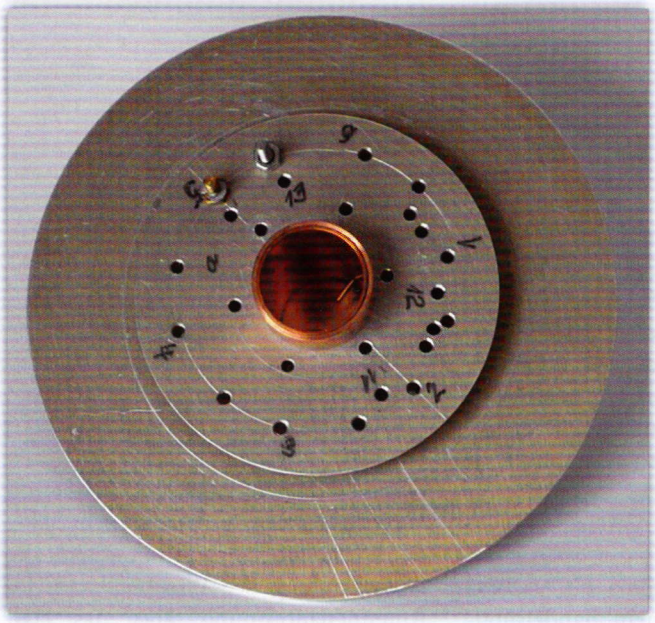


Bild 6: Muster 1 von vorne

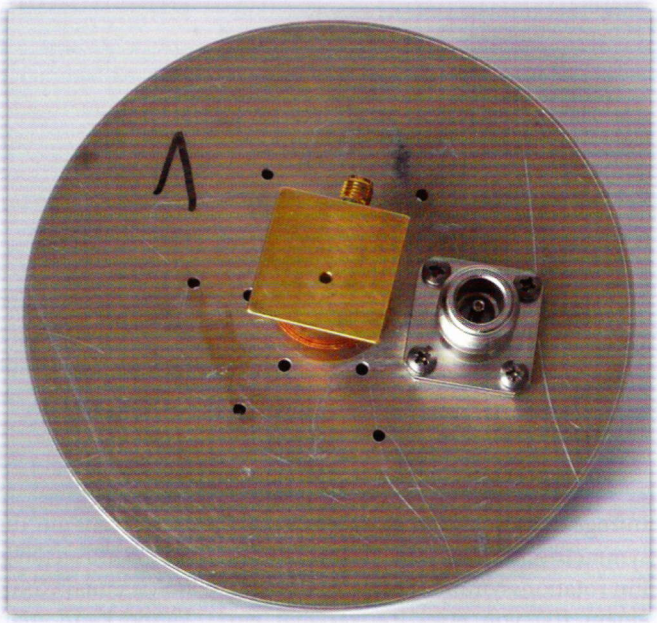


Bild 7: Muster 1 von hinten

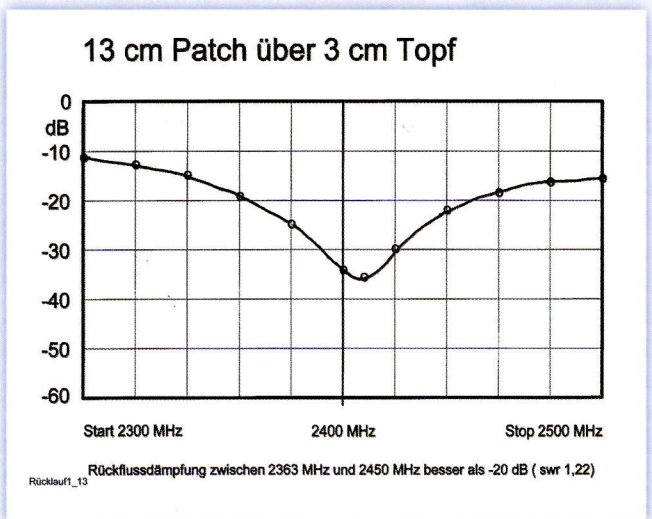


Bild 8: Rücklaufdämpfung, 13-cm-Patch

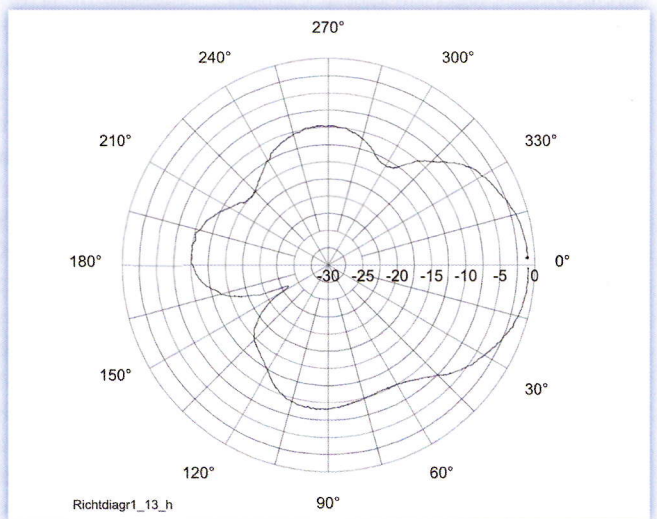


Bild 9: Richtdiagramm, 13-cm-Patch

