

Betrachtungen über Balune (1)

Spannungs-, Strom- oder Hybrid-Balun?

Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB

Hühnerleitergespeiste Antennen sind bei Funkamateuren nach wie vor sehr beliebt, vor allem wegen ihrer Mehrbandigkeit auf Kurzwelle und ihrer geringen Beeinflussung elektronischer Geräte in der Umgebung. Besonders der zweite Grund verlangt einen möglichst symmetrischen Betrieb der Hühnerleiter, aber wie man dies am besten erreicht, wird immer noch kontrovers diskutiert.

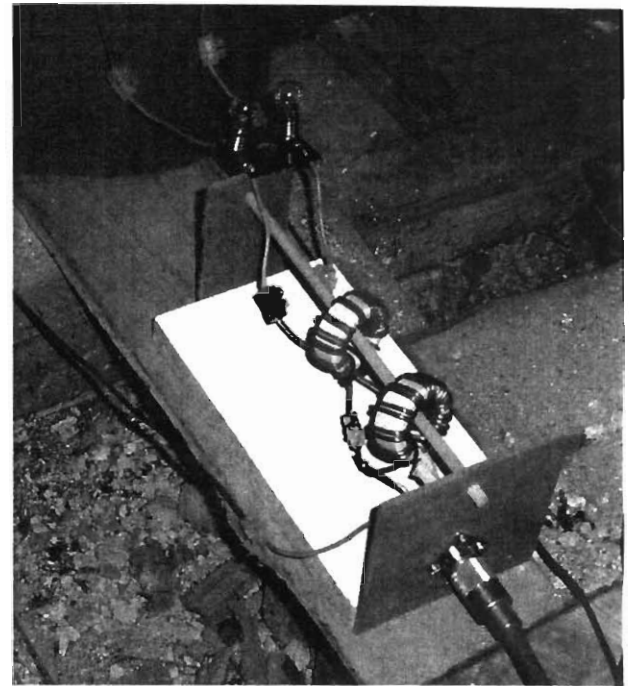
Einige finden den alten Spannungsbalun für ausreichend, andere schwören auf den Strombalun, wieder andere halten nur das komplett symmetrisch ausgeführte Anpassgerät für geeignet. Aber selbst bei denen zeigte eine Kontrolle der Symmetrie bereits, dass sie nicht immer erfüllen, was man von ihnen erwartet.

Um mir diese konträren Meinungen zu erklären, wollte ich das Thema zunächst mit einem Computer-Simulationsprogramm untersuchen. Solche Programme müssten ja alle derzeit bekannten Erkenntnisse und Regeln der Elektrotechnik enthalten und würden mir mehr allgemeine Hinweise liefern als persönliche Erfahrungen einzelner. Schon 1984 hatte ich im QRL das Programm „Supercompact“ der damaligen Fa. Compact Software kennen gelernt. Heute steht mir der auch schon betagte „ARRL Radio Designer“ zur Verfügung, eine abgespeckte Version von Supercompact auf zwei 1,4-MB-Disketten, entstanden in Zusammenarbeit der ARRL mit dem damaligen Präsidenten von Compact Software, Prof. Dr. Ulrich Rohde, DJ2LR. Auch mit diesem Programm lassen sich Schaltungen für die Antennenanpassung und für Baluns simulieren, und ich war gespannt, welche Ergebnisse ich erhalten würde.

Testschaltung mit asymmetrischem Anpassgerät

Da die infrage kommenden Baluns in der Praxis ohnehin mit einem Anpassgerät zusammen arbeiten müssen, wurde

gleich die Schaltung in der bekannten T-Form in die Testschaltung Bild 1 mit einbezogen. Der ARRL Radio Designer kann nur mit asymmetrischen Quellen und Lasten arbeiten und kennt zwei Arten von Übertragern. So dient der Typ „TRF“ hier mit dem Übersetzungsverhältnis 1:1 einmal zur Einkopplung der an BNC2 an-



liegenden asymmetrischen Last als symmetrische Last für den Balun (als idealer Übertrager, ohne Angabe einer Induktivität) zwischen den Punkten P1 und P2. Auch für den mit „T-1SN“ bezeichneten Übertrager genügt ein TRF. Das T-1SN stammt aus der drahtgebundenen Nachrichtentechnik und eignet sich auch hier ausgezeichnet zum Bewerten der Symmetrie am Ausgang des zu testenden Baluns zwischen P1 und P2. Die asymmetrische Impedanz der Messanordnung, also die Leiter P1 und P2 parallel geschaltet gegen Masse gerechnet, wurde am Ausgang BNC3 stets als $\frac{1}{4}$ der an BNC2 liegenden Last gewählt. Nur so konnten vor allem beim niederohmigen Lastwiderstand von 50Ω sinnvolle Ergebnisse erzielt werden. Die zu testenden Baluns dagegen werden mit dem Übertragertyp „MUI“ dargestellt. Bei ihm kann man eine Induktivität eingeben und einen Kopplungsfaktor zwischen den Spulen. Wie bringt man nun eine solche Testschaltung zum Laufen? Zunächst muss man ein Programm schreiben, das den Messaufbau beschreibt und mit welchem Ziel die variablen Elemente des Anpassgerätes optimiert werden sollen. Dazu gehört, dass der Quellwiderstand 50Ω beträgt, welche Durchgangsdämpfung und Rückflussdämpfung bei der Testfrequenz angestrebt wird und in welchen Einheiten an den Ausgängen gemessen werden soll. Das bleibt für alle Untersuchungen gleich. Für jede Untersuchung extra eingeben muss man den Testfrequenzbereich und die Lastwiderstände am Ausgang BNC2 und BNC3. Bei Hühnerlei-

Den Autor erreichen Sie unter:
Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB
Eichenweg 7
84160 Frontenhausen
dj1zb@darc.de

