

Die Hauptunterschiede der UKW-Antenne zur normalen Rundfunkantenne sind folgende:

1. Die UKW-Antenne wird durch die entsprechende Bemessung ihrer Länge auf die Mitte des Empfangsfrequenzbereiches abgestimmt. Sie nimmt infolge ihrer geringen räumlichen Ausdehnung wenig langwellige Störungen auf.

2. Man kann der Antenne durch geeignete Dimensionierung eine bestimmte Richtcharakteristik erteilen und die Empfangsempfindlichkeit für Signale aus dieser Richtung erhöhen. Aus Gründen der infolge des Eigenrauschens der Röhren begrenzten Empfängerempfindlichkeit kann dies die einzige Möglichkeit sein, einen entfernten Sender noch zu empfangen.

3. Die Übertragung der Energie von der Antenne zum Empfänger soll möglichst verlustfrei vor sich gehen. Es werden daher spezielle Übertragungsleitungen verwendet, die außerdem weder strahlen noch wesentliche Beträge von Stör-energie aufnehmen können. Verwendung finden Flachkabel (d. s. in geringem Abstand parallel geführte Drähte in Isoliermaterial eingebettet), konzentrische Kabel und zweidrahtige, abgeschirmte Kabel. An Stelle von Flachkabel kann behelfsmäßig verdrehte Gummiaderleitung verwendet werden (Wellenwiderstand beachten, ca. 90Ω).

Die Länge des Kabels beträgt normalerweise ein Vielfaches der Wellenlänge; das Kabel muß also beiderseits mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen sein, damit keine stehenden Wellen auftreten. Widerstand der Antenne im Speisepunkt, Wellenwiderstand des Kabels und Eingangswiderstand des Empfängers müssen also übereinstimmen oder durch Transformation gleich gemacht werden.

Dipolantennen

Die abgestimmte Dipolantenne ist ein offener Schwingungskreis mit über die Antennenlänge verteilter Kapazität und Induktivität sowie ohmschem Verlustwiderstand. Strom- und Spannungsverteilung sind ähnlich wie bei der Lecherleitung.

Die Resonanzlänge beträgt $\frac{\lambda}{2}$ oder das Vielfache davon. Meist gebräuchlich sind Längen von $\frac{\lambda}{2}$ und λ . Als UKW-Rundfunkantenne wird praktisch nur der $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol („Halbwelldipol“) verwendet.

Gestreckter Dipol

- l = Länge einer Dipolhälfte
- s = Abstand zwischen den Dipolhälften
- d = Drahtstärke der Dipoldrähte.

Resonanzlänge

Die genaue Resonanzlänge ist abhängig vom Verhältnis der Wellenlänge zum Drahtdurchmesser d des Dipols. In der Praxis muß die Länge wegen der kapazitiven Beeinflussung der Antenne durch Halteisolatoren usw. noch einige Prozent geringer bemessen werden.

Tabelle 1

$\frac{\lambda}{d}$	Halbwelldipol	Ganzwelldipol
	2l für Resonanz =	2l für Resonanz =
100	—	0,870 λ
200	0,471 λ	0,896 λ
400	0,475 λ	0,916 λ
1 000	0,479 λ	0,937 λ
2 000	—	0,945 λ
4 000	0,484 λ	0,951 λ
10 000	0,486 λ	0,958 λ
100 000	0,489 λ	0,967 λ

Diese Werte sind unabhängig von s.

Faustformel zur Bemessung von $\frac{\lambda}{2}$ -Dipolen

a) für Frequenzen höher als 30 MHz

$$2l = \frac{143}{f(\text{MHz})} \text{ (m)}$$

b) für Frequenzen höher als 55 MHz

$$2l = \frac{141}{f(\text{MHz})} \text{ (m)}$$

Bild 1. Gestreckter Dipol (Abmessungen)

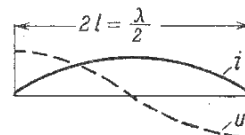
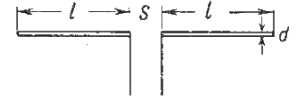


