Die „Easy-Way-Methode“
oder der einfache Weg zur zweidrahtgespeisten Dipolantenne (Doppel-Zepp)

Einleitung

„Zweidrahtgespeiste“ Dipolantennen haben im Gegensatz zu koaxgespeisten Dipolen eine Reihe von Vorteilen. Diese Antennen weisen einen guten Wirkungsgrad auf und ermöglichen echten Mehrbandbetrieb. Zudem sind Sie mechanisch leicht auf aufzubauen, sofern man fertige Speiseleitungen wie die bekannten „Wireman“-Speiseleitungen oder leichtes 240 oder 300 Ohm Flachbandkabel verwendet. Um einen guten Wirkungsgrad zu ermöglichen, sollten die beiden Dipolhälften nicht mehr als 1/3 auf der längsten Betriebswellenlänge gekürzt werden. D.h. eine Doppel-Zepp Antenne, die auf 80m gut funktioniert, sollte idealerweise 2 x 20m lang sein. Steht diese Länge nicht zur Verfügung, sollten die beiden Schenkel wenigstens 13m lang sein.

Was macht die Speiseleitung ?

Auf der Zweidrahtspeiseleitung findet eine Impedanztransformation statt. Eine 2 x10m lange Doppelzepp – Antenne hat auf 7 Mhz am Einspeispunkt ein Strommaximum und somit eine niederohmige Impedanz um rund 50 Ohm. Auf der weiterführenden Speiseleitung findet nun nach jeder Viertelwellenlänge eine „Impedanzumkehr“ statt. Unser 2 x10m Musterdipol hat auf 7 Mhz am Ende einer 10m langen Speiseleitung kein Strommaximum mehr sondern ein Spannungsmaximum und somit ein Impedanz von ca. 1000-3000 Ohm. Dies stimmt so nicht ganz , da unsere Speiseleitung einen Verkürzungsfaktor von ca. 0,8 bis 0,9 hat. Somit liegt unser Spannungsmaximum nicht bei 10m Speisekabellänge, sondern irgendwo zwischen 8 und 9m Speisekabellänge. Wäre unser Speiseleitung nur 4 bis 5m lang, läge die Impedanz wohl im „mittelohmigen“ Bereich von 300 – 600 Ohm. Letztlich fungiert unsere Speiseleitung als Verlängerung des Antennenstrahlers. Beträgt die Gesamtlänge [Dipolhälfte + (Speisekabellänge x Verkürzungsfaktor)] auf der Betriebsfrequenz lamba/2 oder ein Vielfaches davon (also 0,5-1-1,5-2-2,5 ... lambda) , herrscht am Ende des Speiseleitung ein <u>Spannungs</u>maximum (1000 – 3000 Ohm). Bei allen ungeraden Viertelwellenlängen (also 0,25 – 0,75 –1,25 – 1,75 ... lambda) findet man ein <u>Strom</u>maximum (rund 50 Ohm). Dies spiegelt aber nur die beiden Extremwerte wieder. In den „Zwischenbereichen“ nimmt die Impedanz kontinuierlich zu bzw. ab.

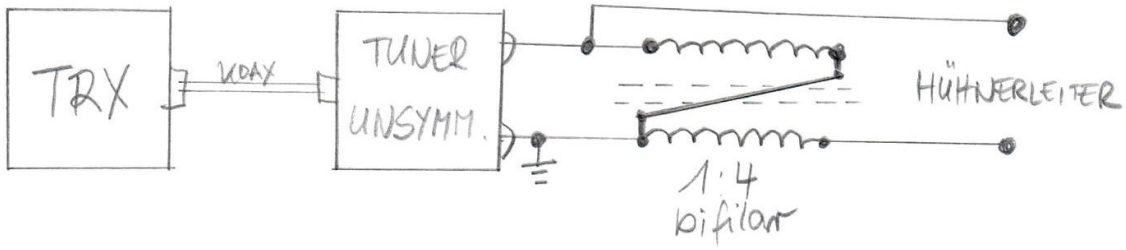
Wie kopple ich die Speiseleitung an den Sender an ?