Literatur und Bezugsquellen

- [1] www.elektronikschule.de/~krausg/Kraus_Publications/publication.html
- [2] QST 8/81, S. 51
- [3] Jerry Sevick, W2FMI: „Transmission Line Transformers, fourth edition“, Page 11-1, SCITECH PUBLISHING, INC; Raleigh, NC, USA
- [4] <http://fermi.la.asu.edu/w9cf/articles/balun.pdf>
- [5] Andrew Roos, ZS1AN: „A Better Antenna-Tuner Balun“, QEX 9/05, 10/05
- [6] www.qsl.net/zs1an/
- [7] www.dx-wire.de
- [8] RK1 und RK3 sind Ringkerne aus dem Ferrit 4W620 und werden vom DARC-Verlag als EMV-Ringkerne vertrieben
- [9] Unter www.wuerth-elektronik.de sind nähere Daten dieser Ringkerne zu finden: Der RK1 unter „Ferrithülse“; Typ 74270097 aus dem Nickel-Zink-Material 4W620; $\eta = 620$; A_L -Wert 852 nH/w^2 . Der kleinere RK3 unter „Ferritring“; Typ 7427015, Material 4W620, A_L -Wert 730
- [10] Dieses Material 4W620 wird seit einiger Zeit auch auf der Webseite: www.wolfgang-wippermann.de für Strombaluns empfohlen
- [11] <http://radioworks.com/cremote.html>
- [12] www.radioworks.com/ccoaax.html

tern kommen ja an BNC2 Werte zwischen etwa 50 Ω und durchaus 5000 Ω vor. Dann kann man eine Optimierungsfunktion des Programms nutzen, mit deren Hilfe sich die Abstimmeelemente des Anpassgerätes so einstellen, dass der eingeebene Lastwiderstand, wie bei einem automatischen Tuner, optimal angepasst wird. Danach gibt man ein, was an welchen Ausgängen gemessen werden soll und in welcher Form. Das Programm stellt dann z.B. für unsere Interessen die Durchgangsdämpfung und die Rückflussdämpfung (eine andere Bewertung für das SWR) zwischen Eingang und Ausgang des Anpassgerätes einschließlich des zu testenden Baluns dar sowie die Symmetriedämpfung zwischen Eingang und dem Ausgang BNC3, alles in Form verschiedenfarbiger Kurven auf einem in Frequenz und dB geeichten Diagramm. Das liest sich zunächst alles recht kompliziert, und es braucht auch seine Zeit, bis man sich in so ein Programm genügend eingearbeitet hat. In Forschung und Industrie arbeitet man mit derartigen Methoden schon seit längerem recht intensiv und spart bei der Entwicklung viele Versuche und damit Zeit und Geld. Wer darüber näheres wissen möchte, sei an [1] verwiesen. Uns soll hier vor allem interessieren, welche Aussagen zu welchem Balun typ man mit solchen Simulationen gewinnen kann.

Spannungsbalun

Meine erste Anregung zum Spannungsbalun für die Speisung unserer Delta Loop im Fieldday von C13 fand ich in [2]. Heute hat er einen schlechten Ruf, nicht unbedingt gerechtfertigt, wie sich zeigen wird. Dazu kommt, dass manche OMs immer noch Schwierigkeiten mit dem Verständnis seiner Funktion und seiner Dimensionierung zu haben scheinen. Bekannt ist der Entwurf von Übertragern für definierte Impedanzen, also für einen bestimmten Wellenwiderstand oder eine bestimmte ohmsche Belastung. Bei ihnen

soll der Blindwiderstand X_L der Wicklung auf der tiefsten zu übertragenden Frequenz mindestens vier Mal so hoch sein wie die anzupassende Impedanz Z . Denn erst bei dem Verhältnis $X_L/Z = 4$ ist das SWR auf der tiefsten Frequenz mit einem Wert von 1,1 ausreichend niedrig, bei $X_L/Z = 3$ beträgt es noch 1,39. Zu höheren Frequenzen hin ist diese Anpassung breitbandig, bis die Wicklungskapazität eine obere Grenze setzt.

Wollten wir dieses Rezept auf den Spannungsbalun übertragen, kämen wir ins Schwimmen. Abgesehen davon, dass ein Blindwiderstand vom Vierfachen von 5000 Ω ein extrem hoher Wert wäre, haben wir es bei der Impedanz am Ende einer Hühnerleiter nicht mit einem festen Ohmwert zu tun, sondern mit nicht definierten Impedanzen, die je nach Antenne, Frequenz sowie Typ und Länge der Hühnerleiter zwischen etwa 50 Ω und 5000 Ω variieren können. Außerdem können noch Blindwiderstände vorhanden sein, aber die lassen sich mit dem Anpassgerät in der Regel kompensieren; dieses Problem wurde daher nicht extra untersucht. Im Gegensatz zur üblichen Anwendung eines Übertragers braucht die Anpassung einer Antenne auch nicht breitbandig zu sein, denn sie wird ja mit dem Anpassgerät und dem Balun auf die Sendefrequenz abgestimmt.

Die Dimensionierung des Spannungsbalun für nicht definierte Impedanzen ähnelt der von Röhrenendstufen mit Parallelschwingkreis im Ausgang. Die PA möge einen Arbeitswiderstand von 5000 Ω haben. Üblicherweise wählt man eine Schwingkreisgüte von 10. Die Spule erhält dann einen Blindwiderstand von 500 Ω ; daraus wird für jedes Band die benötigte Induktivität errechnet. Beim Spannungsbalun zum Anpassen von Hühnerleitern geht man ähnlich vor. Nehmen wir 5000 Ω als hochohmigste Belastung durch die Hühnerleiter und lassen für den Balun auf der tiefsten Frequenz eine Güte von 10 zu, muss der Ba-

lun ebenfalls einen Blindwiderstand von 500 Ω haben. Wird die Hühnerleiter niederohmiger, wird auch die Güte niedriger. Auf den höheren Bändern steigt der Blindwiderstand der Balunspule und die Güte sinkt ebenfalls, denn im Gegensatz zur PA wird die Induktivität des Spannungsbaluns ja nicht umgeschaltet.

Aus dem errechneten Blindwiderstand von 500 Ω ergibt sich bei 1,8 MHz für den Spannungsbalun eine Induktivität von 44 μH . Ist die tiefste Betriebsfrequenz für die Antenne 3,5 MHz, genügen 22 μH . In industriell gefertigten Anpassgeräten findet man aber auch Spannungsbaluns mit wesentlich kleineren Induktivitäten, bis herunter zu 10 μH . Diese Induktivität liegt parallel zur Hühnerleiter. Am Anpassgerät liegt bei einem trifilar gewickelten 1:1-Balun die gleiche Induktivität, bei einem bifilar gewickelten 1:4-Balun $1/4$ dieses Wertes.