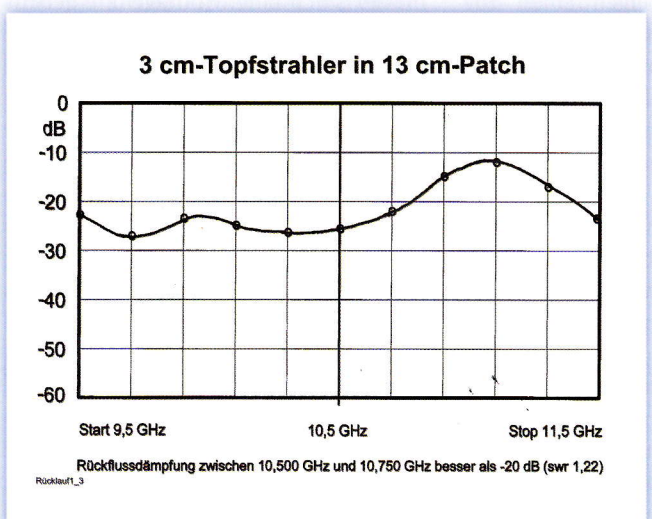


Bild 10: Rücklaufdämpfung, 3-cm-Töpfchen

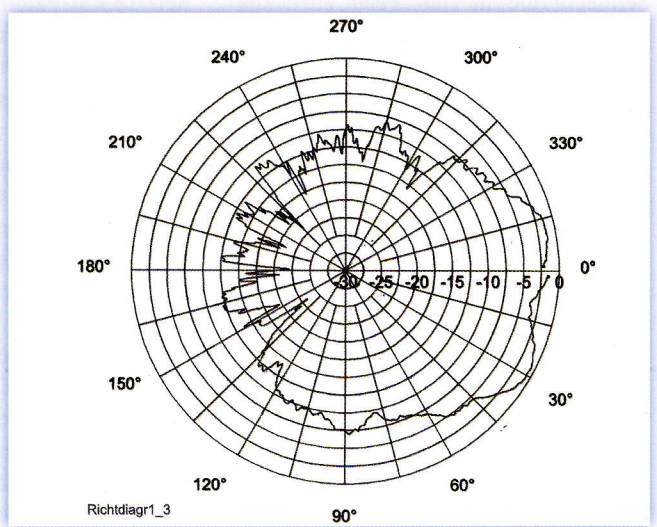


Bild 11: Richtdiagramm, 3-cm-Töpfchen

DUOBANDANTENNE 13-CM-PATCH/3-CM-TÖPFCHEN, MUSTER 2

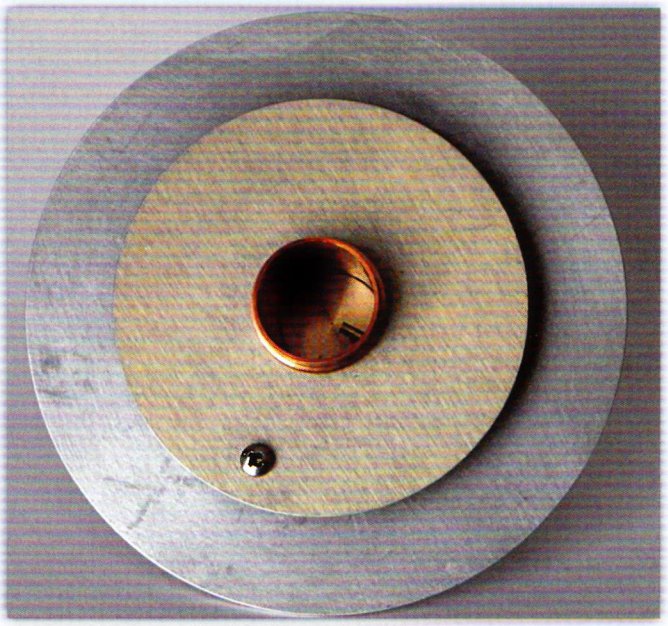


Bild 12: Muster 2 von vorne