Bild 2. Strom- und Spannungsverteilung auf einem $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol

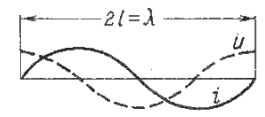


Bild 3. Strom- und Spannungsverteilung auf einem λ-Dipol

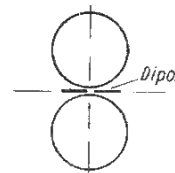


Bild 4. Richtcharakteristik (in horizontaler Ebene) eines $\frac{\lambda}{2}$ -Dipoles

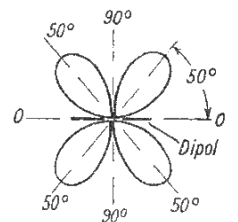


Bild 5. Richtcharakteristik eines λ-Dipoles

Wie aus den in Bild 4 und 5 gezeigten Richtdiagrammen hervorgeht, ist Empfang aus zwei entgegengesetzten Hauptrichtungen möglich. Die Maxima liegen jedoch breit, so daß die Schwächung von Sendern, die nicht genau in 90° zur Dipolachse liegen, nicht groß ist. Die Minima in Richtung der Dipolachse sind scharf ausgeprägt und tief. (Möglichkeit zur Ausblendung von naheliegenden Störsendern großer Feldstärke).

Scheinwiderstand der Antenne. Widerstand im Speisepunkt

Der Antennenwiderstand ist im Resonanzfalle ohmsch. Die Größe des Resonanzwiderstandes ist u. a. auch abhängig von der Stelle auf der Antenne, an der er gemessen wird. Für den Anschluß des Kabels interessiert der Widerstand der Antenne im Anschlußpunkt (Speisepunkt).

Der Speisepunkt liegt gewöhnlich in der Dipolmitte bei der $\frac{\lambda}{2}$ -Antenne; hier ist der Widerstand am geringsten. Bei der λ-Antenne hat der Widerstand in der Mitte ein Maximum.

Der geringste Widerstand tritt in $\frac{\lambda}{4}$ -Abstand von den Enden der Antenne auf. Siehe auch hierzu die Strom/Spannungsdiagramme Bild 2 und 3.

Abhängigkeit des Widerstandes vom Mittenabstand s

Beim $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol ist der Resonanzwiderstand nicht wesentlich

vom Mittenabstand s abhängig. Er nimmt mit s etwas zu. Richtwert: Wenn s von 1 cm auf 20 cm vergrößert wird, nimmt der Widerstand um etwa 10 % zu. Für den Ganzwellendipol liegen keine Meßergebnisse vor.

Abhängigkeit des Widerstandes vom Drahtdurchmesser der Antenne

Beim $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol ist der Widerstand vom Drahtdurchmesser nur wenig abhängig, beim Ganzwellendipol nimmt der Resonanzwiderstand mit größer werdendem Drahtdurchmesser ab.

Tabelle 2

Resonanzwiderstand von $\frac{\lambda}{2}$ und λ -Dipolen in der Mitte (Speisepunkt)

$\frac{\lambda}{d}$	Halbwellendipol	Ganzwellendipol
	Resonanzwiderstand Ω	Resonanzwiderstand Ω
100	—	900
200	61,6	1300
400	63,6	1700
1000	65,3	2400
2000	—	3000
4000	67,2	3600
10000	68,1	4600
100000	69,2	8000

Bandbreite der Dipolantenne

Bei Verstimmung der Antenne, d.h. bei Veränderung der Antennenlänge für gleichbleibende Frequenz oder bei Frequenzänderung bei gleichbleibender Antennenlänge, tritt zum ohmschen Widerstand der Antenne eine Blindkomponente hinzu, und die Größe der ohmschen Komponente verändert sich.