Bei einem flexiblen Anpassgerät ist es im Grunde egal, ob man einen 1:1- oder einen 1:4-Balun benutzt. Mir ist aber ein Fall eines automatischen Anpassgerätes bekannt, dessen gesamte, als L-Glied geschaltete Spulenkette von 20 μH auf 80 m nur einen Realteil bis maximal 2000 Ω anpassen kann (auf 160 m nur 1000 Ω). Die zur Verfügung stehende Antenne hatte aber auf 80 m in Parallelschaltung gesehen einen Realteil von etwa 4000 Ω . Daher funktionierte ein 1:4-Balun, ein 1:1-Balun nicht mehr. Zudem muss ein auf einen höheren Realteil abgestimmtes Anpassgerät mit höherer innerer Blindleistung arbeiten; das verringert die Bandbreite der Abstimmung und verursacht höhere Verluste. Insofern dürfte der 1:4-Balun generell die günstigere Lösung sein; das Abstimmgerät würde mit weniger Blindleistung arbeiten, folglich wäre auch die Bandbreite der Anpassung größer. Außerdem benötigt die bifilare Wicklung weniger Wickelraum als die trifilare.

Für Zweifler und Praktiker ist auch interessant zu erwähnen, dass der Spannungsbalun nicht nur ohmsche Widerstände transformiert, sondern auch Kapazitäten. Man braucht nur in einem Experiment die eine Hälfte eines 1:4-Spannungsbaluns mit einer Kapazität zu beschalten, dann kann man mit einem normalen Kapazitätsmesser die resultierende Kapazität auch auf der anderen Balunhälfte messen! Diese resultierende Kapazität hängt natürlich ab vom Wert des Kondensators selbst, von der Induktivität des Baluns und von der Frequenz, mit dem der Kapazitätsmesser in diesem Falle misst. Ich ha-

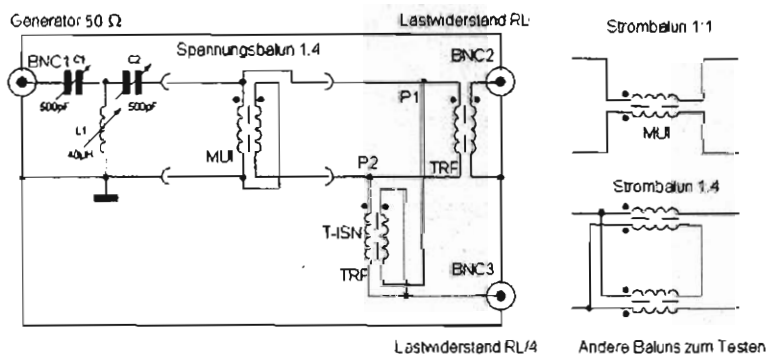


Bild 1: Balun-Testschaltung

be das einmal mit meinem LC-Meter IIB von AADE probiert. Der Spannungsbalun lässt also die Ausgangskapazität eines asymmetrischen Anpassgerätes symmetrisch an beiden Anschlüssen der Hühnerleiter wirken!

Die Simulation eines 1:4-Spannungsbaluns am Ausgang eines asymmetrischen Anpassgerätes mit einer Gesamt-Induktivität von 10...44 μH ergibt in der Testschaltung eine sehr gute Symmetriedämpfung (>50 dB) im gesamten Kurzwellenbereich; sie ist sogar praktisch unabhängig davon, ob der Lastwiderstand hoch- oder niederohmig ist! Erst wenn der HF-Querstrom durch den Balun oder seine Güte zu gering wird, leidet auch die Symmetrie. Der Querstrom ist natürlich frequenzabhängig und auf dem tiefsten Band am höchsten. Trotzdem arbeitet die hier für das unterste Band beschriebene Dimensionierung des Spannungsbaluns auch noch im 10-m-Band einwandfrei. Trotz all dieser Vorzüge hat der Spannungsbalun für die Speisung von Hühnerleitern einen gravierenden Nachteil: Unsymmetrische Belastungen verträgt er überhaupt nicht; die Ausgangsströme werden dann entsprechend ungleich. Gleichtaktströme durch Einstrahlung von der Antenne auf die Hühnerleiter kann er ebenfalls nicht abdrosseln. Seine Induktivität für Ströme, die auf beiden Leitern in gleicher Stärke von der Antenne zum Anpassgerät fließen, würde sich zu Null kompensieren!

Strombaluns

Der Nachteil des Spannungsbaluns hat den Strombalun ins Spiel gebracht. Ihn gibt es meist in Form von 1:1- und 1:4-Baluns. Ihr Verhalten ist ganz anders. Bei der Simulation genügt es, ihre Symmetrie auf der niedrigsten Arbeitsfrequenz zu beurteilen, für Amateurfunkzwecke also bei 1,8 MHz. Bei höheren Frequenzen ist die Symmetrie immer besser, solange die Wicklung für die Arbeitsfrequenz noch als Induktivität arbeitet und die Wicklungskapazität nicht stört. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Simulationen. Zu bestimmen war die erforderliche Baluninduktivität für eine Symmetriedämpfung von 20 dB und 30 dB, entsprechend 10:1 und etwa 30:1, in Abhängigkeit von der zu symmetrierenden Last. Eine Symmetriedämpfung von 10:1 dürfte man mit bloßem Auge an zwei in die Hühnerleitung eingetragenen Glühbirnen gerade noch erkennen, die Werte für 30:1 sind mehr von grundsätzlichem Interesse. Die angegebene Induktivität ist die einer ein-

zelnen bifilaren Wicklung auf dem Übertragerkern (egal ob man sie parallel geschaltet misst oder jeden Draht einzeln). Das Ergebnis mag viele überraschen, denn von einer solchen Dimensionierung war meines Wissens bisher nirgends konkret etwas zu lesen. Aber schon rein intuitiv wird vielleicht folgende Erklärung verständlich: Bei guter Symmetrie liegt an der Wicklung eines 1:1-Strombaluns die Hälfte seiner Eingangs- und Ausgangsspannung. Bei hochohmigerer Last muss auch diese Wicklungsspannung ansteigen können, und das bei geringem Strom. Daher werden dann mehr Wicklungen benötigt oder eben eine höhere Induktivität.

Die Induktivität eines Strombaluns muss also mit der Höhe des Lastwiderstandes „wachsen“, um die Symmetrieforderung zu erfüllen. Diese Bedingung wird leider auch in [3] nur in recht allgemeiner Form ausgedrückt, dass die Wicklung die Speisequelle und die Last „ausreichend“ voneinander entkoppeln müsse. Es genügt also nicht, einen Strombalun für 50 Ω zu dimensionieren, wo man noch gut messen kann, um dann anzunehmen, er werde ebenso gut bei 1000 Ω oder gar 5000 Ω arbeiten.