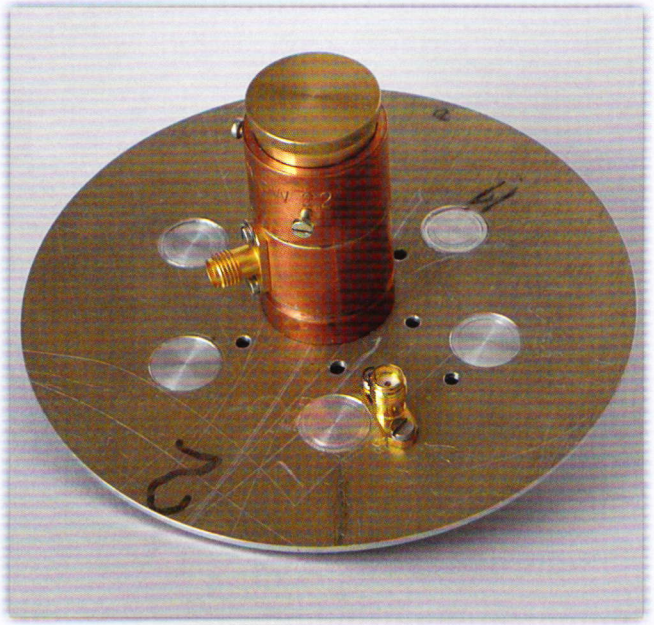


Bild 13: Muster 2 von hinten

Anmerkung: Optimierter Einspeisepunkt für 10 GHz

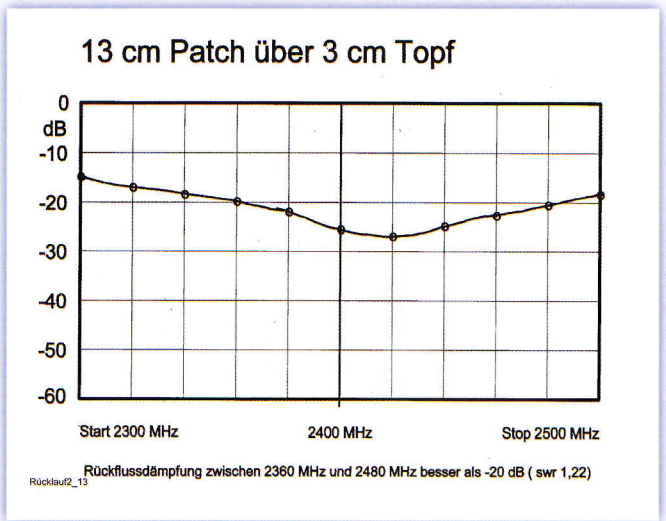


Bild 14: Rücklaufdämpfung, 13-cm-Patch

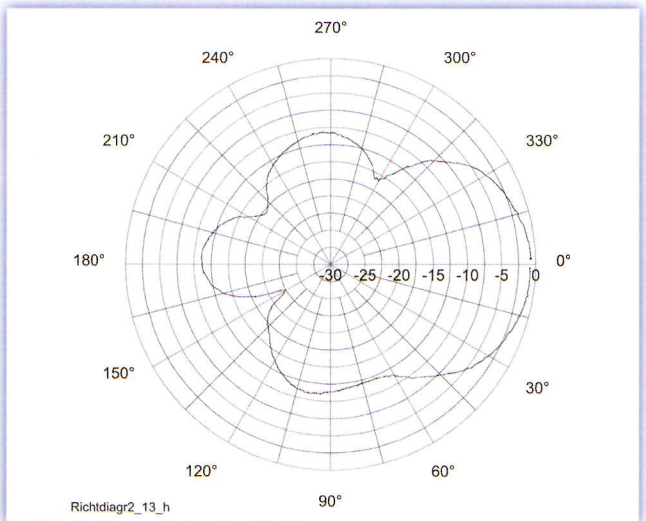


Bild 15: Richtdiagramm, 13-cm-Patch