- Wenn Antennenlänge > Resonanzlänge, oder Frequenz > Resonanzfrequenz } Blindkomponente induktiv
- Wenn Antennenlänge < Resonanzlänge, oder Frequenz < Resonanzfrequenz } Blindkomponente kapazitiv

Die prozentuale Änderung der ohmschen Komponente ist viel geringer als die prozentuale Änderung der Blindkomponente. Die Änderung der Blindkomponente bei Verstimmung ist um so größer, je dünner der Draht im Verhältnis zur Wellenlänge ist.

Regel für die Änderung der ohmschen Komponente

Für alle Werte von $\frac{\lambda}{d} > 200$ steigt die ohmsche Komponente des Antennenwiderstandes eines Halbwellendipols um jeweils etwa 2,5 Ω bei 1 % Zunahme der Frequenz oder Dipollänge.

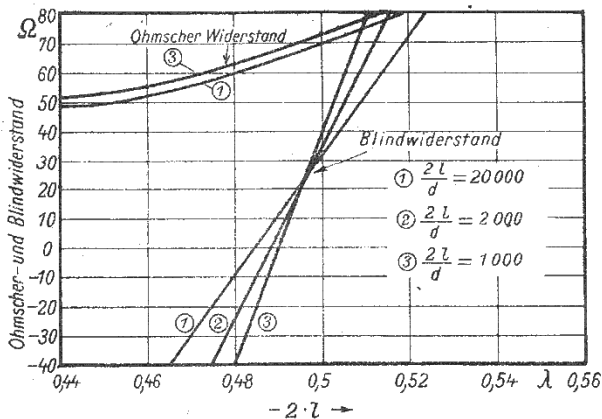


Bild 6. Änderung von ohmschem Widerstand und Blindwiderstand bei Verstimmung der Antenne. Relativer Drahtdurchmesser als Parameter

Regel für die Änderung der Blindkomponente
Die Blindkomponente verändert sich bei 1 % Frequenz- oder Längenzunahme um jeweils den Betrag $\frac{\pi Z}{200} \Omega$ (Z = Wellenwiderstand, s. FTA, Sk 81).

Bei Schwingungskreisen ist die Bandbreite von der Kreisgüte Q abhängig. $\Delta f = \frac{f_{res}}{Q}$. Diese Definition ist auch unter meist gegebenen Voraussetzungen ($Q \geq 5$) für Dipolantennen anwendbar.

Q von Halbwellendipolen $Q_{\frac{\lambda}{2}} = 1,3 \left[\ln \left(\frac{\lambda}{d} \right) - 1 \right]$

Q von Ganzwellendipolen $Q_{\lambda} = 0,95 \left[\ln \left(\frac{4\lambda}{d} \right) - 1 \right]$

Tabelle 3. Q von $\frac{\lambda}{2}$ und λ -Dipolen

$\frac{\lambda}{d}$	$Q_{\frac{\lambda}{2}}$	Q_{λ}	daraus Bandbreite in MHz für $f_{res} = 100$ MHz	
			bei $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol	bei λ -Dipol
25	2,9	2,7	34,5	37
50	3,8	3,4	26,4	29,4
250	5,8	5,0	17,2	20
500	6,6	5,6	15,2	17,9
2500	8,8	7,2	11,4	13,9
5000	9,6	7,8	10,4	12,8
25000	11,7	9,5	8,5	10,5
50000	12,7	10,1	7,9	9,9

Anschluß von konzentrischem Kabel an Dipole (Symmetrierleitungen)

Wird die symmetrische Dipolantenne an ein konzentrisches Kabel angeschlossen, so ist der Außenleiter nicht stromfrei. Das kann zu erhöhten Verlusten führen, wenn das Kabel direkt auf dem Mauerwerk oder in kleinem Abstand von ihm verlegt wird. Man schaltet daher besser zwischen Antenne und Kabel Symmetrierglieder, die einen Übergang von der symmetrischen Antenne auf das unsymmetrische Kabel ermöglichen. In den Anordnungen Bild 7 und Bild 8 werden dafür $\frac{\lambda}{4}$ -Leitungsstücke verwendet, und zwar wird in Bild 7 eine Zweidraht-Leitung mit Hilfe eines Stückes Kabelmantel (Innenleiter mit Außenleiter verbunden oder ganz entfernt)