An sich kann man Strombaluns auch ohne ein Anpassgerät simulieren, weil bei ihnen im Gegensatz zum Spannungsbalun keine Parallelinduktivität zu kompensieren ist. Aber dabei zeigen sich Schwierigkeiten, die in der Praxis kaum zu überwinden sind. Denn nach der Anschauung, beim Strombalun handele es sich um eine aufgewickelte symmetrische HF-Leitung, sollte eigentlich der Wellenwiderstand der bifilaren Wicklung dem geometrischen Mittel aus Eingangs- und Ausgangsbelastung entsprechen. Diese Forderung kann beim Bau von Baluns für die Speisung von Hühnerleitern gar nicht erfüllt werden, da diese für eine Frequenz oder Antenne niederohmig und für eine andere höherohmig ist und der Wellenwiderstand des Baluns jedes Mal angepasst werden müsste. Beim 1:4-Strombalun kommt noch hinzu, dass die am Ausgang miteinander verbundenen „mittleren“ Spulen bei falscher Eingangs- und Ausgangsbelastung in den Wicklungen zu unsymmetrischen Strömen führen. Der 1:1-

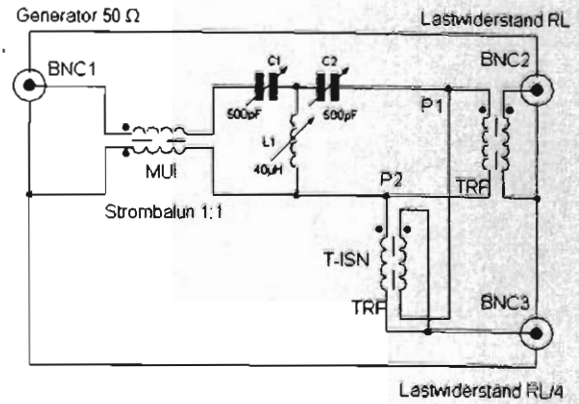


Bild 2: Balun-vorn-Testschaltung

Strombalun kennt dieses Problem nicht. Bei der Simulation mit dem ARRL Radio Designer kann man den Wellenwiderstand der Balunwicklung nicht eingeben, nur den Koeffizienten der Spulen. Aber zweierlei fällt dabei auf: Ohne Anpassgerät muss man den Koeffizienten extrem eng machen ($k = 1$), damit die Anpassung gut wird. Mit Anpassgerät besteht diese Notwendigkeit nicht so streng; das Anpassgerät stimmt zwar etwas anders ab, aber für die Abstimmungsfrequenz wird immer (auch beim 1:4-Strombalun) eine genügend hohe Rückflussdämpfung erzielt. Offensichtlich hilft das Anpassgerät dabei für eine gute Anpassung des Balunweges mit (eventuell durch Beeinflussung der Kapazität zwischen den Wicklungen), auch wenn dessen Wellenwiderstand nicht immer den Regeln entspricht. Allerdings leidet bei kleinerem Koeffizienten die Symmetriedämpfung; sie kann aber bis zu einem gewissen Grade mit einem Strombalun höherer Induktivität wieder ausgeglichen werden.

Die Simulationsergebnisse mit den hohen Induktivitäten für Hühnerleitern mit höheren End-Impedanzen lassen befürchten, dass die unvermeidliche Wicklungskapazität in den Strombaluns auf den oberen Bändern zu Eigenresonanzen führt und dass man dann auf einen Balun niedrigerer Induktivität umschalten muss. Ein mir bekanntes asymmetrisches Anpassgerät enthält als Ausgangsbalun einen 1:4-Guanella mit Induktivitäten von 45 μH ; nach der Tabelle erscheint das bei tiefen Frequenzen für mittlere Impedanzen noch knapp, aber für höhere Bänder schon durchaus geeignet. (wird fortgesetzt)

CQDL

Tabelle

Lastwiderstand	1:1-Guanella		1:4-Guanella	
	20 dB (10:1)	30 dB (30:1)	20 dB (10:1)	30 dB (30:1)
50 Ω	9 μH	30 μH	7 μH	30 μH
500 Ω	100 μH	350 μH	100 μH	350 μH
5000 Ω	1000 μH	3500 μH	1000 μH	3500 μH

Tabelle: Theoretisch bei 1,8 MHz erforderliche Induktivitäten von Strombaluns in Abhängigkeit von der Last. Liegt die tiefste Frequenz höher, genügen entsprechend kleinere Induktivitäten

Betrachtungen über Balune (2)

Spannungs-, Strom- oder Hybridbalun?

Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB

Im ersten Beitrag wurden anhand einer Testschaltung Spannungs- und Strombaluns betrachtet. Im Folgenden geht es um eine alternative Anwendung des Strombaluns und den neuen Hybridbalun.



Neben der bisher besprochenen Verwendung von Baluns am Ausgang von Anpassgeräten gibt es ja noch den Vorschlag, vor den 50- Ω -Eingang eines asymmetrischen Anpassgerätes einen Strombalun einzufügen und den heißen Anschluss und das hochgelegte Gehäuse des Anpassgerätes als symmetrische Ausgänge zu benutzen (Bild 2, Teil 1). Als Vorteil dieser Methode wird angeführt, ein 50- Ω -Weg sei eben leichter zu symmetrieren als ein hochohmiger. Auch dieses Verfahren habe ich simuliert. Das Ergebnis bestätigt die Aussage von Roy Lewallen, W7EL, zu diesem Thema [4], es sei im Grunde egal, ob ein Balun am Ausgang oder am Eingang eines Anpassgerätes angeordnet wird. Deutlicher gesagt ist das Ergebnis folgendes: Ist das Ende der zu speisenden Hühnerleiter niederohmig, genügt auch am Eingang ein Strombalun mit geringer Induktivität. Je höher aber der Anpasswiderstand der Hühnerleiter wird, desto mehr Induktivität muss auch der Strombalun am Eingang haben. Die Simulation ergibt für den Strombalun in Bild 2 die gleichen Induktivitätswerte wie in der Tabelle (s. Teil 1). Mit die-

sem Vorschlag ist also ebenfalls nichts gewonnen, ganz abgesehen von den Installations- und Sicherheitsproblemen des hochgelegten Gehäuses.

Was nun?