Wie wir soeben erkannt haben, liegt am senderseitigen Ende der Speiseleitung je nach Dipollänge, Speisekabellänge und Frequenz eine Impedanz zwischen ca. 50 bis 3000 Ohm <u>„symmetrisch“</u> an. Unser Sender hat aber einen unsymmetrischen 50 Ohm Ausgang. Um dieses Anpaßproblem zu lösen, benötigen wir einen Antennentuner. Aber aufgepaßt – nicht irgendeinen Antennentuner – sondern einen **<u>vollsymmetrischen</u> Antennentuner,** der zunächst die unsymmetrisch zugeführte HF symmetriert und anschließend die Impedanztransformation für **zwei !** Speiseleitungsdrähte durchführt. Der Materialaufwand für einen derartigen Tuner ist beträchtlich. In der Regel werden doppelt soviele Bauteile benötigt, wie für einen einfachen unsymmetrischen (preiswerten) Antennentuner. Dies hat seinen Preis. Ein vollsymmetrischer manueller Antennenkoppler für 100Watt ist am Markt kaum unter 250 Euro zu haben. Für höhere Sendeleistungen oder gar automatische Abstimmung schnellen die Preise in den vierstelligen Bereich. Technisch ist ein vollsymmetrischer Antennentuner natürlich der „Goldstandard“. Allerdings gibt es

auch preiswertere Alternativen, die von geringen Einschränkungen abgesehen eine brauchbare Anpassung von Zweidrahtleitungen ermöglichen.

Die Easy-Way Methode:

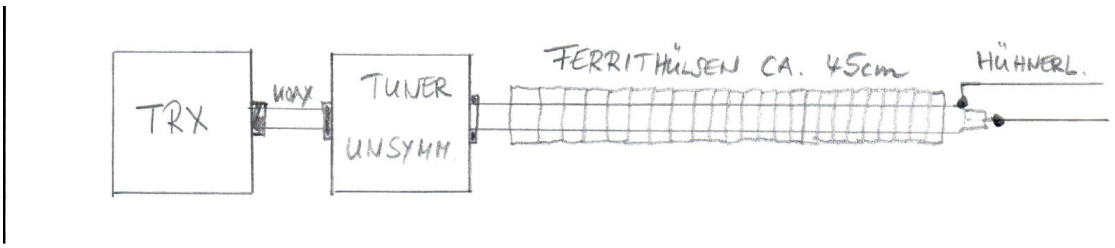
Viele Funkamateure haben zuhause schon einen normalen unsymmetrischen Antennenkoppler im Regal stehen, wie er zur Feinabstimmung von koaxgespeisten Antennen benötigt wird. Da liegt natürlich der Gedanke nahe, am antennenseitigen Anschluß des Tuners ein Symmetrierglied (Balun) einzufügen, welches das unsymmetrische Signal für unsere Zweidrahtleitung symmetriert. Auch das ist eigentlich nichts Neues - viele Tuner haben bereits einen derartigen Balun ab Werk eingebaut. Hört man sich bei erfahrenen Funkamateuren um, bekommt man aber schnell die Auskunft, das dies - mehr schlecht als recht - nur eingeschränkt funktioniert. Diese Baluns funktionieren zwar im unteren und mittleren Impedanzbereich halbwegs zufriedenstellend. Sie versagen jedoch bei hohen Impedanzen kläglich. Wie ist das zu erklären ? Meist kommt ein Spannungsbalun nach Ruthroff mit der Übersetzung 1:4 zum Einsatz. Man erkennt diesen Balun leicht an den zwei Drähten (bilifar) und an der Tatsache, daß der unsymmetrische Ausgang direkt mit einem Draht unserer Zweidrahtleitung verbunden ist.