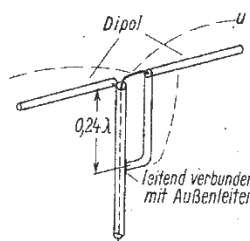


Bild 7. Symmetrierleitung, gebildet aus einem zusätzlichen Stück Kabelmantel

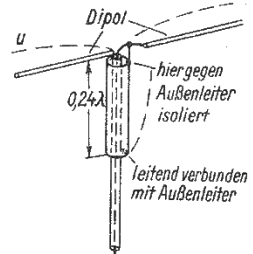


Bild 8. Konzentrische Symmetrierleitung, gebildet aus dem Kabelmantel und einer übergeschobenen Hülse größeren Durchmessers

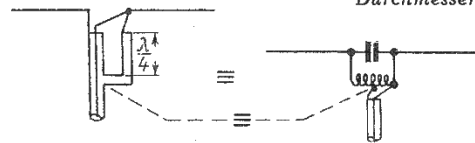


Bild 9. Ersatzschema für eine Symmetrierleitung

gebildet, in Bild 8 wird eine konzentrische $\frac{\lambda}{4}$ -Leitung durch ein Rohr mit größerem Durchmesser hergestellt. Aus den schematischen Bildern mit der eingezeichneten Spannungsverteilung ist ersichtlich, daß der Kabelmantel des Ableitkabels im Spannungsknoten der $\frac{\lambda}{4}$ -Leitung angeschlossen ist. Die Wirkungsweise wird noch klarer aus der Ersatzschaltung Bild 9 ersichtlich, in dem die $\frac{\lambda}{4}$ -Symmetrierleitung durch einen in der Mitte angezapften LC-Kreis ersetzt ist.

Durch Anwendung einer solchen Symmetrierleitung wird der Frequenzbereich der Antenne eingengt, da die Leitung nicht sehr breitbandig ist.

Gefalteter Dipol

Der gefaltete Dipol hat dasselbe Strahlungsdiagramm wie der gestreckte Dipol; er gestattet jedoch die Erzielung eines höheren Widerstandes im Speisepunkt und er ist etwas breitbandiger. Daher wird er als UKW-Empfangsantenne sehr häufig eingesetzt.

Entwicklung des gefalteten Dipols aus dem gestreckten

(siehe Bild 10). Der Dipol (DC) hat die Länge $\frac{\lambda}{2}$. Wenn wir das Stück BCE (oder ADE) als Übertragungsleitung auffassen, so hat der Strom (Richtung durch Pfeile gekennzeichnet) in E die gleiche Stärke wie in B, ist jedoch um 180° phasenverschoben (vgl. Pfeilrichtung in B und E, wenn man auf der Linie BCE entlangfährt). Da aber der Punkt E zurückgebogen (zurückgefaltet) ist, haben von B aus gesehen die Pfeile (die Ströme in den beiden Leitern) die gleiche Richtung. Der gefaltete Dipol besteht so aus zwei $\frac{\lambda}{2}$ -Strahlern, die parallelgeschaltet sind und von denen nur der eine gespeist wird.

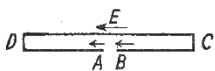


Bild 10. Gefalteter Dipol mit eingezeichneten Stromrichtungspfeilen

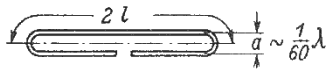


Bild 11. Gefalteter Dipol (Abmessungen)

Abmessungen, Resonanzlänge

Bild 11: Abstand der Leiter $a \sim \frac{1}{60} \lambda$

$$\text{Länge } 2l \text{ für Frequenzen höher als 30 MHz} = \frac{143}{f_{\text{MHz}}} \text{ (m)}$$

$$\text{Länge } 2l \text{ für Frequenzen höher als 55 MHz} = \frac{141}{f_{\text{MHz}}} \text{ (m)}$$

Strom- und Spannungs-
verteilung } über das ganze Antennensystem
Richtcharakteristik } gesehen wie beim gestreckten Dipol.