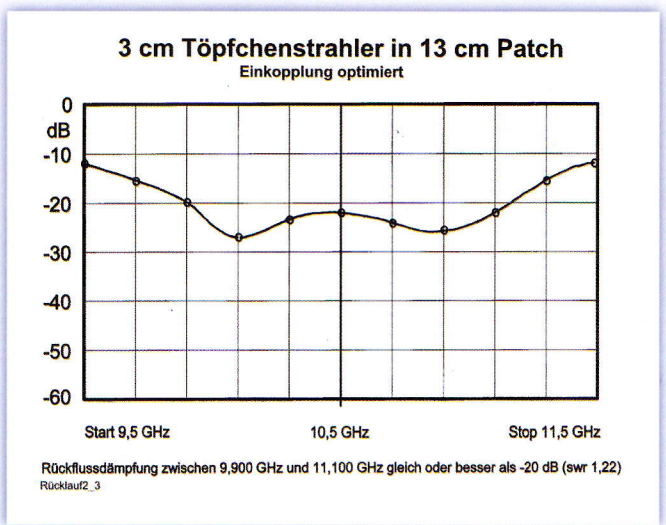


Bild 16: Rücklaufdämpfung, 3-cm-Töpfchen

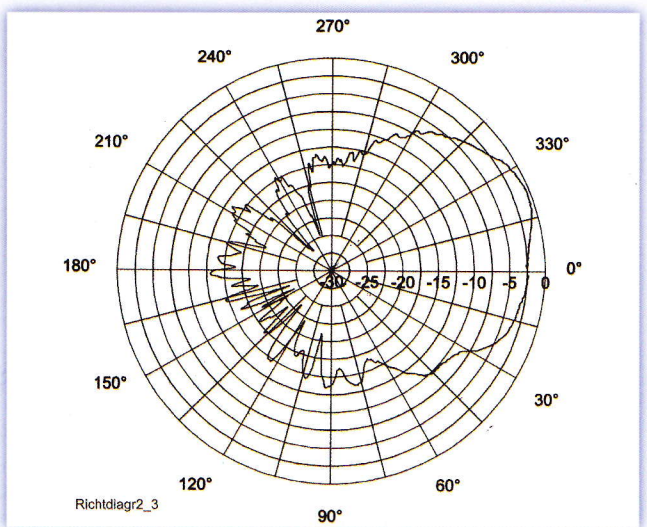


Bild 17: Richtdiagramm, 3-cm-Töpfchen

DUOBANDANTENNE 13-CM-PATCH/3-CM-TÖPFCHEN, MUSTER 3

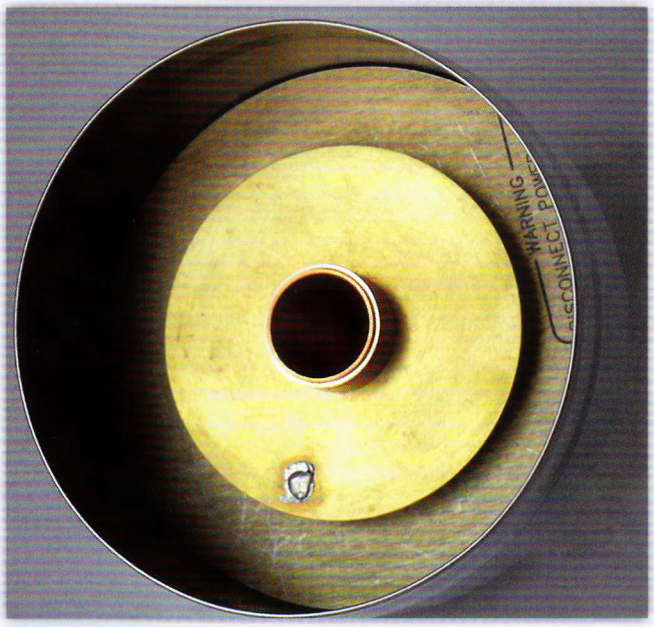


Bild 18: Muster 1 von vorne