Dieser Baluntyp hat aber eine Reihe von Nachteilen. Da es sich um einen Spannungsbalun handelt, muß der Ringkern „richtig“ Leistung transformieren, was wiederum ein verlustarmes Ferritmaterial erfordert. Dies sind im Kurzwellenbereich nur Materialen mit einer Permeabilität von 125 (z.B. –61 oder 4C65) oder weniger. Leider lassen sich auf einen Ringkern in der Praxis nur etwa 10 Windungen aufbringen, wenn man halbwegs vernünftige Leiterquerschnitte verwendet. Berechnet man nun die Eigenimpedanz von 10 Windungen z.B auf einem Ringkern FT140-61 auf 3,5MHZ erhält man ein Z von ca. 300 Ohm – auf 1,8 Mhz gar nur 150 Ohm. Stellt man sich die beiden Wicklungen auf dem obigen Diagramm als 300 Ohm Widerstände vor, wird einem sehr schnell klar, daß bei hohen Impedanzen von über 1000 Ohm an der Hühnerleiter von Symmetrie keine Rede mehr sein kann. Die beiden Drähte der Zweidrahtleitung sind mit einem 300 Ohm Widerstand leitend verbunden und ein Schenkel zudem über 300 Ohm geerdet. Das Verhältnis zwischen Eigenimpedanz der Wicklung zu der zu übertragenden Impedanz mag bei 50 Ohm noch in Ordnung sein, aber bei sehr hohen Impedanzen auf keinen Fall. Ein Ausweg wären Ferrite mit höherer Permeabilität. Diese hätten jedoch hohe ohmsche Verluste und sind folglich auch kein Ausweg. Letztlich sind alle Spannungsbaluns – -egal welches Übersetzungsverhältnis – zumindest auf den „Low-Bands“ für diese Aufgabe ungeeignet.

Wesentlich besser läßt sich diese Aufgabe mit einen „Strombalun“ lösen. Ein Strombalun ist letztlich gar kein Übertrager, sondern eine Drossel. Die einfachste Form eines Strombaluns besteht aus einer Zweidrahtleitung (z.B. Zwillingslitze) oder auch ein Koaxkabel, daß auf einen Ferritkern gewickelt wird. Solange diese

Zweidrahtleitung „symmetrisch“ betrieben wird, heben sich die Felder um die beiden Leiter gegenseitig auf und unser Ferritkern ist praktisch arbeitslos. Beim Koaxkabel sind die Verhältnisse geringfügig anders. Der Energietransport findet auf der Innenseite der Abschirmung und dem Innenleiter statt. Der Ferrit beeinflusst daher den eigentlichen Energietransport nicht. Die unsymmetrischen Anteile, die auf der äußeren Schicht des Koaxmantels von der Antenne zum Sender bzw. Erde zurückwandern möchten, werden durch den Ferrit wirksam blockiert. Der große Vorteil des Strombaluns ist letztlich, daß der Energietransport nahezu nicht beeinflusst und gleichzeitig die unsymmetrischen Anteile wirksam bedämpft werden. Strenggenommen wird bei diesem Symmetrierglied nichts transformiert sondern zwangssymmetriert. Da die Ferritkerne beim Strombalun nur mit dem unsymmetrischen Anteil belastet werden, können hier auch Ferrite mit einer sehr hohen Permeabilität zwischen 1000 und 5000 eingesetzt werden. Letztlich verhalten sich diese Ferrite bei Hochfrequenz mehr als ohmsche Widerstände wie als Induktivitäten. Der unsymmetrische Anteil wird quasi in den Ferriten verbraten, was auch deren Erwärmung erklärt. Aufgrund der hohen Permeabilität dieser Ferrite erreicht man auch bei den niedrigen Frequenzen bereits hohe Sperrimpedanzen. Eine Sonderform des Strombaluns ist der sogenannte W2DU-Balun, bei dem eine Vielzahl von Ferrithülsen auf das Speisekabel aufgefädelt wird. Die Gesamtlänge der Ferrithülsen beträgt in der Praxis etwa 30-50cm. Den W2DU-Balun kann man sich elektrisch als eine Spule mit nur einer Windung vorstellen. Da sich mit einer Windung nur schwer hohe Impedanzen erzielen lassen, muß die „Ferritstrecke“ entsprechend lang sein. Durch die „Einwindungstechnik“ fallen auch „parasitäre“ Effekte weg, die gerne bei „Mehrwindungsspulen“ auftreten. So sieht nun unsere Lösung mit dem W2DU Balun aus:



