

Wie berechne ich eine einfache Antennenanlage?

Gerfried Palme, DH8AG

Wer auf 2 m und 70 cm in SSB Betrieb macht, ist auf drehbare und horizontal polarisierte Richtantennen angewiesen. Doch welches Standrohr benötigt eine Antennenanlage, damit es nicht vom Sturm verbogen wird oder gar abknickt und vom Dach fällt?

Neben einer sicheren Verankerung des Antennenmastes am festen Mauerwerk oder im Dachstuhl kommt es auf das richtige Standrohr an. Material, Durchmesser und Wandstärke müssen geeignet sein, den auf die gesamte Antennenanlage wirkenden Kräften von Sturm- und Orkanböen Stand zu halten. Deshalb dürfen nur für den Antennenbau angebotene Rohre verwendet werden. Wasserrohre als Antennenmast sind nicht geeignet, und keine Versicherung wird im Schadensfall aufkommen. Der Wind drückt gegen jedes einzelne Teil der Antennenanlage das ihm „im Weg steht“: Antennenmast, Antennen, Querträger, Rotor. Je größer die geometrischen Windangriffsflächen dieser einzelnen Teile sind und je stärker der Wind dagegen drückt, desto größere Kräfte wirken darauf ein. Das kann so weit gehen, dass der Mast nicht mehr in seine senkrechte Normalstellung zurückfedert und schief bleibt oder im schlimmsten Fall sogar umknickt. In diesem Zusammenhang ist der so genannte Staudruck wichtig. Es ist die Kraft des Windes, mit der er auf genau einen Quadratmeter Fläche eines Körpers drückt, der sich ihm „in den Weg stellt“. Der Staudruck (q) hängt von der jeweils herrschenden Windgeschwindigkeit ab. Die Masseneinheit für den Staudruck ist Newton pro Quadratmeter (N/m²). Windgeschwindigkeiten bis 120 km/h werden bei Antennen mit einer Bauhöhe bis 20 m über dem Erdboden angenommen. Bei dieser Windgeschwindigkeit beträgt der Staudruck 800 N/m². Ist die Montagehöhe der Antenne größer als 20 m über dem Erdboden, muss mit Windgeschwindigkeiten

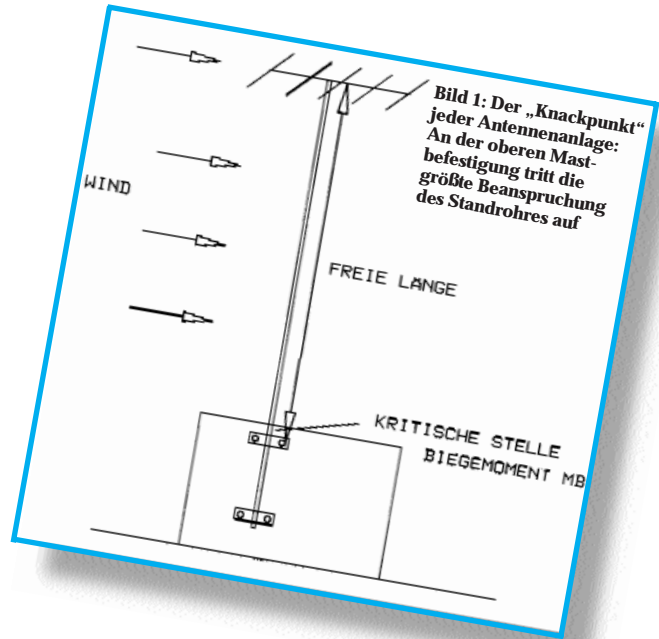
bis 140 km/h gerechnet werden. Hier ist der Staudruck mit 1100 N/m² anzusetzen. An der Küste, auf Hügeln und auf Bergen rechnet man mit Windgeschwindigkeiten bis 160 km/h. Für Antennenanlagen in diesen Regionen gilt ein Staudruck von 1440 N/m². Der Staudruck wächst quadratisch mit der Windgeschwindigkeit. Bei doppelter Windgeschwindigkeit beträgt der Staudruck schon das Vierfache!