Bild 19: Muster 1 von hinten

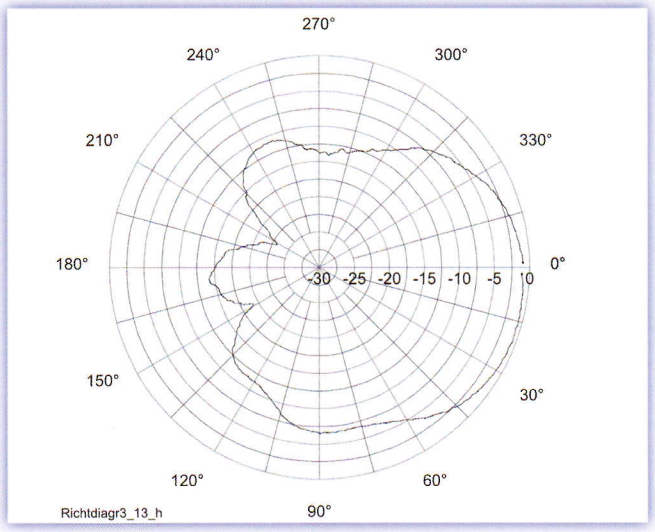


Bild 20: Richtdiagramm 13-cm-Patch

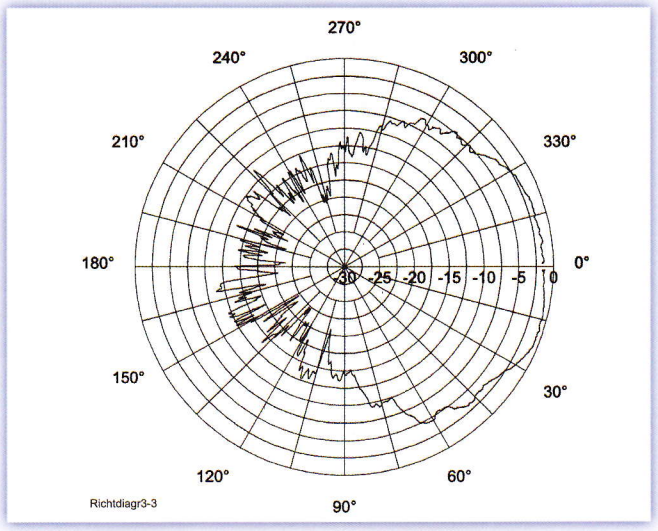


Bild 21: Richtdiagramm 3-cm-Töpfchen

Bilder 22, 23: Einfluss des Konzentrators mit Kappe auf das Strahlungsdiagramm des 3 cm-Hörnchens...

