

Antennen für den Funkamateuer

Nachfolgend sollen, ausgehend von einigen theoretischen Grundlagen, die in der Funktechnik gebräuchlichen Antennen beschrieben werden.

Da es, wie auf jedem Gebiet, so auch hier, die verschiedensten Speziallösungen gibt, wird absichtlich eine Beschränkung auf die Grundformen vorgenommen.

Vorbetrachtung

Was ist eine Antenne

- Bindeglied zwischen Sender/Empfänger zum Übertragungsmedium ("Luft", "Umwelt", "Atmosphäre")
- "Wandler" zwischen HF-Strömen und HF-Spannungen in Magnetisches Feld und Elektrisches Feld, denn nur diese können durch die "Luft" übertragen werden

Äußere Merkmale der Antenne

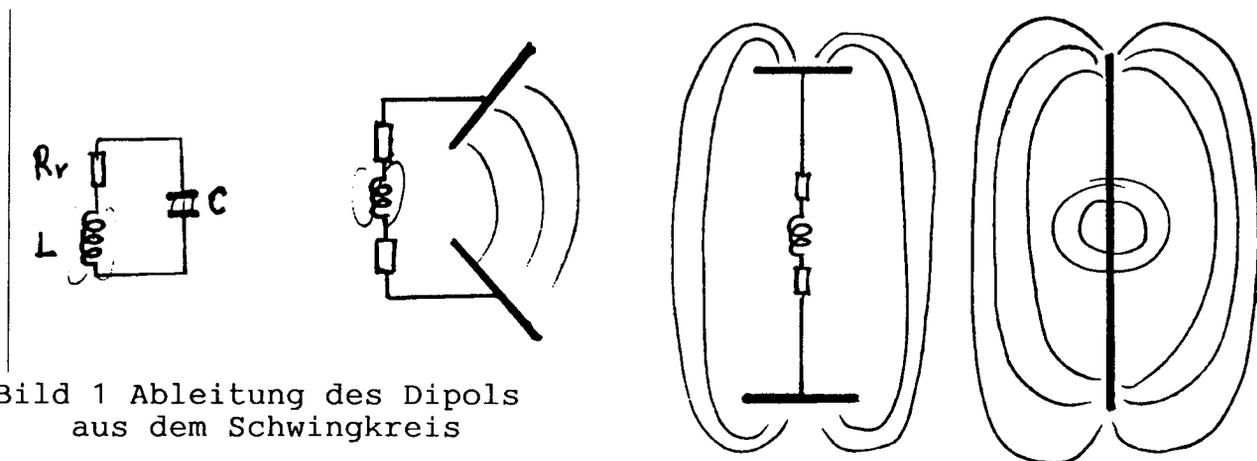
- Vertikal-Antenne, Horizontal-Antenne, Stab-Antenne, Groundplane-Antenne, Langdraht-Antenne, Rahmen-Antenne, Richt-Antenne, Yagi-Antenne, Parabol-Antenne, u.s.w. sind einige Bezeichnungen, die sowohl die Form als auch die Art der Antenne angeben

Elektrische Merkmale der Antenne

- Fußpunktwiderstand, Strahlungswiderstand, Gewinn, Öffnungswinkel, Bandbreite, Polarisierung, Vor-/Rückverhältnis

Die Grundform aller Antennen: der einfache Dipol

Als Grundform aller verwendeten Antennen kann der Dipol betrachtet werden. Da die Antenne ein Gebilde darstellt, das ein frequenzabhängiges Verhalten hat, kann für das einfachere Verständnis die Herleitung des Dipols aus dem Schwingkreis betrachtet werden.



In Bild 1 ist der Parallelschwingkreis, bestehend aus Spule, Kondensator und Verlustwiderstand dargestellt. Wird der Schwingkreis mit seiner Resonanzfrequenz erregt, so pendelt die Energie zwischen dem Magnetfeld der Spule und dem elektrischen Feld des Kondensators mit der Resonanzfrequenz hin und her.

Biegt man (gedanklich) die Platten des Kondensators auseinander, so wird das elektrische Feld auseinandergezogen. Zieht man (gedanklich) die Spule lang und verdünnt die Kondensatorplatten zu Drähten, so kommt man schließlich zum Dipol, der ebenso wie der Parallelresonanzkreis ein elektrisches und ein magnetisches Feld, sowie Verlustwiderstände hat. Das magnetische Feld des Dipols wirkt kreisförmig um den Leiter, das elektrische Feld zwischen den Enden des Leiters.

Polarisation einer Antenne

Spricht man von der Polarisation eines Dipols bzw. einer Antenne, so ist die Richtung des elektrischen Feldes gemeint.

Horizontale Polarisation bedeutet, das elektrische Feld ist horizontal polarisiert, vertikale Polarisation bedeutet, das elektrische Feld ist vertikal polarisiert.

Die Komponenten des elektrischen und des magnetischen Feldes stehen immer senkrecht aufeinander.

Strom und Spannung auf der Antenne

In Bild 2a ist die Verteilung von Strom und Spannung auf dem Dipol angegeben. Hierzu ist anzumerken, daß an den Enden einer in Resonanz betriebenen Antenne immer ein Stromminimum und ein Spannungsmaximum zusammenfallen. Dies gilt auch für alle Vielfachen der halben Wellenlänge. Dies ist in Bild 2b dargestellt. Man sagt hier auch, die Antenne ist in Oberwellen/Harmonischen erregt, d.h. sie wird auf ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz betrieben.

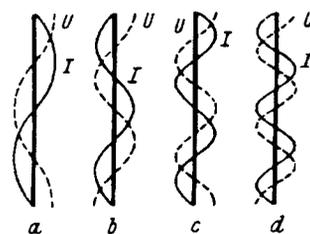
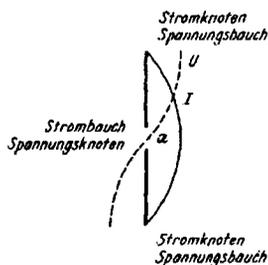


Bild 2 b In Oberwellen erregte Linearantenne (a = 2. Oberwelle, b = 3. Oberwelle, c = 4. Oberwelle, d = 5. Oberwelle)

Bild 2a Strom- und Spannungsverteilung eines Dipols. Es tritt an den Enden jeweils größte Spannung auf.

Richtwirkung der Antenne, das Strahlungsdiagramm

Man unterscheidet zwischen dem Horizontal- und dem Vertikal-Diagramm. Zur Verdeutlichung des Strahlungsdiagrammes sei hier ein Beispiel aus der Optik gebracht. In Bild 3 sind die Diagramme für einen Kugelstrahler, einen Rundstrahler und einen Richtstrahler gezeigt. Bild 4 soll das räumliche Diagramm des Dipols veranschaulichen. Bild 5 zeigt die Horizontal- und Vertikal-Diagramme des Dipols, sowie das Horizontaldiagramm einer Richtantenne.