Antennentragwerk steht unter Belastung

Zur Berechnung des Durchmessers eines Antennenmastes müssen wir zunächst wissen, welche Kraft auf jedes einzelne Teil der Antennenanlage wirkt. Da ist zuerst die Antenne: Bei kommerziell gefertigten wird die darauf wirkende Kraft in den Herstellerdatenblättern mit „Windlast“ bezeichnet; gemessen wird sie in Newton (N). Manchmal finden wir noch die alte Einheit Kilopond (kp). Um die Windlast in die heutige Einheit Newton umzurechnen, muss man den Zahlenwert der Kilopond-Angabe mit 9,81 multiplizieren. 1 kp entspricht 9,81 N. Die Windlastangabe ist nur dann aussagefähig, wenn auch dabei steht, bei welcher Windgeschwindigkeit die angegebene Kraft auf die Antenne wirkt. Im Zweifel muss man beim Hersteller nachfragen. Wenn eine Antenne auf einem Berg errichtet werden soll, wird die größtmögliche Windgeschwindigkeit mit 160 km/h angenommen. Sofern vom Hersteller nur eine Windlastangabe für 140 km/h oder gar 120 km/h Windgeschwindigkeit vorliegt, können wir uns den Wert mit

der **Tabelle 1** selbst umrechnen – und auch umgekehrt. Man geht zunächst in die senkrechte Spalte mit der Windgeschwindigkeit, die der Antennenhersteller angibt und dort dann in die waagerechte Zeile mit dem Multiplikationsfaktor „1“. In dieser Zeile finden wir die

te „140 km/h“ und in die Zeile mit dem Multiplikationsfaktor „1“; danach nach links in die Spalte „120 km/h“ und lese als Multiplikationsfaktor 0,73 ab. Ich multipliziere 115 N mit 0,73 und erhalte 83,95 N. Meine Antenne hat bei 120 km/h „nur“ noch eine Windlast von 83,95 N.



Multiplikationsfaktoren für die anderen beiden Windgeschwindigkeiten, mit denen der gegebene Windlastwert multipliziert werden muss. Ein erstes Beispiel: Die Windlast einer 13-Element-Yagi für das 70-cm-Band wird für 120 km/h mit 31 N angegeben. Diese Antenne soll auf einem Berg errichtet werden, also werden 160 km/h Windgeschwindigkeit angenommen. Gesucht ist die Windlast der Antenne bei 160 km/h. In Tabelle 1 gehe ich in die Spalte „120 km/h“ und dann in die zugehörige Zeile mit dem Multiplikationsfaktor „1“; danach in dieser Zeile nach rechts, bis ich auf die Spalte „160 km/h“ stoße. Dort steht der Multiplikationsfaktor 1,78. Nun multipliziere ich die 31 N mit dem Faktor 1,78 und erhalte 55,18 N. Die Windlast bei 160 km/h Windgeschwindigkeit beträgt also 55,18 N. Im zweiten Beispiel soll eine 2-m-Band-Antenne die Windlastangabe 115 N für 140 km/h Windgeschwindigkeit haben. Weil diese Antennen 12 m über dem Erdboden montiert werden sollen, kann mit einer größtmöglichen Windgeschwindigkeit von 120 km/h gerechnet werden. In Tabelle 1 gehe ich in die Spalte

Windlastwirkung beim Antennentragwerk

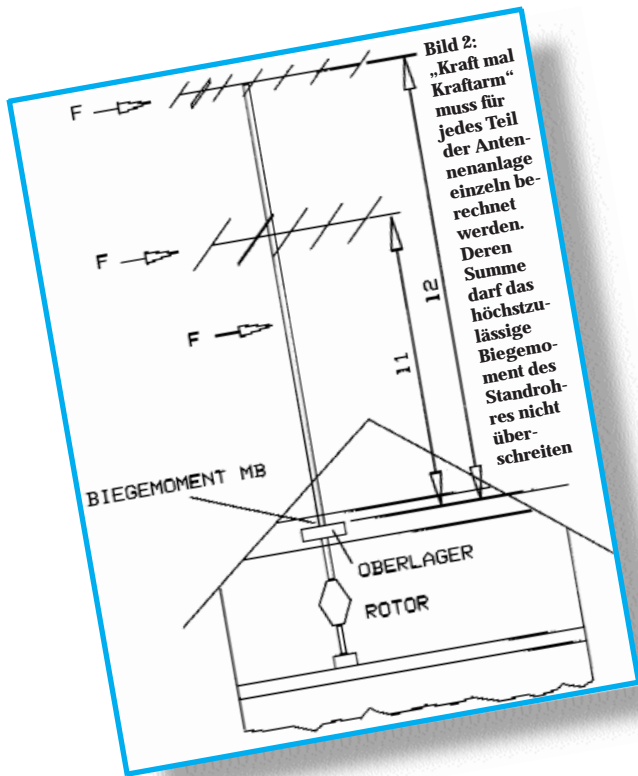
Unter dem Antennentragwerk versteht man alle Teile einer Antennenanlage, welche die Antennen „tragen“: Antennenmast, Ausleger, Querträger, Rotor ... Deren Windlast muss berücksichtigt werden. Die Kraft des Windes, die gegen die Oberfläche eines Standrohres mit durchgehend gleichem Durchmesser drückt, berechnet sich nach der Formel