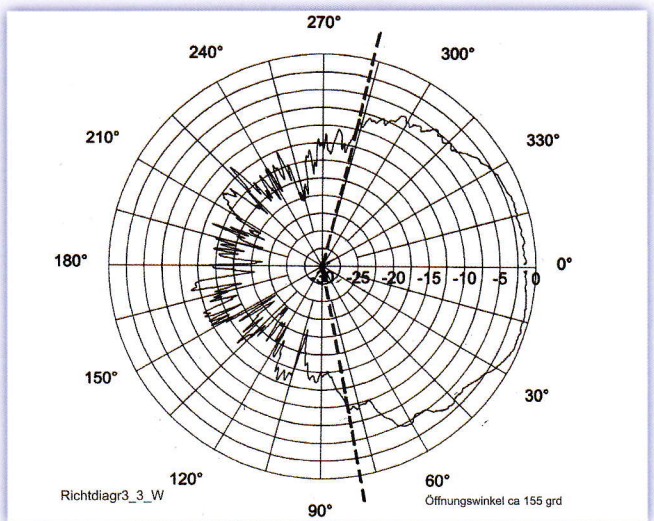


Bild 22: ... ohne Konzentrator und Kappe

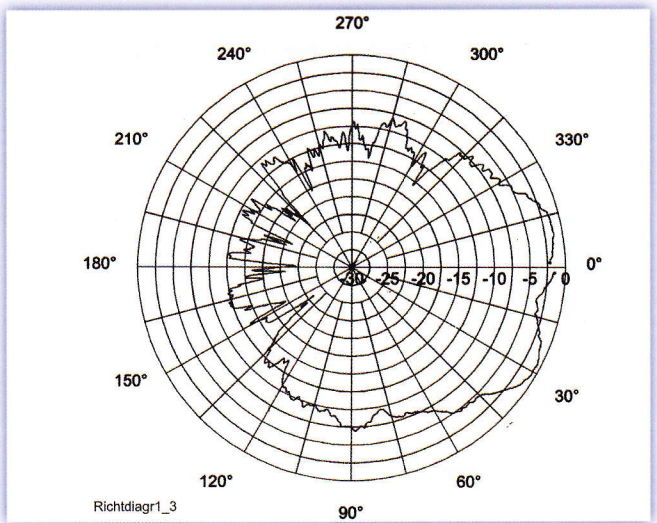


Bild 23: ... mit Konzentrator und Kappe

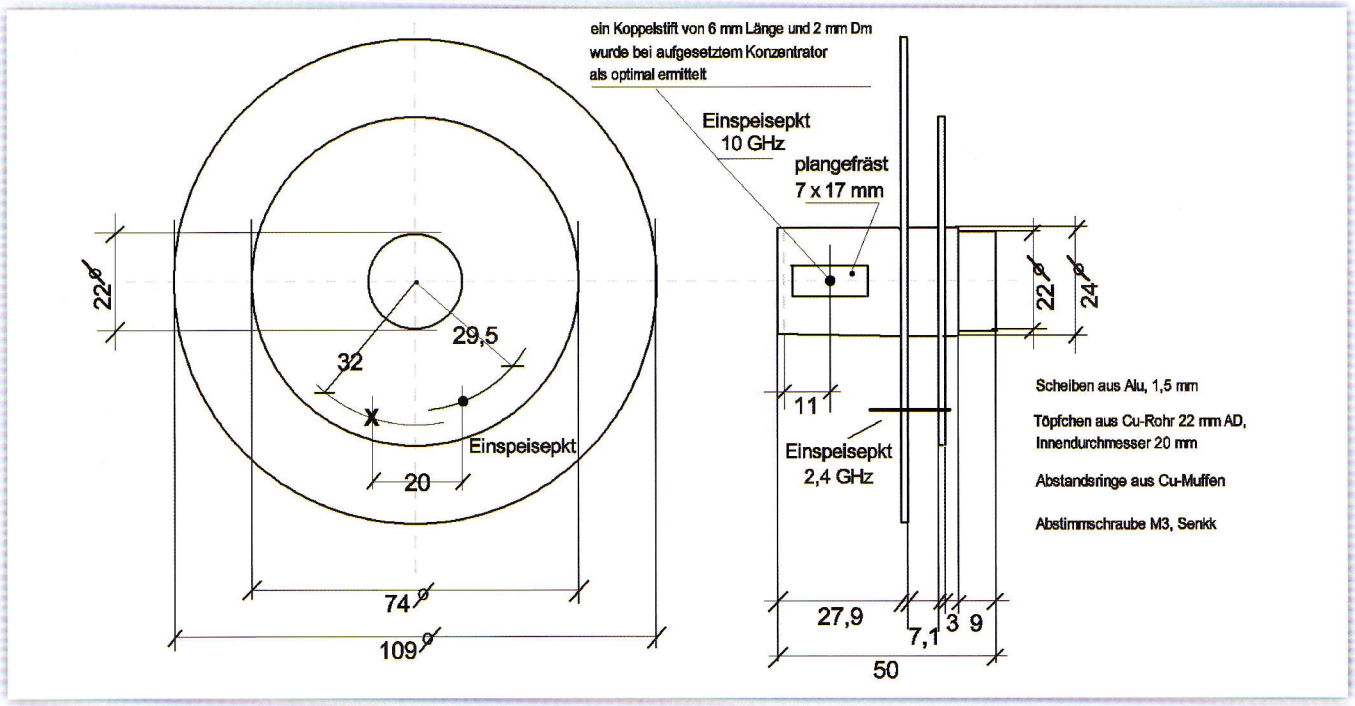


Bild 24: Maße für Duoband-Feed unter Berücksichtigung der bisherigen Messergebnisse



Bild 25: Montagehilfe aus KG-Rohr mit 40 mm Außendurchmesser

Anmerkung

Heute ist es üblich, Antennengebilde zunächst auf dem PC zu simulieren. Ich bin das Problem jedoch nach der angelsächsischen Methode „cut and try" angegangen, was ganz gut funktioniert, wenn man brauchbare Startwerte hat. Ganz wesentlich unterstützt hat mich bei dieser Arbeit mein Funkfreund Peter, DG5ACX, mit seiner Messtechnik. Die ist zwar nicht die modernste, weshalb ich für diese Dokumentation teilweise auf Bildschirmfotos zurückgreifen musste. Weil diese Fotos für die Wiedergabe in diesem Aufsatz nicht gut geeignet sind, habe ich die wichtigen Diagramme anhand der Bildschirmfotos nachgezeichnet.

Literatur und Bezugsquellen

[1] Es'hailSat-2: www.amsat-dl.org

[2] Freddy de Guchteneire, ON6UG: Antennen für Phase 3-D, Teil 3, AMSAT-Journal 1/1997