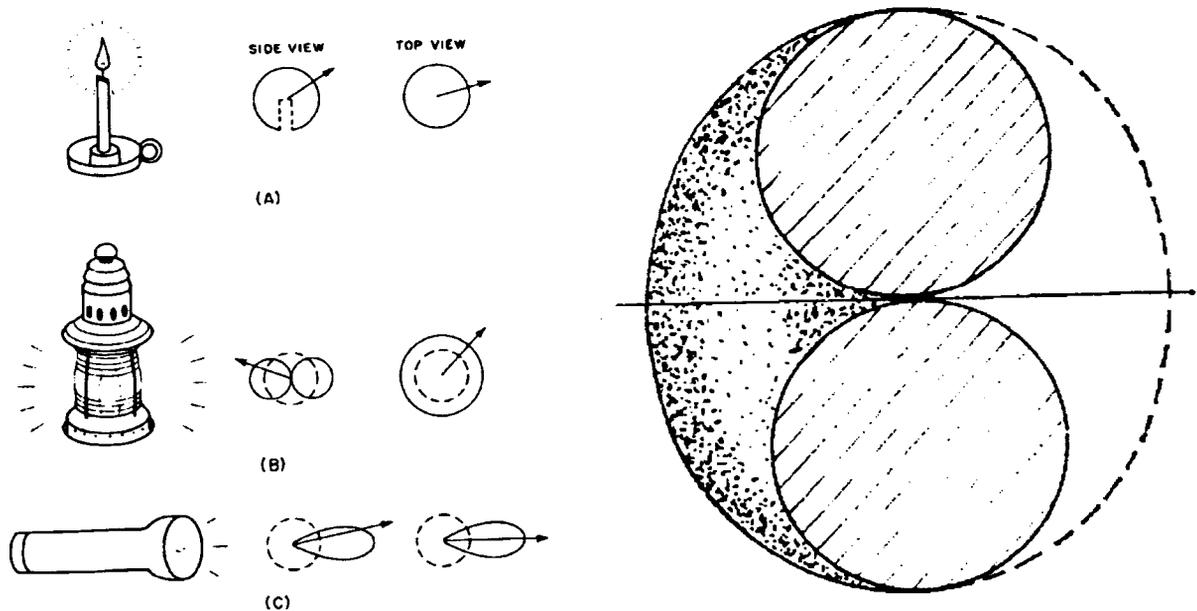


Bild 3 Beispiele aus der Optik

Bild 4 das räumliche Diagramm des Dipols

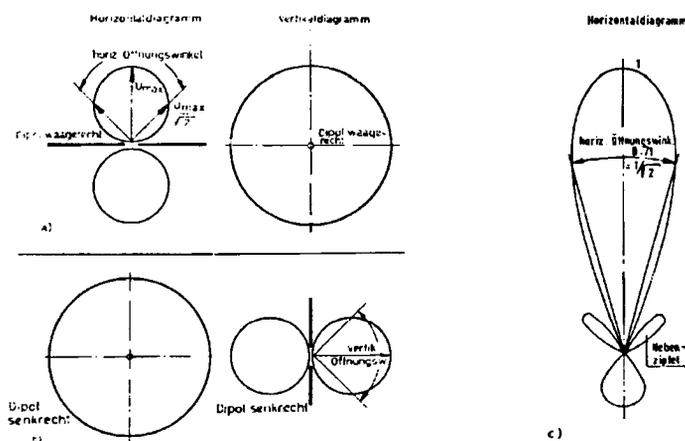
Bei allen Antennendiagrammen handelt es sich um räumliche Gebilde, deren bildliche Darstellung man jedoch im allgemeinen auf die Darstellung der horizontalen und vertikalen Ebene beschränkt wird.

Die Form des Richtdiagrammes ist ein direktes Maß für den Gewinn und das Vor-/Rück-Verhältnis der Antenne.

Im Allgemeinen kann angenommen werden, daß der Gewinn um so höher ist, je schmaler die Keule des Richtdiagrammes ist.

Die Größe und Anzahl von Nebenzipfeln im Antennendiagramm ist ebenfalls für den Gewinn ausschlaggebend, denn die Energie in den Nebenzipfeln fehlt in der Hauptkeule und mindert somit den Gewinn.

Der Öffnungswinkel der Antenne ist in Bild 5 mit angegeben. Als Öffnungswinkel bezeichnet man den Winkel, bei dem sich die Antennenspannung, bezogen auf den Maximalwert, um 3dB (Faktor ca. 0,71) verringert.



- 5 a) Horizontal- und Vertikaldiagramm eines waagrecht zur Erdoberfläche angeordneten Halbwellendipols
- b) Horizontal- und Vertikaldiagramm eines senkrecht zur Erdoberfläche angeordneten Halbwellendipols
- c) Horizontalrichtdiagramm einer Mehrelementantenne mit Nebenzipfeln

Speisung der Antenne, Speisewiderstand

Um eine Antenne für Empfang und Sendung verwenden zu können, ist es nötig, diese an den Empfänger und Sender anzuschließen. Gehen wir hierbei wieder von der normalen Dipol-Antenne aus.

Erinnern wir uns an Bild 2a, so wissen wir, daß in der Mitte des Halbwellendipols ein Strombauch ist. Trennen wir an dieser Stelle den Halbwellendipol auf, so ist es möglich entsprechend den vorliegenden Strom- und Spannungsverhältnissen einzuspeisen oder auszukoppeln.

Da an dieser Stelle ein hoher Strom (Strombauch) und eine niedrige Spannung (Spannungsknoten) vorliegen ist folglich der Speisewiderstand niedrig. Bei normalen Verhältnissen liegt dieser Widerstand zwischen 50 und 75 Ohm. Er ist abhängig von verschiedenen Umgebungseinflüssen wie Aufbauhöhe und dem Verhältnis Antennendurchmesser zu Antennenlänge.

Wir können somit sagen, der Halbwellendipol hat einen Eingangswiderstand von 60 Ohm. Er wird im Strombauch gespeist und ist somit stromgekoppelt. Die Einspeisung hat symmetrisch zu erfolgen.

In Bild 2b ist die Verteilung von Strom und Spannung bei der Erregung in Oberwellen dargestellt. Beispiel a zeigt den Verlauf bei Erregung in der 2. Oberwelle. Wir haben also einen Ganzwellendipol vorliegen. Trennen wir diesen Ganzwellendipol in der Mitte auf, so ist es hier ebenfalls möglich entsprechend den vorliegenden Strom- und Spannungsverhältnissen einzuspeisen oder auszukoppeln.

Da an dieser Stelle eine hohe Spannung (Spannungsbauch) und ein niedriger Strom (Stromknoten) vorliegen ist der Speisewiderstand hoch. Bei normalen Verhältnissen liegt dieser Widerstand in der Größenordnung von einigen 100 bis 1000 Ohm.

Er ist ebenfalls abhängig von verschiedenen Umgebungseinflüssen wie Aufbauhöhe und dem Verhältnis Antennendurchmesser zu Antennenlänge.

Wir können somit sagen, der Ganzwellendipol hat einen Eingangswiderstand von ca. 600 Ohm. Er wird im Spannungsbauch gespeist und ist somit spannungsgekoppelt. Die Einspeisung hat symmetrisch zu erfolgen.

Wird der Dipol in der 3. Oberwelle erregt (Bild 2b Beispiel b), so liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Halbwellendipol. Es wird in der Mitte im Strombauch, also niederohmig eingespeist.

Wird eine Antenne nicht in der Grundwelle, sondern auf Oberwellen erregt, so ändert sich auch das Strahlungsdiagramm. In Bild 6 sind hierzu einige Beispiele aufgezeigt.