$$F_{\text{rohr}} = D_{\text{rohr}} \cdot l_{\text{rohr}} \cdot c \cdot q \quad [\text{Formel 1}]$$

F_{rohr} = Kraft, die durch den Wind auf das Rohr einwirkt (Windlast) in N
 D_{rohr} = Außendurchmesser des Rohres in m
 l_{rohr} = Gesamte freie Länge des Rohres vom oberen Befestigungspunkt bis zur Mastspitze, siehe **Bild 1**
 $c = 1,2$ (Formbeiwert für Rohre)
 q = Staudruck.
 Dies alles soll nun im dritten Beispiel verdeutlicht werden. Gesucht ist die Windlast eines 48-mm-Standrohres mit 2,5 m

Windgeschwindigkeit	120 km/h	140 km/h	160 km/h
Multiplikationsfaktor	1	1,38	1,78
Multiplikationsfaktor	0,73	1	1,31
Multiplikationsfaktor	0,55	0,76	1

Tabelle 1: Vom Hersteller angegebene Daten können anhand dieser Tabelle umgerechnet werden



freier Länge für Antennen in 25 m Höhe über dem Boden. Gegeben: $D_{\text{rohr}} = 48 \text{ mm}$ ($= 0,048 \text{ m}$), $l_{\text{rohr}} = 2,5 \text{ m}$, $c = 1,2$, $q = 1100 \text{ N/m}^2$; Es muss dieser Staudruck-Wert genommen werden, weil die Antennen höher als 20 m über dem Boden montiert werden sollen und dort die maximale Windgeschwindigkeit mit 140 km/h angenommen wird.

Gesucht: F_{rohr}
Der Lösungsansatz lautet nach Formel 1:

$$F_{\text{rohr}} = D_{\text{rohr}} \cdot l_{\text{rohr}} \cdot c \cdot q$$

$$= \frac{0,048 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 1100 \text{ N}}{\text{m}^2}$$

$$F_{\text{rohr}} = 158,4 \text{ N}$$

Die Windlast des Antennenmastes beträgt 158,4 N. Rohrförmige Querträger und Ausleger werden ebenso berechnet. Soll jedoch ein Teleskoprohr mit verschiedenen Durchmesser Einsatz finden, dann

Antennenrohr	(M_B)
32 mm × 2,0 mm	392,4 Nm
42 mm × 2,0 mm	706,3 Nm
48 mm × 2,3 mm	1059,4 Nm
48 mm × 2,5 mm	1137,9 Nm

Tabelle 2: Maximal zulässige Biegemomente (M_B) von Antennen-Steckmasten der Firma Conrad [2]. Die dort angegebene alte Einheit kpm (Kilopondmeter) wurde in Nm umgerechnet

muss die Berechnung für jedes freie Rohrstück einzeln erfolgen.

Antennenmast als Grundgerüst

Der kritische Punkt für die Stabilität einer Antennenanlage liegt am Antennenmast. Er wird meist an zwei Punkten im Dachstuhl oder am Mauerwerk befestigt. Sofern der Rotor unter Dach montiert wird, ist der obere Einspannpunkt als Oberlager auszuführen. Ein solches Oberlager entlastet den Rotor von den senkrecht nach unten wirkenden Gewichtskräften.

Der Abstand zwischen den beiden Befestigungspunkten muss wenigstens ein Sechstel von der gesamten Standrohrlänge betragen [1], 75 cm dürfen aber nicht unterschritten werden.