[3] Robert T. Suding, WØLMD: Making a Dual Band S & L Patch, www.hb9gr.ch/dokumente/Dual%20Band%20Patch%20S%20&%20L.pdf

[4] Christoph Joos, HB9HAL: Erfahrungsbericht mit dem Nachbau der 13/23 cm WØLMD Dualpatch-Antenne, Internet

[5] Paul C. Wade, W1GHZ: Analysis of the WØLMD Dualband Patch Feed for L&S Band, www.w1ghz.org/antbook/conf/W0LMD_patch_feed.pdf

[6] Paul C. Wade, W1GHZ: Microwave Antenna Book, www.w1ghz.org

[7] Wilhelm Immendörfer, DL6NCI: Dual-Band Feed für 10/24 GHz (DJ7FJ), Internet

[8] Freddy de Guchteneire, ON6UG: Gewinnsteigerung an kleinen Parabolspiegeln, Tagungsband zur 30. GHz-Tagung Dorsten

[9] Gunthard Kraus, DG8GB: Entwicklung einer zirkularpolarisierten Patchantenne für 2,45 GHz mit Sonnet Lite, UKW-Berichte 4/2011

[10] OM6AA, PE1RKJ, OK1DAK, WA6KBL, P.Hazdra, M. Mazanek: Feed für zirkulare Polarisation für Weltraumkommunikation im 3-cm-Band, DUBUS 3/2014 und 4/2014

[11] Meinke/Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Springer-Verlag

[12] Gerhard Megla: Dezimeterwellentechnik, VEB-Verlag Technik