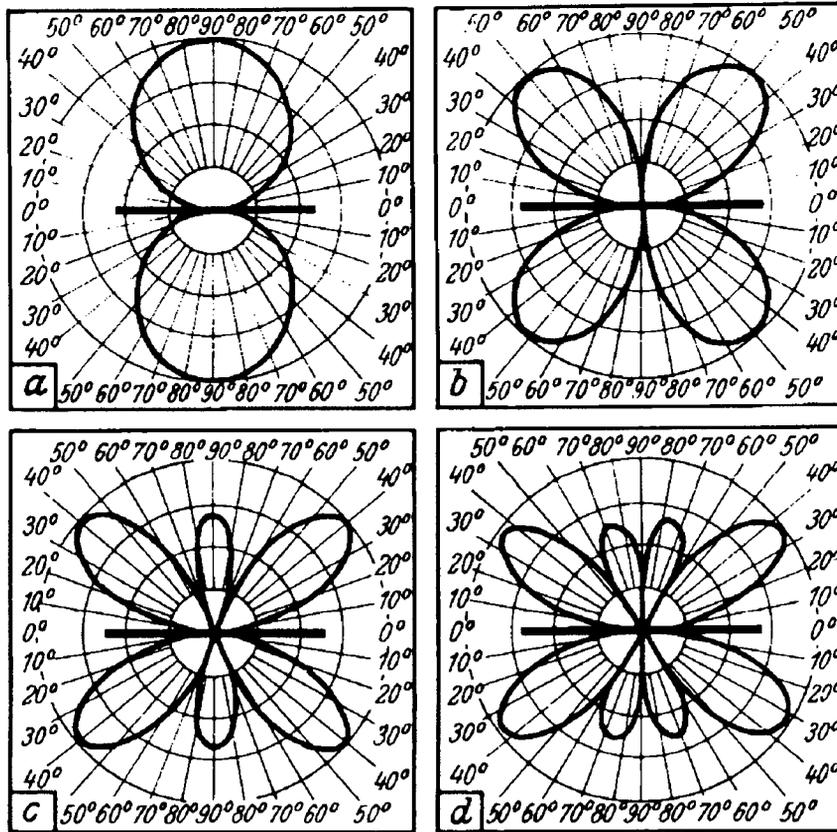
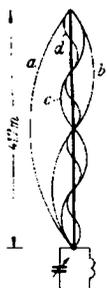


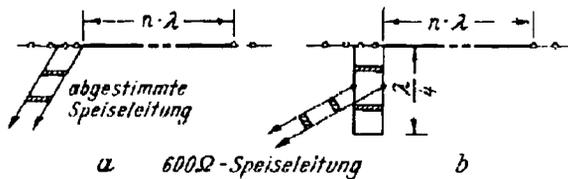
Bild 6 Horizontal-Strahlungsdiagramme von Horizontal-Antennen verschiedener Länge ($a = \lambda/2$ -Strahler, $b = \lambda$ -Strahler, $c = 1\frac{1}{2}\lambda$ -Strahler, $d = 2\lambda$ -Strahler)

Die Langdraht-Antenne

Antennen die in Harmonischen erregt werden, werden allgemein als Langdrahtantennen bezeichnet. Zu beachten ist hierbei prinzipiell,



Links: Bild 2-8. Stromverteilung einer 41,7 m langen Fuchs-Antenne bei Oberwellenerregung ($a = 80\text{-m-Band}$, $b = 40\text{-m-Band}$, $c = 20\text{-m-Band}$, $d = 10\text{-m-Band}$)



Speisung von Langdrahtantennen mit abgestimmter (a) oder angepaßter (b) Speiseleitung

Bild 7 Fuchs-Antenne Bild 8 Langdraht-Antennen

daß mit der Zahl der auf der Antenne befindlichen Halbwellen auch die Zahl der Keulen im Richtdiagramm ansteigt und deren Maximum immer mehr in Richtung der Antennenlängsachse wandert. Typische Vertreter der Langdrahtantennen sind u.A. die Fuchs-Antenne, sowie V-Antenne und Rhombus-Antenne.

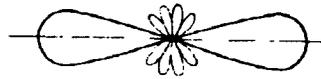


Bild 3-13. Links V-Antenne; oben: das Horizontal-Diagramm.

Auf obigen und nebenstehenden Bildern sind einige typische Vertreter von Langdrahtantennen dargestellt.

Bild 9 V-Antenne

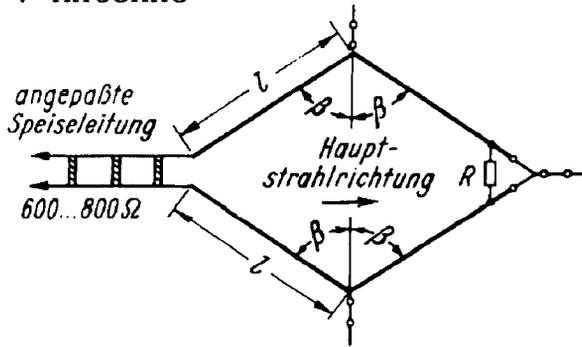


Bild 3-15. Rhombus-Antenne

Der vertikale Rundstrahler, die Marconi-Antenne, die Groundplane

Betrachtet man, wiederum ausgehend vom Dipol, die Marconi-Antenne, so fällt auf, daß sie einen halben Dipol darstellt, der gegenüber einer ebenen leitenden Fläche, dem Gegengewicht, erregt wird. Man kann sich hier die zweite Dipolhälfte als Spiegelbild an der leitenden Fläche vorstellen.

Aufgrund der vorliegenden Strom- und Spannungsverteilung stellen wir fest, daß der Eingangswiderstand niederohmig ist, die Marconi-Antenne ist stromgekoppelt und unsymmetrisch einzuspeisen. Der Eingangswiderstand liegt in der Größenordnung von ca. 36 Ohm.

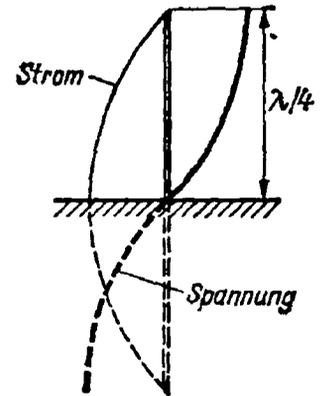


Bild 11 Marconi-Antenne

Das Horizontale Strahlungsdiagramm stellt einen Kreis dar, das vertikale Strahlungsdiagramm ist abhängig von der Leitfähigkeit des Gegengewichtes. Die Marconi-Antenne ist die Urform der für die Nachrichtenübertragung verwendeten Antennen.

Von ihr sind prinzipiell alle vertikalen Rundstrahler abgeleitet.

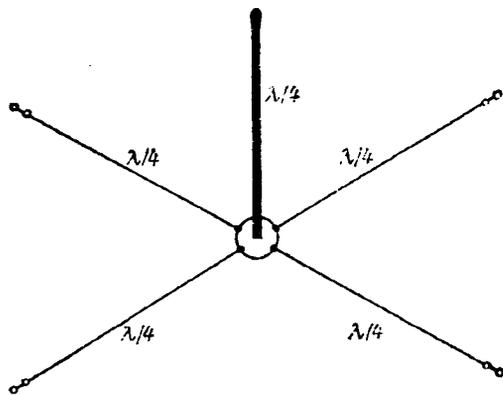


Bild 12 Groundplane-Antenne mit horizontalen Radials

Ersetzt man das flächige Gegengewicht durch Draht-radiale mit einer Länge von $\lambda/4$, so kommt man zur Groundplane-Antenne. Sie verhält sich ebenso wie eine Marconi-Antenne. Reduziert man die Anzahl der Radiale auf drei und neigt sie um 45 Grad nach unten, so steigt der Eingangswiderstand auf ca. 50 Ohm und diese Antenne kann direkt mit Koaxialkabel eingespeist werden

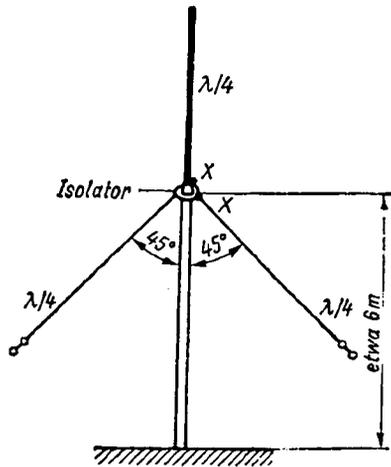


Bild 13a Triple-Leg-Antenne

Wegen ihrer unproblematischen Bauweise ist diese Antenne für fast alle Frequenzbereiche sehr beliebt. Durch das Absenken der Radiale ergibt sich nebenbei ein vertikaler Erhebungswinkel von ca. 6 bis 7 Grad. Dies ist ein für den DX-Verkehr günstiger Wert für den Erhebungswinkel des Vertikal-Diagrammes. Das Horizontal-Diagramm ist annähernd rund mit Einzügen in Richtung der Radiale.