Aber leider sind wir noch nicht am Ziel. Damit unser W2DU Balun optimal funktioniert, müssen auch die richtigen Ferrite eingesetzt werden. Leider gibt es kein Ferritmaterial das den Bereich von 160 bis 10m optimal abdeckt. Wir verwenden daher eine Mischung von 12 Kernen mit 19mm Länge LFB095051-000 (optimal bis 10 Mhz) und 16 Kernen mit 15mm Länge CST9.5/5.1/15-3S4 (ab 10 Mhz.). Mit dieser Mischung erreichen wir von 160 bis 10m Sperrimpedanzen im Bereich von 1500 Ohm, die voll und ganz ausreichend sind, sofern man eine extreme Spannungskopplung meidet. Aber auch dem verwendeten Koaxkabel gilt besondere Aufmerksamkeit. Zwar genügt es bei Leistungen bis 100Watt, wenn diese Ferrithülsen mit 5mm Innendurchmesser auf RG58 aufgeschoben werden. Besser ist jedoch die Verwendung von Teflon®Koax. Die Teflon®-Isolation verträgt deutlich höhere Temperaturen, da sich unsere Ferrithülsen je nach Leistung und Last deutlich erwärmen können. Ferner weisen Teflon®Koaxkabel eine ganze Reihe von mechanischen und elektrischen Vorteilen auf. Dies wären z.B. bessere Lötfähigkeit, hochwertiges, spannungsfestes Dielektrikum, bessere Witterungsbeständigkeit etc. Der Mehraufwand von knapp 5€ sollte uns das bessere Kabel schon wert sein.
Achtung: Diese Lösung funktioniert nicht mit Antennentunern, die in vielen Transceivern bereits ab Werk eingebaut sind. Diese funktionieren meist nur im

Sendebetrieb und können in der Regel nur Impedanzen im Bereich von 20 – 150 Ohm abstimmen.

Funktioniert das wirklich ?

Ja, es funktioniert ! OM Helmut Kellermann , DJ2IP, hat einen nach ihm benannten „Kellermann-Balun“ entwickelt, der es ebenfalls ermöglicht, eine symmetrische Antenne mit einem unsymmetrischen Koppler zu betreiben. Der Kellermann-Balun besteht im Prinzip aus einem Stück Koaxkabel, das äußerst trickreich durch ca. 20 Ferritkerne gefädelt ist. Dieser Balun erreicht spielend extrem hohe Sperrimpedanzen in der Größenordnung von 5000 Ohm und mehr. Allerdings benötigt dieser Balun auch ein deutlich längeres Koaxkabel als unser W2DU-Typ, der mit ca. 0,7m Koaxkabel auskommt. Betrachtet man die Vorgänge im Koaxkabel genauer, stellt man fest, daß unser Koaxkabel eine niedrige Impedanz von etwa 50 Ohm aufweist aber gleichzeitig sehr komplexe Impedanzen bis zu mehreren Kiloohm übertragen soll. In dem Koaxkabel herrscht quasi eine extreme Fehlanpassung mit Stehwellenverhältnissen von 1:30 und mehr. Dies bedeutet natürlich auch extreme Verluste, die bis das 15-fache der normalen Kabeldämpfung betragen können. Glücklicherweise beträgt die Kabeldämfung von 0,7m RG58 oder RG142 auf Kurzwelle nur 0,06 db (28Mhz). Selbst bei ungünstigster Fehlanpassung wird man kaum die 1db Marke erreichen, die gerade noch tragbar sein dürfte. In der Praxis liegt die Gesamtdämpfung bei niedrigeren Welligkeiten und niedrigeren Frequenzen deutlich unter 1db. Um die Koaxverluste weiter zu minimieren verwenden wir 75 Ohm Teflon®Koaxkabel RG302 das eine geringere Dämpfung und im Durchschnitt eine geringere Welligkeit aufweist als der 50 Ohm Typ RG142B/U. Leider verfügt das Original RG302 über einen Außendurchmesser von 5,1mm und ist daher für unsere 5mm Ferrithülsen etwas zu dick. Da RG302 praktisch am Markt nicht zu finden ist, haben wir eine „Spezialausführung“ von RG302 fertigen lassen, die einen etwas geringeren Außendurchmesser von 4,95mm hat und optimal zu unseren Kernen passt. Wer diese Kabelverluste genauer berechnen möchte, findet unter http://www.saarsham.net/coax.html ein interessantes Tool hierzu. Mit seinen rund 1500 Ohm Sperrimpedanz bleibt unser W2DU-Balun aber deutlich hinter dem Kellermann-Modell zurück. Die Frage ist daher, welche Sperrimpedanz in der Praxis überhaupt erforderlich ist.