Fassen wir zusammen: Der Spannungsbalun symmetriert Lasten unterschiedlicher Impedanzen im gesamten Kurzwellenbereich gut, bietet aber keine Hilfe gegen unsymmetrische Lasten und Gleichtaktströme auf der Hühnerleiter. Der 1:1-Strombalun wäre eine ideale und in Zusammenarbeit mit einem Anpassgerät eine impedanzunabhängige Drossel gegen Gleichtaktströme, hat aber in der Praxis Schwierigkeiten beim Symmetrieren hochohmiger Lasten. Außerdem transformiert er nicht, was bei manchen Antennenanpassgeräten erwünscht wäre. Die Verwendung eines festen 1:4-Strombaluns bei beliebigen Impedanzen erscheint wegen des Auftretens unsymmetrischer Spulensröme eigentlich als ein Missbrauch des Strombalunprinzips, auch wenn es in Verbindung mit einem Anpassgerät zu funktionieren scheint. Die mit der Simulation ermittelten hohen Induktivitäten für Strombaluns sind im Prinzip mit Ferritkernen durchaus zu

realisieren, aber die Kernverluste müssen klein bleiben [3]. Das sind allem Anschein nach die Gründe, weshalb die Anwender von Hühnerleitern bisher weder mit dem Spannungs- noch mit dem Strombalun am Ausgang eines asymmetrischen Anpassgerätes so richtig zufrieden sind und das vollsymmetrische Anpassgerät der einzige Ausweg schien.

Hybrid-Balun

In [5; 6] stellte ZSIAN seinen Hybrid-Balun vor (Bild 3), eine Kombination aus einem Spannungs- und einem Strombalun. Aber im Gegensatz zur derzeit in Automobilen praktizierten Hybrid-Lösung arbeiten beide nicht abwechselnd, sondern zusammen. Jeder tut das, was er selbst am besten kann und nimmt dem anderen ab, was der weniger gut kann. Der Spannungsbalun symmetriert die Last unabhängig von ihrer Impedanz, und der 1:1-Strombalun wird nicht mehr als Balun gefordert, sondern schützt als Gleichtakt-drossel den Spannungsbalun vor unsymmetrischen Strömen. Mit diesem Prinzip konnte ich mich nach den Ergebnissen meiner Simulationen schnell anfreunden. Mit zwei Ringkernen ist der Aufwand auch nicht höher als bei einem 1:4-Guanella auf getrennten Kernen. Zudem lässt sich das ganze Antennensystem zum Ableiten statischer Elektrizität am Mittelpunkt des Spannungsbaluns niederohmig erden; gerade diese Erdung scheint bei manchen voll symmetrischen Anpassgeräten noch ein Schwachpunkt zu sein. Der 1:4-Spannungsbalun von ZSIAN verwendet zehn bifilare Windungen aus hitzefestem Kupferlackdraht von etwa 1,6 mm Stärke auf einem Ferritkern FT240-61, A_L -Wert 173. Seine Summeninduktivität beträgt 69 μ H; sein Spannungsbalun hat also noch etwas mehr Induktivität als nach meiner Dimensionierungsregel. Die Gleichtakt-drossel benutzt einen Ferritkern FT114-61 mit zehn bifilaren Windungen. Anhand des A_L -Wertes von 79,3 errechnet man eine Induktivität von 8 μ H. ZSIAN betrachtet seine Dimensionierung nicht als Optimum oder als eine empfohlene Lösung und schildert auch keine Erfahrungen an einer praktischen Antenne. Aber nach seinen Messungen ergeben die 10 Windungen auf jedem Kern im Bereich von 3,5...21 MHz einen Gleichtaktwiderstand von 500 Ω oder darüber. Für den Bereich

Den Autor erreichen Sie unter:
Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB
Eichenweg 7
84160 Frontenhausen

von 7...30 MHz empfiehlt er acht Windungen; die Induktivität der Gleichtaktrossel sinkt damit auf 5 μH . Benutzer von Anpassgeräten mit Spannungsbalun könnten durch Nachschalten einer Gleichtaktrossel auf einfache Weise die Symmetrie ihrer Anpassung verbessern.

Zudem entsprechen die von ZSIAN angegebenen Ringkerne der Empfehlung von W2FMI [3], für verlustarme HF-Baluns Ferrite mit einer Permeabilität von 50...300 zu verwenden (der Wert für das Material 61 ist 125). W2FMI schließt aber nicht aus, dass es im Verlauf der technischen Entwicklung einmal genügend verlustarme Ferrite höherer Permeabilität geben könnte.

12 V/10 W eingefügt. Mit einer Symmetrierung nach Bild 2 hatte er ebenfalls keine befriedigende Lösung finden können. Für weitere Experimente nach Bild 1 hatte er schon einen 1:4-Spannungsbalun mit einer bifilaren Wicklung von je 4 μH sowie 1:1-Strombaluns mit 27 μH , 100 μH , 200 μH und sogar 500 μH gewickelt. Die mit dem Spannungsbalun alleine erzielbare Symmetrie war nicht zufriedenstellend. Der Strombalun 100 μH lieferte eine einwandfreie Symmetrie von 1,8...10 MHz mit Ausnahme von 3,5 MHz, wo 200 μH erforderlich waren. Warum? Beim Aufbau seiner Antenne hatte Thilo leider versäumt, die genaue Länge der Speiseleitung zu messen, sodass er

Für weitere Versuche wickelte Thilo noch einen Spannungsbalun mit bifilar 15 Windungen Teflonlitze AWG14 auf einen Ferritkern T60/38/13 von Ferroxcube [7] mit einer Induktivität von $2 \times 40 \mu\text{H}$ sowie eine Gleichtaktrossel mit bifilar 16 Windungen Teflonlitze auf zwei gestapelten Ferritkernen T60/38/13 mit 90 μH . Der neue Spannungsbalun alleine ergab eine gute Symmetrie von 1,8...10 MHz mit Ausnahme von 3,5 MHz. Dann kombinierte er ihn mit der 90- μH -Gleichtaktrossel. Damit war die Symmetrie von 1,8...14 MHz einwandfrei. Auf 21 MHz konnte wieder gute Symmetrie erzielt werden, darüber nicht mehr. Für die oberen Bänder waren die 90 μH offensichtlich zu viel. Aber für seinen Dipol und die Bänder 1,8...10 MHz wollte Thilo den Strombalun beibehalten. Bei seinen ersten hochinduktiven Baluns war ihm jedoch bei maximaler HF-Leistung eine deutliche Erwärmung aufgefallen. Diese waren noch mit Lautsprecherlitze gewickelt, und vor allem diese Litze schien warm zu werden. Daher baute er noch einen Strombalun mit bifilar 15 Windungen Teflonlitze AWG14 auf zwei gestapelten Ringkernen RK1 [8; 9] und erreichte eine Induktivität von 545 μH . Damit ergab sich am Dipol eine sehr gute Symmetrie im Bereich von 1,8...25 MHz, kombiniert mit dem Spannungsbalun von $2 \times 40 \mu\text{H}$, aber nur von 1,8...21 MHz. Aber für seine Zwecke bis 10 MHz reicht der beschriebene Strombalun ja vollkommen aus.