Die verkürzte Groundplane

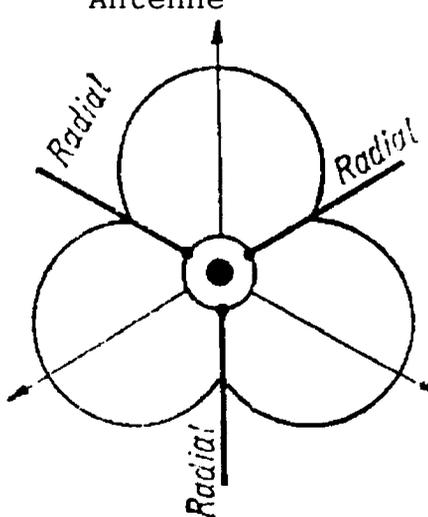


Bild 13b Horizontal-Diagramm der Triple-Leg-Antenne

Häufig ist es aus baulichen Gründen nicht möglich, die volle benötigte Vertikale Länge der Antenne zu errichten. Als extremes Beispiel möchte ich an eine Vertikalantenne für einen Langwellensender des Rundfunks anführen. Denken wir an eine Sendefrequenz von ca. 150 kHz, so müßte ein $\lambda/4$ -Strahler eine mechanische Länge von ca. 500 m haben! Bei diesen Abmessungen kann man sich leicht vorstellen, daß es notwendig ist, die mechanische Länge des Strahlers zu verkürzen, oder anders ausgedrückt, die Antenne elektrisch verlängern. Wenn wir uns an meine Herleitung des Dipols erinnern, so war auf dem Strahler eine Induktivität und am Ende eine Kondensatorplatte. Dies sind die Elemente, die wir für die elektrische Verlängerung des Vertikalstrahlers benötigen. In der

Regel wird eine der beiden Komponenten verwendet, es sind jedoch auch beide möglich.

Eine Kapazität am Strahlerende (Dachkapazität) wird durch das horizontale Ausspannen von Drähten oder flächigen Gebilden aus Draht erreicht. Im einfachsten Fall wird ein horizontal gespannter Draht am Ende (L-Antenne) oder in der Mitte (T-Antenne) mit dem

vertikalen Antennendraht verbunden. Auch wenn im Einzelfall die vertikale Bauhöhe kleiner als die horizontale Ausdehnung der Dachkapazität ist, so ist diese Antenne ein vertikal polarisierter Rundstrahler. Der Eingangswiderstand ist davon abhängig, wie stark die Antenne gegenüber der vollen Länge verkürzt wurde. Er ist kleiner als bei der Antenne voller Länge und kann bis auf wenige Ohm absinken. Die Einspeisung dieser Antenne ist unsymmetrisch. In der Praxis ist darauf zu achten, daß das Gegengewicht möglichst verlustarm ist, Beispielsweise durch Verwendung von großflächigen Maschengittern oder möglichst vielen Radialen. Je besser das Gegengewicht ist, desto kleiner sind die Verlustwiderstände.

Da der Eingangswiderstand einer Antenne eine Reihenschaltung von Strahlungswiderstand und Verlustwiderstand darstellt, ist es einleuchtend, daß das Verhältnis von Strahlungswiderstand zu Verlustwiderstand möglichst groß sein soll, denn nur die im Strahlungswiderstand umgesetzte Leistung wird abgestrahlt, der Rest wird im Verlustwiderstand in Wärme umgesetzt ("verbraten") und ist verloren!

Nachfolgend sind einige Beispiele für die elektrische Verlängerung einer Groundplane gezeigt.

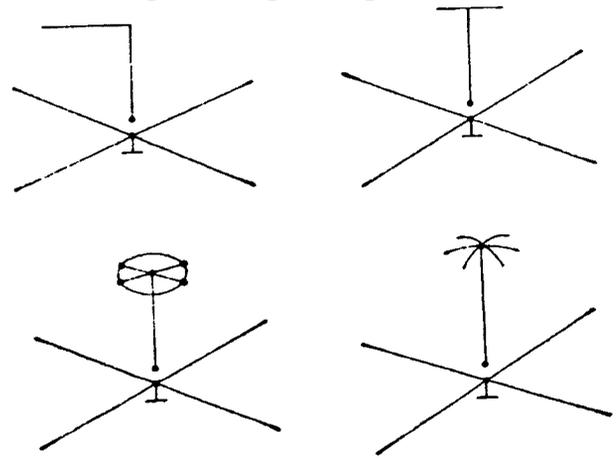


Bild 14a
Vertikalstrahler mit Dachkapazität

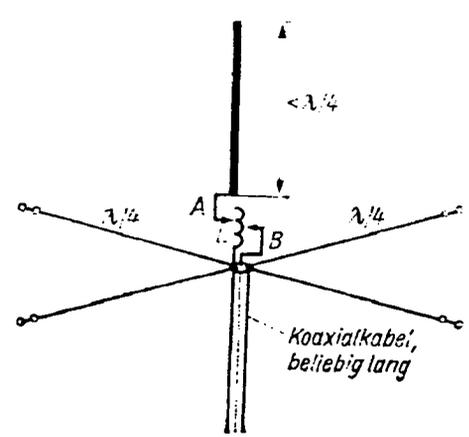


Bild 14b
Vertikalstrahler mit Verlängerungsspule

Verkürzung von zu langen Antennen

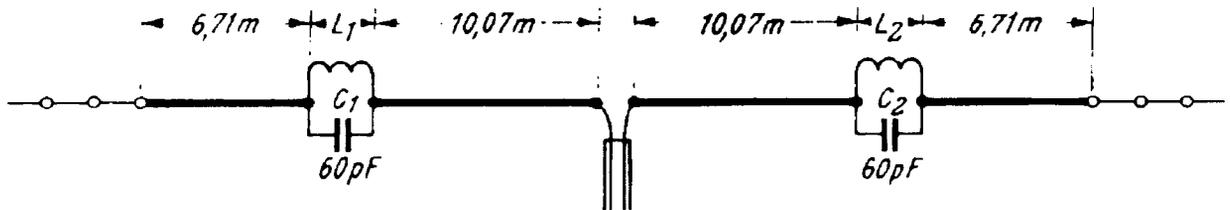
Ist eine Antenne länger als für die Betriebsfrequenz, so muß sie durch zusätzliche Bauteile elektrisch verkürzt werden. Im einfachsten Fall wird hierzu am Speisepunkt der Antenne eine Kapazität in Reihe geschaltet. Dies kann auch ein Schwingkreis sein, der oberhalb seiner Resonanzfrequenz betrieben wird und somit kapazitiv wirkt. Durch das kapazitive Verkürzen einer zu langen Antenne steigt deren Resonanzwiderstand an. Dies kann ein durchaus erwünschter Nebeneffekt sein, um einen gewünschten höheren Fußpunktswiderstand einer Antenne zu erreichen.

Antennen für mehrere Bänder

Wird eine Antenne durch konstruktive Maßnahmen für mehrere Bänder in Resonanz gebracht, so spricht man von Mehrbandantennen. Die wohl bekannteste Form einer Mehrbandantenne ist die

Sperrkreisantenne nach W3DZZ.

Sie besteht aus zwei 10,07 m langen Drähten, aus zwei Sperrkreisen mit einer Resonanzfrequenz von 7,05 MHz und zwei kürzeren Drähten von je 6,71 m. Wird der Dipol mit 7,05 MHz erregt, so befinden sich die inneren Dipolabschnitte in Halbwellenresonanz, die Sperrkreise trennen die äußeren Dipolabschnitte elektrisch ab.