Der Schwachpunkt der gesamten Antennenanlage befindet sich am oberen Befestigungspunkt des Antennenmastes (Bild 1). An dieser Stelle tritt im Standrohr die stärkste Beanspruchung auf. Es ist das so genannte Biegemoment (M_B), das es zu berechnen gilt.

Im Katalog der Firma Conrad [2] finden wir beispielsweise Angaben über die zulässigen Biegemomente der dort angebotenen Steckmaste (Tabelle 2). Biegemomente werden nach dem Hebelgesetz der Physik berechnet: Kraft mal Kraftarm. Die Kraft ist dieje-

nige, mit welcher der Wind gegen jedes einzelne Teil der Antennenanlage drückt. Der zugehörige Kraftarm ist der senkrechte Abstand von der oberen Standrohrbefestigung zur Windangriffsfäche (Schwerpunkt) des jeweiligen Teiles der Antennenanlage (Bild 2).

Das Gesamtbiegemoment (M_{Bges}) am kritischen Punkt setzt sich aus der Summe aller Einzelbiegemomente zusammen. Das Biegemoment von der Antenne berechnet sich zu

$$M_{\text{Bant}} = F_{\text{ant}} \cdot l \quad \text{[Formel 1a]}$$

F_{ant} bedeutet die Windlast der Antenne und l ist der senkrechte Abstand vom oberen Befestigungspunkt des Mastes bis zur Antenne.

Falls mehrere Antennen übereinander montiert sind, muss man das Biegemoment für jede Antenne einzeln berechnen und anschließend die Ergebnisse addieren:

$$M_{\text{Bant}} = M_{\text{Bant1}} + M_{\text{Bant2}} + \dots \quad \text{[Formel 2]}$$

Ebenfalls ist das Biegemoment vom Antennenmast selbst zu berücksichtigen. Für einteilige Rohre, deren oberer Einspannpunkt so dicht wie möglich an der Dachfläche liegt [3], gilt

$$M_{\text{Brohr}} = F_{\text{rohr}} \cdot \frac{l_{\text{rohr}}}{2} \quad \text{[Formel 3]}$$

Das Gesamtbiegemoment M_{Bges} erhält man zum Schluss durch addieren aller Einzelbiegemomente:

$$M_{\text{Bges}} = M_{\text{Bant1}} + M_{\text{Bant2}} + M_{\text{Bant3}} + \dots + M_{\text{Brohr}} \quad \text{[Formel 4]}$$

$$M_{\text{Bges}} = F_{\text{ant1}} \cdot l_1 + F_{\text{ant2}} \cdot l_2 + F_{\text{ant3}} \cdot l_3 + \dots + F_{\text{rohr}} \cdot \frac{l_{\text{rohr}}}{2}$$

[Formel 5]

Einfache Antennenanlage selbst berechnet

Das vierte Beispiel soll die Berechnung des Antennenmastes einer einfachen Antennenanlage zeigen. Wir wollen eine 2-m- und eine 70-cm-Yagi nach Bild 2 in einer maximalen Höhe von 15 m über dem Boden aufbauen. Die 2-m-Antenne soll 2,5 m über dem oberen Einspannpunkt montiert werden, die 70-cm-Antenne in 4 m Abstand. Weil die oberste An-

tenne 15 m hoch ist, kann die maximale Windgeschwindigkeit mit 120 km/h angenommen werden. Für die 144-MHz-Yagi werden $F_{144} = 35 \text{ N}$ und für die 70-cm-Antenne $F_{432} = 31 \text{ N}$ angenommen. Gegeben: $l_1 = 2,5 \text{ m}$, $l_2 = 4 \text{ m}$, $F_{144} = 35 \text{ N}$, $F_{432} = 31 \text{ N}$, maximale Höhe über Grund 15 m bei $q = 800 \text{ N/m}^2$

Gesucht: M_{Bges}

Zuerst berechnen wir das Biegemoment der beiden Antennen nach Formel 2:

$$M_{\text{Bant}} = F_{144} \cdot l_1 + F_{432} \cdot l_2$$

$$M_{\text{Bant}} = 35 \text{ N} \cdot 2,5 \text{ m} + 31 \text{ N} \cdot 4 \text{ m}$$

$$= 87,5 \text{ Nm} + 124 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{Bant}} = 211,5 \text{ Nm}$$