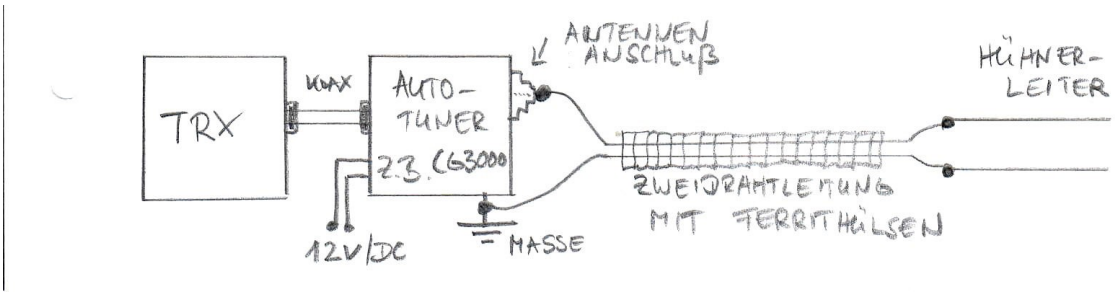
Der Lambda/2 Trick

Betrachtet man den Impedanzverlauf einer Doppel-Zepp Antenne über das ganze KW-Spektrum stellt man fest, das die Bereiche mit Spannungskopplung und damit extrem ungünstigen Impedanzen recht schmal sind. Der Trick ist nun, daß man die Länge der Antennenschenkel und der Speiseleitung so wählt, daß in den Amateurfunkbändern gar keine Spannungskopplung auftritt. Hierzu müssen die Längen so gewählt werden, daß die Gesamtlänge des Systems (vom Endisolator bis zum Speisepunkt und weiter bis zum Tuner) **NICHT** Lambda/2 oder ein mehrfaches davon beträgt. Dabei ist insbesondere der Verkürzungsfaktor der Speiseleitung zu berücksichtigen. Da die Rechnerei bei Mehrbandbetrieb etwas umständlich ist, habe ich eine EXCEL Tabelle geschrieben, mit deren Hilfe sich unterschiedliche Längen komfortabel durchrechnen lassen. Diese Excel- Datei kann unter www.dx-wire.de/dzrechner.xls heruntergeladen werden. Bitte nehmen Sie diese Berechnungen nicht zu ernst. Diese Kalkulation wird bei mehreren Wellenlängen recht ungenau. Aber die ersten -sehr ausgeprägten Maxima - bei 0,5 und 1 Lambda

sollten tunlichst außerhalb der Amateurfunkbänder sein. Unter diesen Voraussetzungen ist unsere 1500 Ohm Sperrdämpfung voll und ganz ausreichend und beileibe keine Behelfslösung mehr.

Die Komfortlösung

Natürlich funktioniert die W2DU-Lösung auch mit vollautomatischen unsymmetrischen Antennenkopplern, die mittlerweile schon recht preisgünstig zu haben sind. Ein CG3000 Autotuner ist bereits schon unter 300 Euro erhältlich. Da diese Koppler keine Koaxbuchse am Antennenausgang haben, bietet es sich an , den Strombalun gleich als Zweidrahtleitung auszuführen. Die Ferrithülsen werden hier über eine hochwertige Zwillingslitze geschoben und gleich mit der Hühnerleiter verlötet. Die Lötstellen werden mit Hilfe eines Stückchen Schrumpfschlauches mit Innenkleber wetterfest geschützt. Auf der Tunerseite wird ein Draht mit dem unsymmetrischen Antennenausgang (meist ein Porzellanisolator mit Rädelschraube) verbunden, während der andere Draht mit der Tunermasse verbunden wird.



Natürlich sind die Anforderungen an diese „Adapterleitung mit Ferritmantel“ hoch, da diese temperatur- und witterungsbeständig sowie zugleich gut isoliert sein muss. Für diese Aufgabe haben wir uns extra eine versilberte Zwillingslitze 2 x 0,75mm2 mit Teflon®-Isolation und einem temperatur- und wetterfesten Silikonmantel anfertigen lassen. Die Ferrite lassen sich wie auf einem Koaxkabel problemlos auffädeln und wetterfest einschrumpfen. Der Silikonmantel läßt sich leicht abisolieren. Bei der Montage sollte man darauf achten, daß man die Einzellitzen an den Enden etwas länger lässt, als normal erforderlich, damit man die Sperre eventuell für ein anderes Projekt nochmal verwenden kann. Ferner sollte man bei Bedarf über eine Zugentlastung nachdenken, da die Bruchlast dieser „Adapterleitung“ begrenzt ist. Mit dieser Lösung steht auch dem Amateur mit einem unsymmetrischen Automatiktuner die „Zweidrahtwelt“ offen !