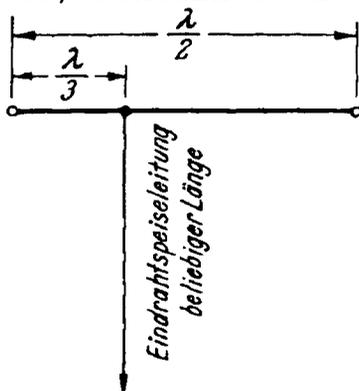


Wird der Dipol mit 3,5 MHz erregt, so werden die Sperrkreise unterhalb ihrer Resonanz betrieben und wirken als Induktivität. Die gesamte Antennenlänge wird dadurch elektrisch für 3,5 MHz verlängert. Für die hochfrequenten Amateurbänder betragen die Strahlerlängen ca. 1,5 Lambda für 20 m, 2,5 Lambda für 15 m und 3,5 Lambda für 10 m. Die Überlänge auf 20 m wird durch den kapazitiven Anteil der Sperrkreise weitgehend kompensiert. Der Speisewiderstand der W3DZZ ist niederohmig und symmetrisch.

Ein weiterer Vertreter der Mehrbandantennen ist die

Windom-Antenne für die Bänder 80m, 40m, 20m und 10m.

In ihrer Urform handelt es sich um einen Halbwellendipol für das 80 m-Band mit einer beliebig langen, angepaßten Eindraht-Speiseleitung. Bei dieser Antenne liegt der Speisepunkt nicht in der Mitte, sondern etwa 1/3 vom Ende entfernt. Die Speiseleitung

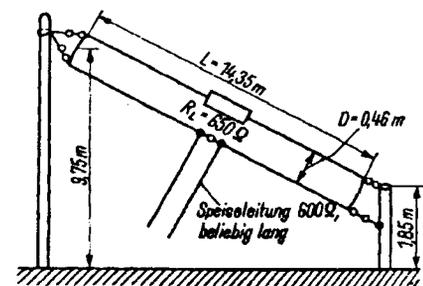


befindet sich dabei an einem Punkt, bei dem für alle Amateurbänder etwa gleiche Widerstandsverhältnisse herrschen. Die Speiseleitung ist aus einem dünneren Draht als der Dipol, sie muß möglichst frei und senkrecht nach unten hängen, für die Anpassung an das Funkgerät ist ein spezielles Anpaßgerät erforderlich. Aus heutiger Sicht ist die Verwendung dieser Antenne wegen der möglichen Störungen durch verschleppte Hochfrequenz nicht mehr zu empfehlen, ihre modernere Form mit Koaxkabelspeisung, die FD4, kann bei richtiger freier Aufhängung der Speiseleitung jedoch gute Resultate bringen.

Als weiterer Vertreter für Mehrbandantennen sei noch die

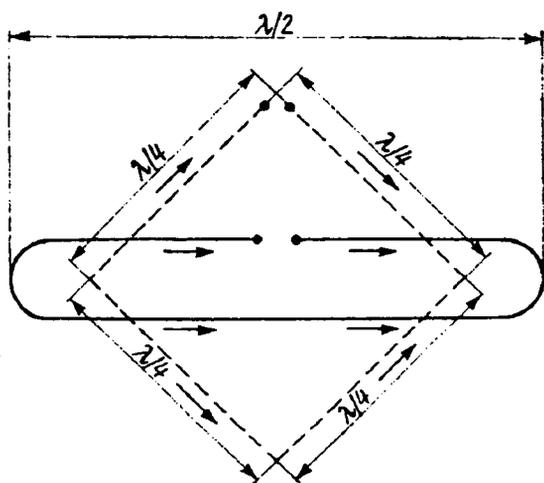
Breitbandantenne T2FD

genannt. Hier handelt es sich im Gegensatz zu den vorhergehenden Antennen nicht um ein Antennengebilde mit mehreren Resonanzfrequenzen, sondern um eine Breitbandantenne. Sie kann je nach Ausführung eine nutzbare Bandbreite von ca. 1:5 haben, d.h. ihre nutzbare Bandbreite geht beispielsweise von 7 MHz bis 21 MHz!

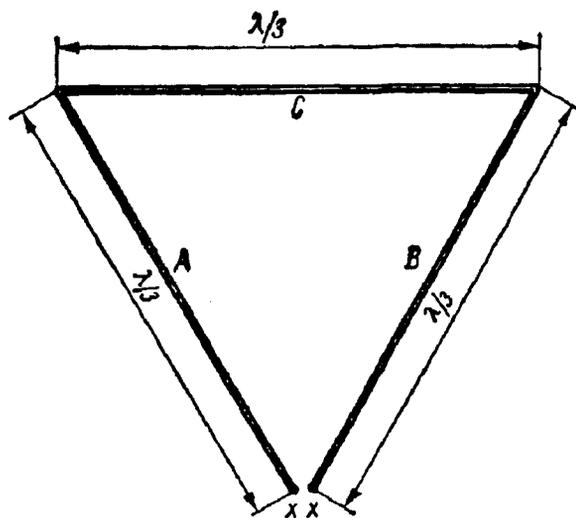


Schleifen-Antennen

Bei den Schleifen-Antennen wie der Quad-Schleife oder der Delta-Loop handelt es sich im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Antennen nicht um offene Dipole, sondern um geschlossene Leiterschleifen mit einem Umfang von etwas mehr als einer Wellenlänge. Gebräuchliche Formen der Schleife sind das Quadrat (Quad-Schleife) und das gleichseitige Dreieck (Delta-Loop), seltener ist der Kreisring (Ring-Loop). Der Eingangswiderstand der Schleifenelemente ist niederohmig (ca 50 - 100 Ohm) und symmetrisch.



Entwicklung eines Quad-Elementes aus einem Schleifendipol



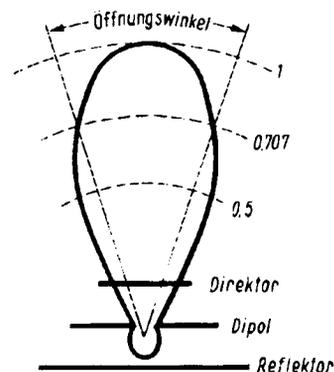
Die Delta-Loop

Richtantennen

Durch Hinzufügen von parasitären Elementen zum Dipol wird dieser zur Richtantenne erweitert. Unter parasitären Elementen versteht man Direktoren und Reflektoren.

Reflektoren sind etwa 5 % länger als der Strahler und befinden sich ca. 0,1 bis 0,25 Lambda hinter dem Strahler. Der Gewinn einer Zwei-Element-Antenne aus Strahler und Reflektor beträgt je nach Abstand ca 2 bis 4 dB. Direktoren sind ca 5 % kürzer als der Strahler und befinden sich ca. 0,1 bis 0,25 Lambda vor dem Strahler. Der Gewinn einer Zwei-Element-Antenne aus Strahler und Direktor beträgt je nach Abstand ca 2 bis 4,5 dB. Durch Hinzufügen von weiteren Direktoren und Reflektoren kann der Gewinn weiter gesteigert werden. Die Gewinnsteigerung basiert auf einer Bündelung im Antennendiagramm und wurde schon eingangs erwähnt (siehe zweite Seite, Gewinn, Strahlungsdiagramm, Halbwertsbreite, Vor/Rückverhältnis).