Das Biegemoment der beiden Antennen beträgt 211,5 Nm. Allerdings fehlt uns jetzt noch das Biegemoment des Antennenmastes, an dem beide Antennen montiert werden. Nach Tabelle 2 könnte ein 32-mm-Rohr mit dem maximal zulässigen Biegemoment von 392,4 Nm eventuell ausreichen. Mit Formel 3 wird das Biegemoment des Standrohres errechnet:

$$M_{\text{Brohr}} = F_{\text{rohr}} \cdot \frac{l_{\text{rohr}}}{2}$$

$$= D_{\text{rohr}} \cdot l_{\text{rohr}} \cdot c \cdot q \cdot \frac{l_{\text{rohr}}}{2}$$

$$= \frac{0,032 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 800 \text{ N} \cdot 4 \text{ m}}{\text{m}^2}$$

$$M_{\text{Brohr}} = 245,76 \text{ Nm}$$

Die Addition beider Biegemomente ergibt 457,26 Nm, erlaubt sind mit dem 32-mm-Rohr jedoch höchstens 392,4 Nm. Fazit:

Rechnen mit zusätzlicher Sicherheit

Auch wenn es nicht notwendig ist, und der eigene Standort keineswegs an der Küste oder auf einem Berg liegt – ein theoretisches Sicherheitspolster kann nie schaden. Selbst kommerzielle Anbieter berechnen für ihre Kunden von vornherein Antennenanlagen für Windgeschwindigkeiten um 160 km/h.

Sollte dennoch etwas passieren: DARC- und VFDB-Mitglieder sind automatisch haftpflichtversichert gegenüber Dritten. Die Vereine haben mit der Generali Versicherungs-AG (Ludwig Kaibel, DL5HCL, Pf. 111 813, 20418 Hamburg) einen Gruppenvertrag abgeschlossen.

Der Antennenmast wäre bei der größtmöglich angenommenen Windgeschwindigkeit von 120 km/h überlastet. Deshalb versuchen wir es mit dem nächst größeren Rohrdurchmesser 42 mm und rechnen nochmals mit der selben Formel. Laut Tabelle 2 darf das maximale Biegemoment dann 706,3 Nm betragen.

$$M_{\text{Brohr}} = \frac{0,042 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 800 \text{ N} \cdot 4 \text{ m}}{\text{m}^2 \cdot 2}$$

$$M_{\text{Brohr}} = 322,56 \text{ Nm}$$

Mit diesem Ergebnis liegen wir im „grünen Bereich“. Es herrscht am „kritischen Punkt“ das Gesamtbiegemoment

$$M_{\text{Bges}} = 245,76 \text{ Nm} + 322,56 \text{ Nm} = 534,06 \text{ Nm}$$

Mit 534,06 Nm liegt die maximale Belastung jetzt unter dem zulässigen Grenzwert von 706,3 Nm dieses Stahlrohres. Demnach darf es für die beiden Antennen als Standrohr genommen werden. Beispiel 5 zeigt die Berechnung des notwendigen Antennenmast-Durchmessers für eine satellitentaugliche VHF-/UHF-Antennenanlage mit einer Vertikal-/Horizontal-Rotorkombination (Bild 3). In einer Höhe von 16 m über dem Erdboden sollen zwei Kreuzyagis für das 70-cm-Band und für das 2-m-Band mit einer Horizontal-/Vertikal-Rotorkombination aufgebaut werden. Das Standrohr wird mit 4 m Länge geplant, der Abstand zwischen den beiden Befestigungspunkten am Mauerwerk ist 1 m, sodass eine freie Länge von 3 m zur Verfügung steht. An der Mastspitze ist eine Horizontal-/Vertikal-Rotorkombination (Breite 225 mm, Höhe 460 mm) vorgesehen, die ein 3 m langes, horizontales Fiberglas-Rohr (40 mm Durchmesser) aufnimmt, an dessen beiden Enden sich die Antennen befinden. Es werden Kreuzyagis mit 2 x 9 Elementen für 144 MHz angenommen: Windlast $F_{144} = 95 \text{ N}$ bei 120 km/h; 2 x 17 Elemente für 432 MHz, $F_{432} = 65 \text{ N}$ bei 120 km/h Windgeschwindigkeit. Gegeben: $l_1 = 2 \text{ m}$, $l_2 = 3 \text{ m}$, $D_2 = 40 \text{ mm}$, $F_{144} = 95 \text{ N}$, $F_{432} = 65 \text{ N}$; Höhe über Grund = 16 m bei $q = 800 \text{ N/m}^2$, $b_{\text{rotor}} = 225 \text{ mm}$, $h_{\text{rotor}} = 460 \text{ mm}$ Gesucht: M_{Bges} Zunächst berechnen wir das