Safety first

Bei diesem Projekt sollte man nicht vergessen, daß hohe Impedanzen auch hohe Spannungen bedeuten. Bei 100 Watt Sendeleistung treten bei Spannungskopplung leicht Spannungen im Bereich von 300 – 500V auf. Bei Betrieb mit Endstufe ist man schnell im Bereich von über 1000V. Daher ist peinlichst auf gute Isolierung und Berührungsschutz zu achten. Dies gilt besonders für den Anschluß auf der Antennenseite. Hier führt auch die Abschirmung des Koaxkabels bereits Spannung und das nicht zu knapp. Daher haben hier abenteuerliche Koaxverbinder , die man versehentlich berühren kann, nichts zu suchen. Ich denke, bei Leistungen bis 100 Watt sind vollisolierte Bananenstecker und –Buchsen

vertretbar. Bei höherer Leistung sollte die Hühnerleiter angelötet und gut isoliert werden.

Ausblick

Dieser Beitrag zeigt eine Lösung auf, wie man eine Paralleldrahtleitung auch an einen unsymmetrischen Koppler anschließen kann. Ich werde in Kürze zwei fertige Mantelwellensperren (eine mit Zweidrahtleitung und die andere mit RG302) anbieten, die sofort einsatzfähig sind und problemlosen Dauerbetrieb mit 100 Watt (und etwas mehr) ermöglichen. Der Preis wird 29€ bei der Zweidrahtversion und 38€ bei der Koaxausführung betragen. Darüberhinaus sind alle Materialen, die hier eingesetzt werden bei mir (www.DX-WIRE.de) auch einzeln erhältlich. Wir unterstützen gerne auch Selbstbauer, die sich Ihre Sperre nach eigenen Wünschen und Anforderungen aufbauen möchten. Denkbar sind auch QRO Ausführungen mit dem 9,9mm dicken RG393 Teflon®Koax. Wir helfen Ihnen gerne bei der Beschaffung der erforderlichen Materialen. Fertige QRO Ausführungen werden wir selbst nicht anbieten, um zu vermeiden, daß unerfahrene Anwender die möglichen Gefahren unterschätzen.

Ultra-Easy-Methode

Das hier beschriebene Verfahren ist schon sehr optimiert. Für erste Versuche haben wir auch eine „Ultra-Easy-Methode“, die zwar nicht ganz die volle Performance erreicht, aber trotzdem ganz brauchbar ist. Hierzu verwendet man anstatt dem W2DU Balun einen Ferritring, auf dem man 10 Windungen Koaxkabel (z.B. RG58, RG174 oder auch RG316 (Teflon®) aufbringt. Die Auswahl des Koaxkabels ist hierbei weniger entscheidend. Von höchster Bedeutung ist aber das Ferritmaterial. Am besten eignen sich hochpermeable Ni-Zn Kerne, wie der FT140-43 oder FT240-43. Aber auch die Entstörkerne aus dem DX-WIRE Sortiment wie der T36/26/15-1500, U81-1500, R80-1500 eigen sich gut. Ferrite unbekannter Herkunft aus Bastelkiste sollte man meiden. Definitiv ungeeignet sind hierfür auch die roten Eisenpulverkerne.

Schlußwort

Ich bedanke mich bei allen Lesern dieses Betrages, daß Sie bis zum Schluß durchgehalten haben. Alle Angaben sind nach besten Wissen und Gewissen gemacht. Ich habe versucht, diese komplexen Zusammenhänge möglichst einfach zu beschreiben. Die Vollprofis unter den Lesern mögen mir verzeihen, wenn ich nicht alle Details hochwissenschaftlich exakt wiedergegeben habe. Leider bin ich selbst kein Diplom-Ingenieur oder Mathematiker.

Röslau im Dezember 2008

© Peter Bogner, DK1RP

Teflon® ist ein eingetragendenes Warenzeichen der Fa. Du Pont für Polytetrafluorethylen (PTFE)