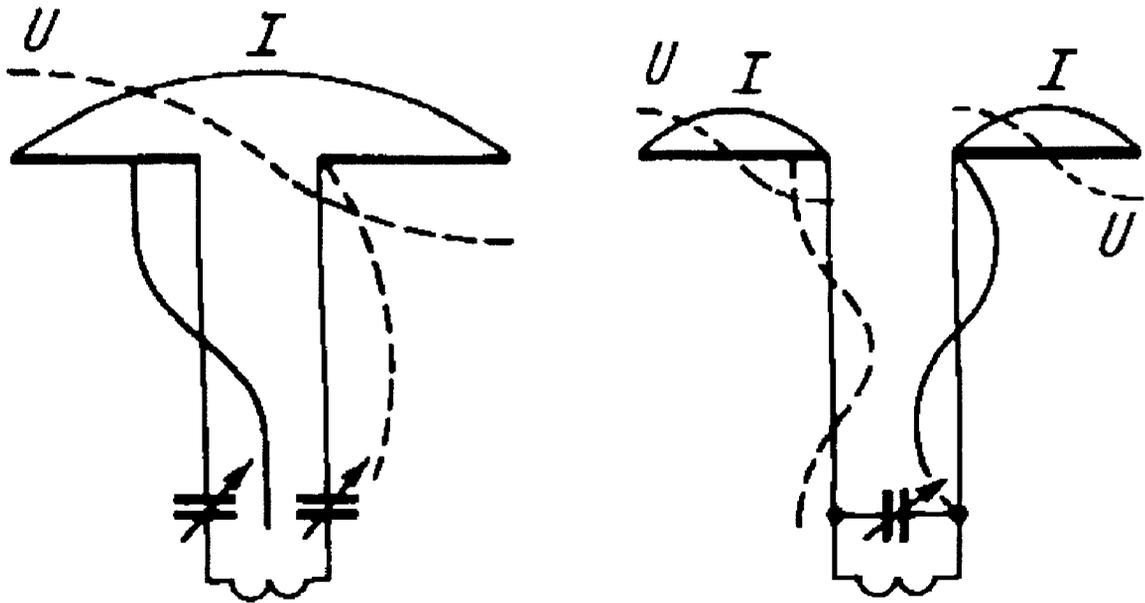
Richtantennen mit mehreren parasitären Elementen werden auch als Yagi-Antennen bezeichnet. Eine weitere Gewinnsteigerung von Yagi-Antennen ist durch Stockung erreichbar, d.h. es werden hierbei mehrere Antennen übereinander und auch nebeneinander angeordnet und gleichphasig eingespeist.



Abgestimmte und unabgestimmte Speiseleitungen

Für den Energietransport zwischen Antenne und Sender/Empfänger wird eine nicht strahlende Verbindung, eine Speiseleitung benötigt. Die einfachste Art der Speiseleitung ist die **Eindrahtspeiseleitung**. Sie besteht aus einem zwischen dem Sendertankkreis und der Antenne gespannten Draht. Dieser dient der Hinleitung der HF-Energie. Die Rückleitung erfolgt über die Antennen-Erdkapazität und über die Erde. Zu den Nachteilen gehört außer der Strahlung auch noch eine starke Empfindlichkeit gegenüber kapazitiver Beeinflussung. Weiterhin können sich bei ungenauer Anpassung stehende Wellen ausbilden. Daher soll hier auch nicht weiter auf diese Energieleitung eingegangen werden.

Im allgemeinen bevorzugt man **Doppel-Speiseleitungen**, von denen das **Lechersche Paralleldrahtsystem** der gebräuchlichste Vertreter ist. Ein Draht dient für die Hinführung der Energie, der andere für die Rückführung. Auch bei nicht vollkommener Anpassung ergeben sich geringe Strahlungsverluste wenn das Antennensystem symmetrisch ausgeführt ist. Die Länge der **abgestimmten Doppelleitung** muß $1/4$ Lambda oder ein Vielfaches davon sein, damit sich stehende Wellen ausbilden können und reine Kopplungsverhältnisse gewährleistet sind. Die Länge der abgestimmten Doppelleitung ist von der Wellenlänge, und damit von der Betriebsfrequenz abhängig.



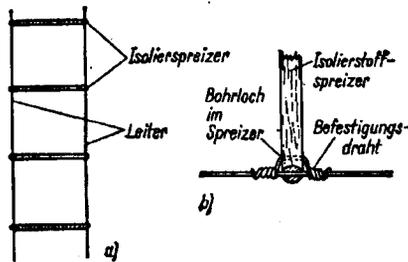
stromgekoppelter Halbwellendipol,

spannunggekoppelter Vollwellendipol

Wird zwischen Sender/Empfänger eine an den Wellenwiderstand angepaßte Leitung verwendet, so spricht man von einer **unabgestimmten Speiseleitung**. Diese ist praktisch strahlungsfrei und weist an allen Punkten der Doppelleitung gleiche Strom- und Spannungswerte auf. Sie können innerhalb gewisser Minimal- und Maximalwerte beliebig lang ausgeführt werden, so daß räumliche Schwierigkeiten beim Anschluß des Senders an die Antenne entfallen.

Anhand der Bauform wird zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Leitungen unterschieden. Typische Vertreter von **symmetrischen Leitungen** sind die Hühnerleiter und die Flachbandleitung.

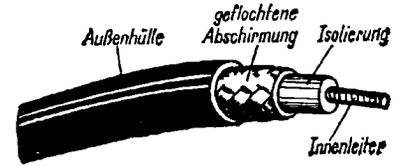
Die Hühnerleiter ist eine Zweidrahtleitung in offener Bauweise. Bei ihr wird der Abstand zwischen den Leitungen nur durch schmale Isolierstoffstege gehalten. Bei der Flachbandleitung sind die beiden Leiter in eine Kunststoffschicht eingebettet. Die *unsymmetrische Leitung* wird durch den konzentrischen Aufbau von Hin- und Rückleitung gebildet (Koaxialer Aufbau, Koaxialkabel). Die unsymmetrische Leitung ist wegen ihrer abgeschirmten Bauweise unkritisch in Bezug auf die Verlegung.



Hühnerleiter



Flachbandleitung
Schlauchkabel

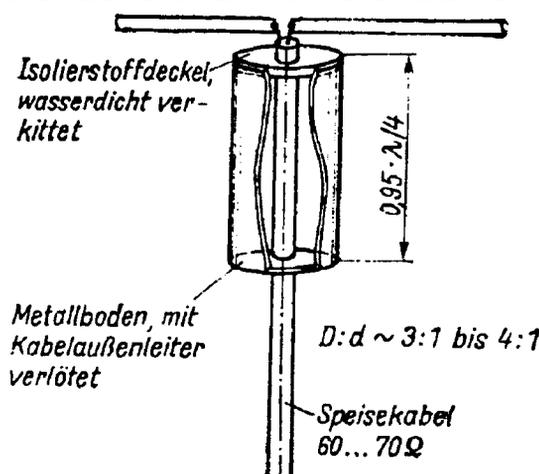


Koaxialkabel

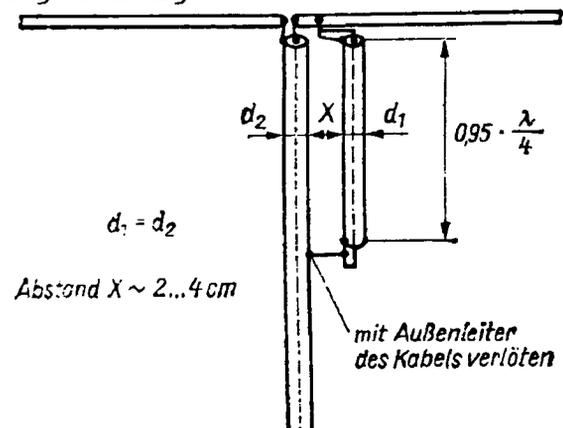
Symmetrierglieder, Balun

Beim Anschluß von unsymmetrischen Kabeln an symmetrische Antennen oder beim Anschluß von symmetrischen Kabeln an den unsymmetrischen Antenneneingang des Funkgerätes werden Symmetrierglieder benötigt. Sie sollen allgemein den einwandfreien Übergang zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Gebilden herstellen. Beim Anschluß von symmetrischen Antennen an unsymmetrische Kabel dienen sie außerdem zum Vermeiden von Mantelwellen. Wir kennen folgende grundlegenden Arten von Symmetriergliedern: den unsymmetrischen Sperrtopf, den Breitbandsymmetrierübertrager und die Lambda/2 Umwegleitung.