Biegemoment der Antennen nach Formel 2:

$$M_{\text{Bant}} = F_{144} \cdot l_1 + F_{432} \cdot l_1$$

$$M_{\text{Bant}} = 95 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} + 65 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 190 \text{ Nm} + 130 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{Bant}} = 320 \text{ Nm}$$

Im weiteren muss ermittelt werden, wie stark das waagerechte Fiberglas-Rohr in das gesuchte Gesamtbiegemoment eingeht. Das Biegemoment ergibt sich mit den Formeln 1 und 1a:

$$M_{\text{Bbiebergl}} = F_{\text{biebergl}} \cdot l_1 = D_2 \cdot l_2 \cdot c \cdot q \cdot l_1$$

$$= \frac{0,04 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 800 \text{ N} \cdot 2 \text{ m}}{\text{m}^2}$$

$$M_{\text{Bbiebergl}} = 230,4 \text{ Nm}$$

Genau genommen könnte man von der Fiberglas-Rohrlänge 3 m die Breite des Vertikalrotors 225 cm abziehen, denn das horizontale Rohr geht ja durch den Vertikalrotor hindurch und ist in diesem Bereich „windgeschützt“. Über diesen 225 cm breiten Bereich des Vertikalrotors zählt allein die Windlast dieses Rotors, welche nun zu betrachten ist. Über Rotoren sind in Katalogen und Prospekten leider keine Windlastdaten zu finden. Deswegen setzen wir für die Windlastberechnung in unserem Beispiel die Windangriffsfläche der Rotorkombination sehr großzügig an. Trotz der nach unten ragenden schmalen Mastklammern gegenüber den darüber montierten breiteren zwei Rotorgehäusen nehmen wir die größte Breite und die größte Länge dieser Kompakteinheit zur Berechnungsgrundlage. Das ist dann zwar überdimensioniert, doch damit ist man immer auf der sicheren Seite. Falls runde Rotorgehäuse zum Einsatz kommen – das ist meist bei Horizontalrotoren der Fall –, könnte man den Formbeiwert für Rohre nehmen ($c = 1,2$). Bei der vorliegenden Rotorkombination besitzt der Horizontalrotor ein rundes Gehäuse, der Vertikalrotor dagegen ein etwa quaderförmiges. Deshalb wird hier der Einfachheit halber für die komplette Rotorkombination der ungünstigere Formbeiwert für Prismen ($c = 1,3$) benutzt.

$$M_{\text{Brotor}} = F_{\text{rotor}} \cdot l_1 = h_{\text{rotor}} \cdot b_{\text{rotor}} \cdot c \cdot q \cdot l_1$$

$$= \frac{0,46 \text{ m} \cdot 0,225 \text{ m} \cdot 1,3 \cdot 800 \text{ N} \cdot 2 \text{ m}}{\text{m}^2}$$

$$M_{\text{Brotor}} = 215,28 \text{ Nm}$$

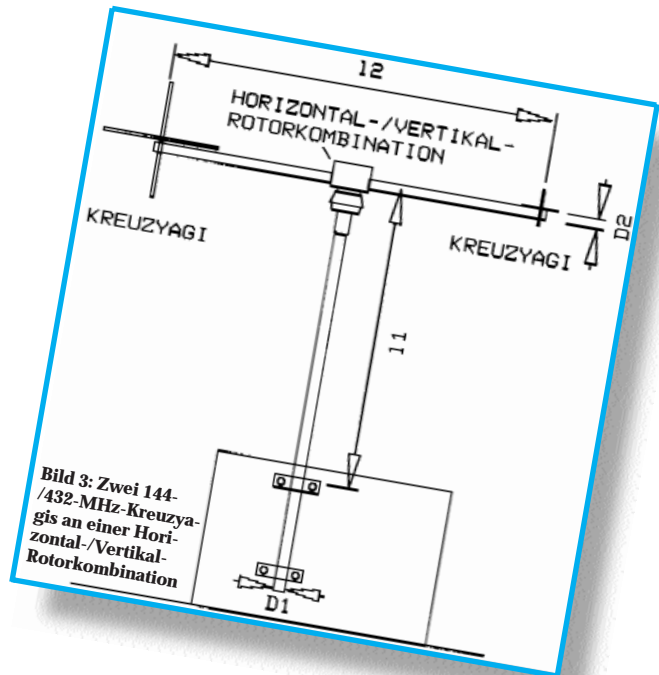


Bild 3: Zwei 144-/432-MHz-Kreuzyagis an einer Horizontal-/Vertikal-Rotorkombination