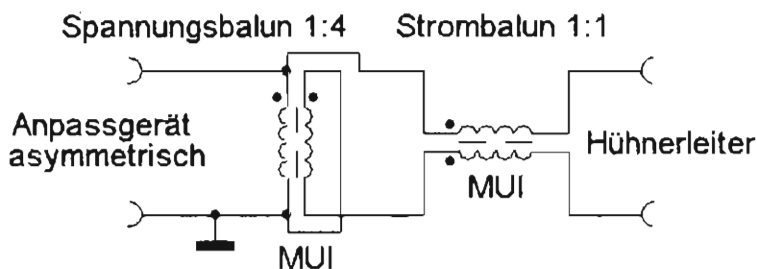


Bild 3:
Hybrid-Balun
nach ZSIAN

Das trifft möglicherweise auf das Ferritmaterial 4W620 [9] zu, das als Ringkern unter den Bezeichnungen RK1 und RK3 auch bei [8] bezogen werden kann. Erste eigene Versuche mit diesem neuen Material als Trennübertrager fielen zwar zugunsten des Materials 4C65 aus, das dem Material 61 ähnlich ist. Hier gibt es also noch ein Feld für weitere Versuche; der höhere A_L -Wert des neuen Materials bietet genügend Anreiz dazu, und als Strombalun oder Gleichtaktrossel wird der Ferritkern nicht so gefordert wie bei einem Trennübertrager.

Die ersten praktischen Ergebnisse nach diesen Erkenntnissen lieferte eine Zusammenarbeit mit Thilo Kootz, DL9KCE, von der Technischen Verbandsbetreuung des DARC. Dienstlich habe ich des Öfteren mit ihm zu tun, und so ergab es sich fast von selbst, dass wir auch über seine Symmetrieprobleme sprachen. Er verwendet für die Bänder 1,8...10 MHz einen hühnerleitergespeisten Dipol von $2 \times 23 \text{ m}$ Länge, die 23 m v-förmig mit zwei Drähten gespannt, zur Erhöhung der Antennenkapazität bei 1,8 MHz. Zur Beurteilung der Symmetrie hatte er am Speisepunkt der Hühnerleiter zwei Halogenlampen

die Antenne nicht simulieren konnte. Da aber sein Anpassgerät MFJ-989C anhand der Beschreibung eine recht genaue Bestimmung der bei der Anpassung gewählten L- und C-Werte erlaubt, errechneten wir aus den mit dem Spannungsbalun erhaltenen Einstellungen für 3,65 MHz die Impedanz der Hühnerleiter am Ausgang des Anpassgerätes zu $83 \Omega -j260 \Omega$, was in Parallelschaltung 897Ω reell und 286Ω kapazitiv entspricht. Diese Werte, die am Speisepunkt der Hühnerleiter vier mal so hoch anzusetzen sind, waren die hochohmigsten von allen Bändern, und das erklärte nach der Tabelle die Notwendigkeit einer höheren Induktivität für den Strombalun auf 80 m. Im Hinblick auf den Hybridbalun bat ich ihn, auch einmal die Kombination seines Spannungsbaluns mit einem seiner Strombaluns zu probieren. Da genügte bereits die vorhandenen 27 μH , um von 1,8...10 MHz eine einwandfreie Symmetrie zu erzielen. Damit zeigte der Hybridbalun schon seinen großen Vorteil: Die Induktivität für die Gleichtaktrossel kann erheblich niedriger ausfallen als für einen ebenso gut wirkenden, aber allein arbeitenden Strombalun.

Und bei mir?

Meine hühnerleitergespeiste Antenne ist ein liegender Quad für 80 m, der über ein selbst gebautes asymmetrisches Anpassgerät auf allen Bändern bis 10 m mit maximal 100 W betrieben wird. Eine Ecke der Quad-Antenne liegt über dem Dach, zum Schornstein verspannt; dort wird er auch gespeist, die drei anderen Ecken hängen über Zugfedern an Bäumen. Die Hühnerleiter hat eine Gesamtlänge von etwa 7 m und ist auf dem Dach am geerdeten Fernsehmast mit zwei Zündkerzen gegen Überspannungen geschützt. Von dort führt sie durch zwei mit Silikon abgedichtete Plastikschläuche unter den Ziegeln hindurch in den Oberboden zum Balun. Mit einem etwa 3 m langen dicken 75- Ω -Kabel geht es dann weiter ins Shack zum Anpassgerät. Ich betreibe meinen Balun also abgesetzt vom

Antennenanpassgerät; die US-Amerikaner sprechen in einem solchen Fall von einem „remote balun“. Eine Firma [11; 12] hat sich auf derartige Installationen spezialisiert; die Texte im Internet sind aber technisch wenig ergiebig und deuten lediglich an, dass man zurzeit offenbar einen Strombalun favorisiert. Bei diesem Betrieb wird das Kabel zwischen Anpassgerät und Balun zwangsläufig mit hohem SWR betrieben; dafür vermeidet man das offene Zweidrahtkabel im Shack. Die ideale Verbindung wäre eine unsymmetrische Reusenleitung, die natürlich wegen ihrer Größe nicht tragbar ist.

Sofern es für eine solche Installation überhaupt ein ideales Kabel gibt, sollte es verlustarm und nicht zu lang sein sowie wenig Kapazität bzw. einen hohen Wellenwiderstand und vor allem hohe Spannungsfestigkeit haben. Die bei uns nicht handelsüblichen Kabel RG-63 und RG-133A kämen diesen Forderungen wohl am nächsten. Sonst bleiben nur die 75- Ω -Kabel RG-6, RG-11 oder RG-216 mit 4000 V Spannungsfestigkeit. Nebenbei bemerkt speise ich auch meine Langdrahtantenne vom Anpassgerät aus über ein 3 m langes 75- Ω -Kabel, ohne Balun; ihr Gegengewicht in Form eines Drahtnetzes befindet sich ebenfalls auf dem Oberboden, an ihm ist der Kabelschirm geerdet.