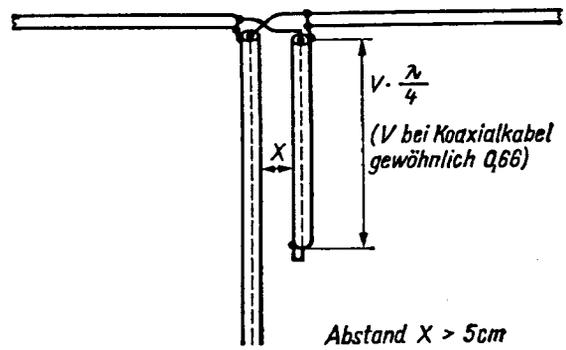
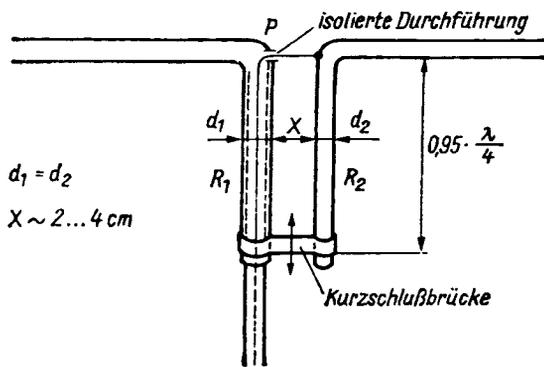
Der unsymmetrische Sperrtopf hat eine Länge von $\lambda/4$ und hat je nach Ausführung unterschiedliche Bezeichnungen: Viertelwellensperrtopf, Pawsey-Symmetrierglied, EMI-Schleife, Viertelwellensymmetrierstub. Es wird hierbei in der Regel keine Widerstandstransformation durchgeführt. Wie die Bilder zeigen wird er aus Rohrelementen oder Kabelstücken gefertigt.



Der Viertelwellensperrtopf



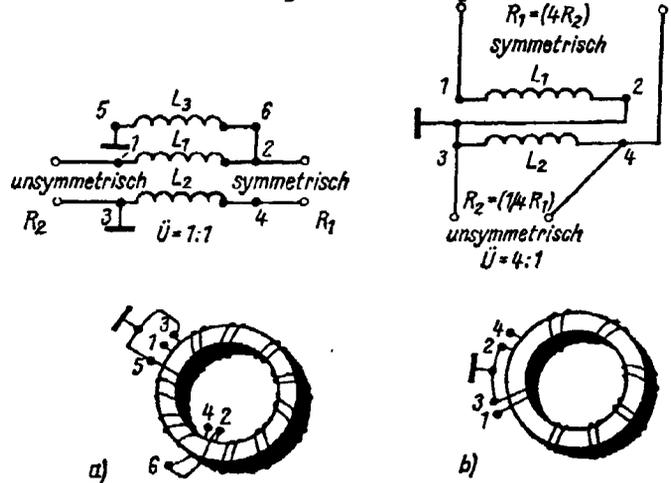
Das Pawsey-Symmetrierglied



Die EMI-Schleife

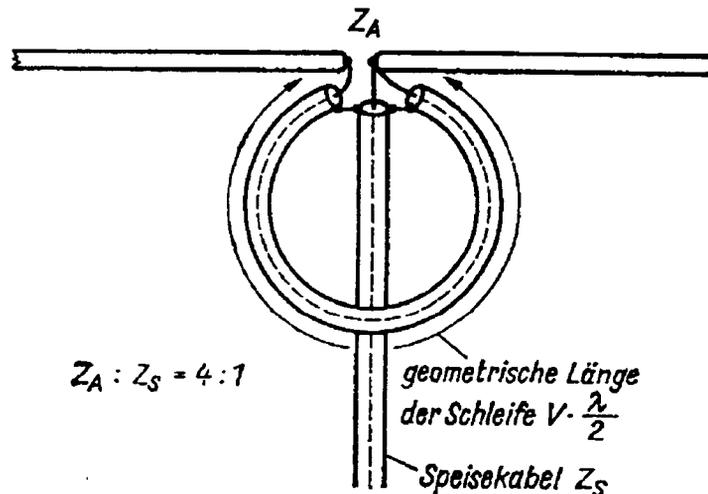
Der Viertelwellensymmetriestub

Der Breitbandsymmetrierübertrager wird in der Regel aus Spulen gefertigt, die über einen Ferritkern gewickelt werden. Hierbei kann auch eine Widerstandstransformation durchgeführt werden. Im Gegensatz zum vorgenannten Sperrtopf, der für eine bestimmte Frequenz bemessen ist, ist mit dem Symmetrierübertrager ein weiter Frequenzbereich zu überstreichen. Der Breitbandsymmetrierübertrager wird auch als BALUN bezeichnet.



Der Ringkern-Balun-Breitbandübertrager
a) für Übersetzung 1:1
b) für Übersetzung 4:1

Die Lambda/2 Umwegleitung wird wieder aus Kabel gefertigt und stellt sowohl ein Symmetrierglied als auch eine Widerstandstransformation im Verhältniss 1:4 dar. Sie wird in der Regel aus dem gleichen Koaxialkabel wie die Speiseleitung gefertigt und hat die elektrische Länge eine halben Wellenlänge. Sie kann, ebenso wie der Sperrtopf, nur für einen bestimmten Frequenzbereich verwendet werden.



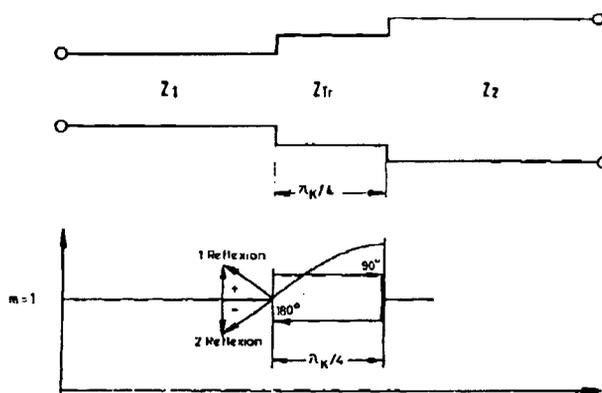
Die Lambda/2 Umwegleitung wird auch als Lambda/2-BALUN bezeichnet.

Widerstandstransformation

Um unterschiedliche Wellenwiderstände untereinander zusammenschalten zu können ist es für eine möglichst gute Anpassung und damit möglichst verlustarme Leistungsübertragung nötig, eine Widerstandstransformation oder Widerstandsanpassung durchzuführen. Als einfaches Beispiel sei hier der Anschluß einer Groundplane mit ca. 36 Ohm Fußpunkt-widerstand an ein Koaxialkabel mit 50 Ohm oder der Anschluß einer hochohmigen symmetrischen Antenne von ca 600 Ohm an eine niederohmige symmetrische Leitung mit 240 Ohm genannt. Werden diese direkt miteinander verbunden, so liegt eine Fehlanpassung vor. Dies führt wegen Reflexion an den Stoßstellen zu einer Verminderung der übertragenen Leistung. Eine Möglichkeit der Anpassung ist die Transformation mit einem Viertelwellen-Transformationsglied aus Leitungsstücken von $\lambda/4$ Wellenlänge.

$$Z_{Tr} = \sqrt{Z_1 * Z_2}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{Tr}^2}{Z_1}$$



Prinzipisches Schema eines $\lambda/4$ -Transformators sowie Darstellung zur Erläuterung der Wirkungsweise

Für unser erstes Beispiel benötigen wir eine Transformationsleitung von ca. 42 Ohm, für das zweite Beispiel eine Leitung von ca. 380 Ohm. Zur Vollständigkeit sei gesagt, daß diese Transformation in jede Richtung funktioniert, Eingang und Ausgang können gegeneinander vertauscht werden.