Zum Schluss fehlt uns noch das Biegemoment des Antennenmastes. Die Addition aller bisher ausgerechneten Biegemomente ($M_{\text{Bant}} + M_{\text{Bbiebergl}} + M_{\text{Brotor}}$) ergibt $320 \text{ Nm} + 230,4 \text{ Nm} + 215,28 \text{ Nm} = 765,68 \text{ Nm}$. Ein Blick in Tabelle 2 zeigt: Bei der Wahl eines 48-mm-Rohr mit der Wandstärke 2,5 mm und dem zulässigen Biegemoment 1137,9 Nm dürfte dieses ein größtes Biegemoment von ($1137,9 \text{ Nm} - 765,68 \text{ Nm} = 372,22 \text{ Nm}$) haben. Die Berechnung des Biegemoments vom Standrohr ergibt mit Formel 3:

$$M_{\text{Brohr}} = F_{\text{rohr}} \cdot \frac{l_{\text{rohr}}}{2} = D_{\text{rohr}} \cdot l_{\text{rohr}} \cdot c \cdot q \cdot \frac{l_{\text{rohr}}}{2}$$

$$= \frac{0,048 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 800 \text{ N} \cdot 2 \text{ m}}{\text{m}^2 \cdot 2}$$

$$M_{\text{Brohr}} = 138,24 \text{ Nm}$$

Mit 138,24 Nm liegen wir unter dem eben errechneten „Restguthaben“ von 377,22 Nm. Das gesuchte Gesamtbiegemoment beträgt schließlich

$$M_{\text{Bges}} = M_{\text{Bant}} + M_{\text{Bbiebergl}} + M_{\text{Brotor}} + M_{\text{Brohr}}$$

$$M_{\text{Bges}} = 320 \text{ Nm} + 230,4 \text{ Nm} + 215,28 \text{ Nm} + 138,24 \text{ Nm} = 903,83 \text{ Nm}$$

Das Gesamtbiegemoment 903,82 Nm ist geringer als das höchst zulässige Biegemoment 1137,9 Nm. Für die Antennen-

anlage kann ein Standrohr mit 48 mm Durchmesser und 2,5 mm Wandstärke verwendet werden. Auch ein Antennenmast mit 48 mm Durchmesser und 2,3 mm Wandstärke mit dem maximal zulässigen Biegemoment 1059,4 Nm würde ausreichen.

Eigene Berechnungen nur für kleine Anlagen

Mit unseren eigenen Berechnungen dürfen wir nur Antennenmasten mit einer freien Gesamtlänge von höchstens 6 m aufbauen. Außerdem darf das Gesamtbiegemoment (M_{Bges}) 1650 Nm nicht überschreiten! Anlagen, die einen dieser beiden Punkte überschreiten, benötigen eine Statikberechnung und Freigabe durch einen Bauingenieur [4]. Im übrigen sind die sonstigen Bauvorschriften zu beachten. Alle Daten, Formeln und Berechnungen zu diesem Beitrag wurden nach bestem Wissen zusammengestellt. Weil aber immer auch Fehler und Irrtümer vorkommen können, wird jegliche Haftung ausgeschlossen.

Gerfried Palme, DH8AG
Harkortstr. 29, 44225 Dortmund

Literatur

- [1] Günther, Wolfgang, DF4UW: „Festigkeitsberechnungen von Antennenanlagen“, UKW-Berichte 1/88, S. 46
- [2] Conrad Electronic: Hauptkatalog 1999 für Technik und Elektronik, S. 497
- [3] Gierlach, Werner, DL6VW: „DARC Antennenbuch“, DARC-Verlag 1999, Kapitel 9.2.5
- [4] Günther, Wolfgang, DF4UW: „Festigkeitsberechnungen von Antennenanlagen“, UKW-Berichte 1/88, S. 49