Eigene Experimente

Für Balun-Experimente ist mein fensterloser Oberboden denkbar ungeeignet, denn zum Montieren von Bauteilen muss ich dort auf allen Vieren kriechen und eine Arbeitslampe mitnehmen. Daher habe ich mich mit dem Symmetrieproblem erst befasst, nachdem ich eine neue und mir einleuchtende Lösung in Aussicht hatte. Immerhin kann ich im dunklen Oberboden die Helligkeit zweier in die Hühnerleiter eingeschleifter Glühlampen von der Einstiegs Luke auf einer Leiter stehend aus einer Entfernung von 2,5 m ganz gut erkennen. Also fügte ich erst einmal mit Fassungen zwei Fahrradlampen 6 V/3 W ein und machte eine Bestandsaufnahme. Um die Lampen zum Leuchten zu bringen, war je nach Band eine HF-Leistung zwischen 20 W und 80 W erforderlich. Auf den Bändern, auf denen die hohe Leistung benötigt wird, ist die Hühnerleiter am Speisepunkt hochohmig, und bei 20 W fließt dort zu wenig Strom, um die Lampen zum Leuchten zu bringen. Auf

3,5/10/14/18/21 MHz war die Symmetrie mit dem seit 1996 benutzten 1:1-Spannungsbalun mit einer trifilaren Wicklung von je 3 μH gut, auf 7/24/28 MHz nicht. Ein 1:4-Balun mit einer bifilaren Wicklung von je 4,8 μH hatte Probleme bei 24 MHz und 28 MHz, ganz leicht auch bei 7 MHz und 10 MHz. Ein weiterer Spannungsbalun mit einer bifilaren Wicklung von je 12 μH hatte nur leichte Probleme bei 7/10/24/28 MHz. Bei den 1:4-Baluns waren die Einstellungen meines Anpassgerätes natürlich ganz anders, aber Schwierigkeiten gab es nicht.

Der alte 1:1-Balun, kombiniert mit einer Gleichtaktrossel von 22 μH , ließ die Lampen auf allen Bändern gleich hell leuchten; bei 25 μH gab es eine Unsymmetrie nur bei 28 MHz, für dieses Band hatte die Gleichtaktrossel offenbar zu viel Induktivität. Der 1:4-Spannungsbalun mit $2 \times 4,8 \mu\text{H}$ zeigte zusammen mit der Gleichtaktrossel von 22 μH auf 24 MHz eine leichte Ungleichheit. Daraufhin wurde die Gleichtaktrossel auf 16,5 μH reduziert. Damit war das Problem bei 24 MHz behoben, aber es tat sich ein neues bei 3,5 MHz auf. Die so reduzierte Gleichtaktrossel arbeitete aber mit dem 1:4-Spannungsbalun mit $2 \times 12 \mu\text{H}$ auf allen Bändern einwandfrei. Dieser Spannungsbalun höherer Induktivität, wie ihn auch ZSIAN angibt, hat also für die Symmetrie offenbar Vorteile. Dieser hatte sich bei meinen Simulationen nicht gezeigt, aber der eigentliche Grund dürfte praktischer Natur sein: Für die Simulation werden die beiden gekoppelten Spulen mit exakt gleicher Induktivität eingegeben. In der Praxis aber gehen bei kleinen Induktivitäten die Längen der unvermeidlichen Anschlussdrähte stärker in die Gesamtinduktivität ein als bei Spulen höherer Induktivität; dadurch könnte sich bei Baluns niedriger Induktivität in der Praxis eine schlechtere Symmetrie ergeben.

Endgültige Lösung

Im Grunde habe ich mich gefreut, dass sich mein alter 1:1-Spannungsbalun ebenfalls für den Hybrid-Balun eignet und dass ich die Länge der Hühnerleiter nicht verändern musste. Trotzdem wollte ich bei dieser Gelegenheit auf einen 1:4-Balun umrüsten, weil dann auf dem strapazierten „Remote“-Kabel zwischen Anpassgerät und Balun nur die halbe HF-Spannung anliegt und die Anpassung breitbandiger sein müsste. Die

Herkunft der bei den Versuchen benutzten Ringkerne war mir unbekannt; den A_L -Werten nach dürfte es sich aber um Kerne handeln, die den Ferritmaterialeigenschaften 61 oder 4C65 entsprechen. So kaufte ich auf der HAM RADIO zwei Ringkerne TX36/23/15 [7]. Ihr nominaler A_L -Wert ist 170 nH/w²; nachgemessen hatte ein Exemplar 150 und der andere 160. Den ersten bewickelte ich in Anlehnung an meinen letzten Vorversuch mit bifilar zehn Windungen Teflonlitze AWG18; das ergab eine Induktivität von 15 μH je Spule oder in Reihe geschaltet 60 μH , das wurde der Spannungsbalun. Den zweiten Kern bewickelte ich mit bifilar 11 Windungen der gleichen Litze; als Induktivität wurden je 19 μH gemessen, und das wurde die Gleichtaktrossel. Diese Lösung (Bild auf S.337) funktionierte auf Anhieb auf allen Bändern; alleine die Übertragung der Induktivität der Versuchsbaluns auf die endgültigen Ringkerne brachte den Erfolg.

Worst-Case-Simulationen

Würden aber meine Ergebnisse so ohne Weiteres auf andere Hühnerleiterinstallationen übertragbar sein? Bei Thilo schien das durchaus so. An meinem Wohnort zeigte die Delta Loop von Adi, DC6AF, mit 81 m Umfang für optimale Symmetrie lediglich eine Tendenz der Gleichtaktrossel zu einer höheren Induktivität als 19 μH , vielleicht weil die Speiseleitung nicht genau in der Mitte einer der drei Seiten angeschlossen ist. Also wurden zur Beantwortung dieser Frage weitere Simulationen unter Annahme von Extremwerten vorgenommen. Die neue Testschaltung enthielt ein Anpassgerät und jeweils einen Baluntyp und verwendete zur Strommessung in den symmetrischen Ausgängen „spannungskontrollierte Spannungsquellen“ (im ARRL Radio Designer VVG genannt) mit Messwiderständen von 1 Ω . Mit einem dritten VVG wurde die erdfreie Ausgangsspannung des Anpassgerätes über einen Messwiderstand von 50 k Ω erfasst. Als Lastwiderstände wurden wieder 50 Ω , 500 Ω und 5000 Ω gewählt, die im Verhältnis 3:2 und 4:1 zum Erdpotential geteilt wurden, um eine unsymmetrische Belastung zu erzeugen.