Beispiel für die Praxis:

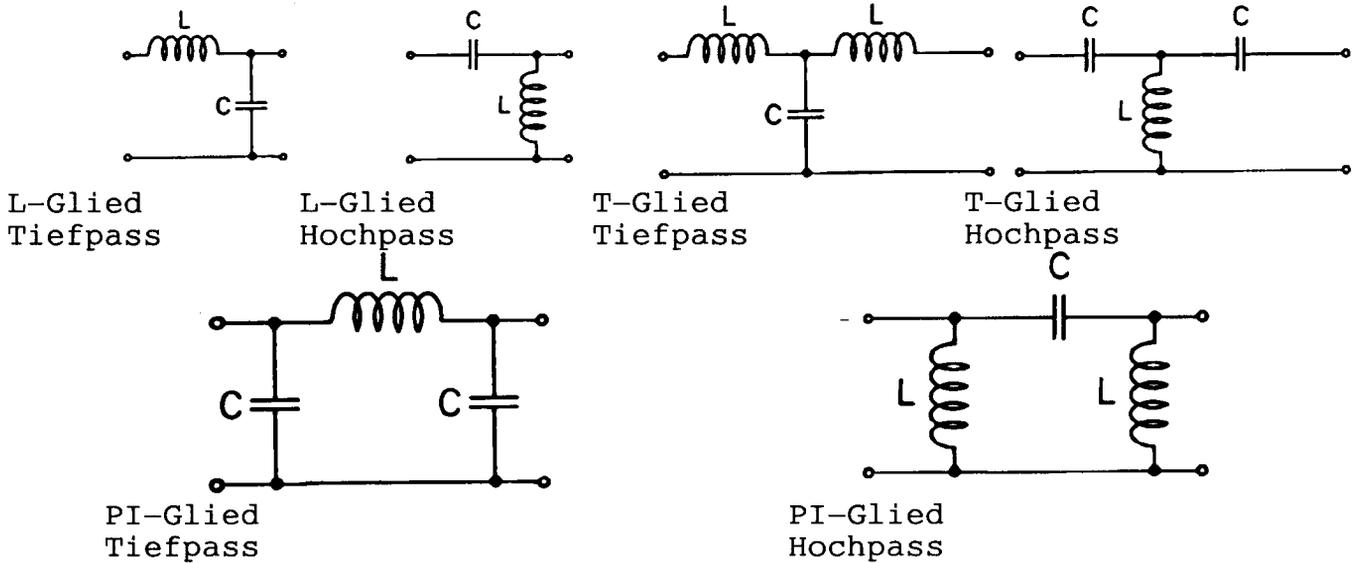
Es lassen sich, ausgehend von $Z_1 = 50$ Ohm, folgende Wellenwiderstände unter Verwendung von handelsüblichen Kabeln erreichen:

Z_2 (Ohm)	Z_{Tr} (Ohm)	Verwendetes Kabel
180	95	RG7, RG57, RG62
112,5	75	RG11, RG6, RG59
72	60	z.B. älteres TV-Kabel
45	47,5	2 x 95 Ohm parallel
24,5	35	2 x 75 Ohm parallel
18	30	2 x 60 Ohm parallel
12,5	25	2 x 50 Ohm parallel

Weitere Transformationsglieder können auch mit der schon erwähnten Umwegleitung und dem Breitbandsymmetrierübertrager realisiert werden.

Eine andere Art ist die Verwendung von konzentrierten Schaltelementen, d.h. die Verwendung von Spulen und Kondensatoren

in L-Schaltung, T-Schaltung, PI-Schaltung und Brückenschaltung. Je nach Auslegung der Bauteile kann es sich dabei um Hochpässe oder Tiefpässe mit Transformationseigenschaften handeln.



Da die Berechnung dieser Transformationsglieder ein umfangreiches Gebiet ist, sind an dieser Stelle nur die Schaltungen gezeigt. Für die Dimensionierung gibt es in der einschlägigen Fachliteratur (z.B. Rothammel) ausführliche Hinweise.

Anpassung, Stehwellenverhältniss

Wie schon vorher angedeutet ist es für die Anpassung von Schaltgliedern untereinander wichtig, daß sie gleiche Ein- und Ausgangswiderstände aufweisen. Ist z.B. ein Sender mit einer Ausgangsimpedanz von 50 Ohm über ein Koaxkabel mit einem Wellenwiderstand von 50 Ohm mit einer Antenne mit einem Fußpunktwiderstand von 50 Ohm verbunden, so liegt eine vollständige Anpassung an allen Verbindungsstellen vor. Weicht ein Teil von diesem Wert ab, so liegt eine Fehlanpassung vor. An der Verbindungsstelle zwischen diesen beiden nicht zusammenfassenden Teilen befindet sich eine Stoßstelle, es wird ein Teil der zu übertragenden Leistung reflektiert. Die Größe der Fehlanpassung ist das Verhältniss der unterschiedlichen Wellenwiderstände, allgemein gesagt der unterschiedlichen Impedanzen. Durch die Reflexion treten auf der Leitung stehende Wellen auf, und aus dem Betrag der vorlaufenden und reflektierten Energie wird das Stehwellenverhältniss (**SWR = Standing-Wave-Ratio**) berechnet. Die Extremwerte für das Stehwellenverhältniss treten bei Kurzschluß und bei Leerlauf am Leitungsende auf, d.h. hier wird die gesamte Leistung an der Stoßstelle reflektiert.

Die Formel für die Berechnung lautet wie folgt:

$$SWR = \frac{U_V + U_R}{U_V - U_R}$$

wobei U_V die Spannung der Vorlaufenden Welle und U_R die Spannung der rücklaufenden Welle ist. Liegt eine komplette Anpassung vor, so wird keine Leistung reflektiert und $U_R = 0$. Mit der genannten Formel wird das $SWR = 1$ berechnet. Tritt eine totale Reflexion auf (Leerlauf oder Kurzschluß), so ist $U_V = U_R$. Das SWR ist in diesem Fall ∞ .

Weitere Größen sind die Welligkeit auf der Leitung, sie wird durch den *Welligkeitsfaktor s* ausgedrückt, sowie der *Anpassungsfaktor m*.

$s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$ wobei U_{\max} und U_{\min} die maximale und minimale Spannung der stehenden Welle auf der Leitung sind (Überlagerung durch die Reflexion). s ist immer ≥ 1 , m ist immer ≤ 1

$m = 1/s$

Anhang

Literaturhinweise:

Im vorliegenden Scriptum wurden auch Stellen aus folgenden Büchern und Schriften zitiert:

Antennenbuch, Karl Rothammel Y21BK, Militärverlag der DDR, 10. Ausgabe 1984

KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen, Werner W. Diefenbach/Walter Geyrhalter, RPB Franzis-Verlag, 10. Ausgabe 1976

Fernsehempfang im UHF-Bereich, Ing. F. Möhring, Werbeabteilung der Firma Loewe Opta, 2. Auflage

The Radio Amateur's Handbook, ARRL, 55. Ausgabe 1978

Eine kommerzielle Verwertung des Scriptum ist ohne vorherige Genehmigung der Autoren/des Verfassers nicht gestattet.

Wellenlänge $\lambda = c / f$