Zunächst sollten die genannten Lastwiderstände allein mit einem Strombalun soweit symmetriert werden, dass in der grafischen Darstellung beide Stromkurven praktisch übereinander lagen. Die

Ergebnisse gleichen denen der Tabelle (Teil 1). Die erforderliche Induktivität hängt beim Strombalun also von der Höhe des Lastwiderstandes und der tiefsten Betriebsfrequenz ab, aber nicht von etwaigen Unsymmetrien. Beim Hybridbalun dagegen zeigte sich unter Beibehaltung des Spannungsbalun von $2 \times 15 \mu\text{H}$, dass die Induktivität der Gleichtakt-drossel für die gleiche Symmetrieforderung sowohl von der Höhe des Lastwiderstandes und der tiefsten Frequenz abhängt als auch von den Unsymmetrien. Für den Extremfall einer unsymmetrischen Last von 4000Ω plus 1000Ω lieferte die Simulation für 3,5 MHz einen Höchstwert von $300 \mu\text{H}$, also etwa die Hälfte dessen, was man für einen allein arbeitenden Strombalun ansetzen müsste.

Um derart hohe Induktivitäten zu umgehen, wären also Hühnerleiterlängen, die den Hybridbalun auf tiefen Frequenzen hochohmig belasten, möglichst zu vermeiden. Meine Quad-Loop mit 7 m Speiseleitung habe ich durch den Balun hindurch mit einer asymmetrischen Messbrücke vermessen; danach endet meine Hühnerleiter auf 80 m unter Berücksichtigung der 1:4-Transformation des Hybridbaluns mit einer Impedanz von 1800Ω . Trotzdem komme ich noch mit einer Gleichtakt-drossel von $19 \mu\text{H}$ aus, sodass mir das Simulationsergebnis recht hoch erscheint. Oder aber es gehört schon einiges dazu, eine Hühnerleiterantenne so schlecht aufzubauen, dass sich eine Unsymmetrie von 4:1 ergibt. Daher sollte jetzt erst einmal die Praxis das Sagen

haben. So hoffe ich, dass andere Interessenten mit den neuen Kenntnissen ebenfalls gute und reproduzierbare Erfahrungen machen können, sei es mit dem Strombalun allein, wenn man die benötigte hohe Induktivität in Kauf nimmt, oder eben mit dem Hybridbalun. Dessen Spannungsbalun dürfte in seiner Induktivität relativ un-kritisch sein; bei der zugehörigen Gleichtakt-drossel darf die Induktivität für das unterste Band nicht zu klein und für das oberste Band nicht zu groß sein, mit ihr muss man gegebenenfalls etwas experimentieren.

In Grenzfällen wird man für den ganzen Kurzwellenbereich mit einer einzigen Gleichtakt-drossel nicht auskommen; das deutete aber schon ZS1AN in seinem Artikel an. CQDL



Antenne mit Hahn als Dachkapazität

Wer ein Problem mit seiner Funkantenne hat, von ängstlich „strahlengefährdeten Mitbewohnern“ beobachtet wird oder ein „heimlicher Funkamateurl“

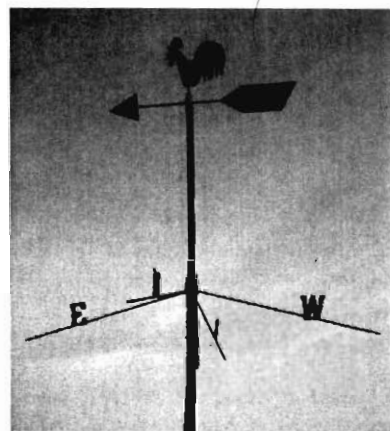
sein möchte, sollte sich das folgende Gebilde anschauen. So kann eine $\lambda/4$ -Antenne auch aussehen – mit einem Hahn als Dachkapazität. Die Antenne ist eine $\lambda/4$ für 2 m und $1\frac{1}{2} \lambda$ für 70 cm. Die Länge des Strahlers beträgt 52 cm, die vier Radiale sind 50 cm lang – also im Grundaufbau eine klassische GPA.

Ich habe mich bemüht, die Antenne so weit wie möglich aus handelsüblichen Materialien anzufertigen. Der eigentliche Antennenteil ist aus 4 mm Messingrohr mit einem Anpass-Stup am oberen Ende, denn der Strahler muss für beide Bänder sehr feinfühlig auf ein niedriges SWR eingestellt werden.

Den Fußpunkt der Antenne bildet eine Kabelkupplung entweder für PL- oder N-Stecker, je nach vorhandenem Speisekabel. In das eine Ende wird das Messingrohr gesteckt und verlötet. Das untere Ende dient als Verbindung mit dem Speisekabel.

Das ganze wird dann in einem Kunststoffrohr aus PVC oder Glasfaser untergebracht. Das Verbindungsteil zur Mastbefestigung besteht ebenfalls aus Kunststoff, in welches dann das Kunststoffrohr mit der Antenne geschoben wird. Auch die Radiale aus 6 mm Alu Rundmaterial werden dort mit einer Neigung von 30° befestigt.

Sie haben an einem Ende ein 6-mm-Gewinde und werden in das Verbindungsteil geschraubt, sodass sie mit dem Kupplungsteil verbunden sind und das Gegengewicht zum Strahler bilden und 50Ω Fußpunkt-widerstand erreicht werden.



Unauffällig am UKW-Funkverkehr teilnehmen – mit einer Duoband-GP, getarnt als Wetterhahn

Der obere Teil des Kunststoffrohres – in dem sich die Antenne befindet – wird mit einem drehbaren Teil, welcher auch zur Aufnahme der Windrichtungsanzeige des Pfeils und des Wetterhahnes dient, abgeschlossen. Drehbar, aber wasserdicht. Der Hahn, die Richtungspfeile und die Himmelsrichtungsbuchstaben bestehen aus 5 mm Kunststoffplattenmaterial. Die Antenne kann direkt auf einem Mastrohr oder seitlich mittels eines Rohrstücks aus dem Sanitärbereich befestigt werden.

Es ist mal eine, für manchen wohl eine absurde, Idee und nicht hochtechnisch. Aber sie könnte auch hilfreich sein, wenn ein Hausbesitzer eine Antenne auf dem Dach nicht zulässt, aber ein lustiger Wetterhahn dann doch einen besseren Eindruck macht. Es funktioniert und ist erprobt!

Joachim Jarkovsky, DK2UT

Die Radials müssen unbedingt Kontakt mit dem Fußpunkt der Antenne haben und mit einem 6-mm-Gewinde versehen sein, um eingeschraubt werden zu können