Resonanzwiderstand im Anschlußpunkt des Kabels

Der gefaltete Dipol besteht aus zwei parallelgeschalteten Strahlern; das Richtdiagramm ist das gleiche wie beim gestreckten Dipol, folglich wird die gleiche Leistung abgestrahlt, wenn der Strom gleich ist. Der Strom wird beim gefalteten Dipol in zwei Bahnen aufgeteilt, wobei im Anschlußpunkt nur der halbe Strom auftritt. Daraus ergibt sich der Widerstand im Anschlußpunkt zu

$$N = \left(\frac{i}{2}\right)^2 R_F; N = i^2 R_D; \left(\frac{i}{2}\right)^2 R_F = i^2 R_D; R_F = 4 R_D$$

(Index F: Faltdipol; Index D: gestreckter Dipol.)

Bei gleichen Leiterstärken d hat der gefaltete Dipol also den vierfachen Widerstand im Speisepunkt wie der gestreckte, das sind ca. 280Ω .

Bei verschiedener Leiterstärke des Anschlußteiles d_a und des freien Teiles d_f

fließt in dem stärkeren Teil der stärkere Strom; ist der dünnere Teil der Anschlußteil, so wird der Widerstand noch weiter als auf den vierfachen Wert heraufgesetzt. Siehe Tabelle 4 und Nomogramm Bild 12.

Tabelle 4: Erhöhung des Widerstandes bei Faltdipolen mit voneinander abweichenden Leiterdurchmessern

$\frac{d_f}{d_a}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4
Erhöhung des Widerstandes	2,5	2,7	3,2	4	5,2	6	7fach

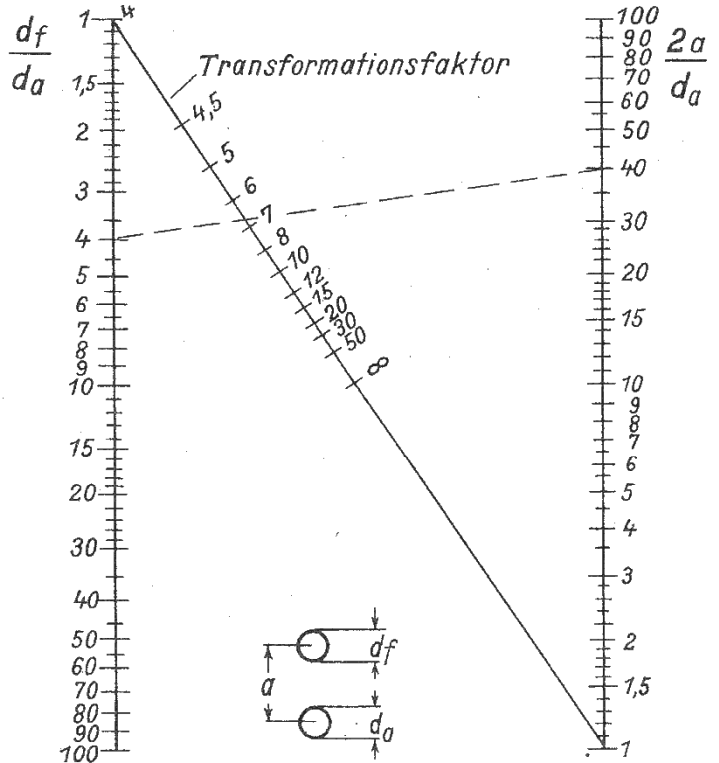


Bild 12. Nomogramm zur Ermittlung der Abmessungen eines gefalteten Dipols mit verschiedenen Leiterdurchmessern. Index a bezeichnet den an die Speiseleitung angeschlossenen, Index f den freien Dipol

Gefalteter Dipol mit mehr als zwei Leitern
Zur weiteren Erhöhung des Widerstandes können mehr als zwei Leiter angewendet werden.

Bei gleicher Leiterstärke ist der Faktor der Widerstandserhöhung gleich dem Quadrat der Leiterzahl.

Bei drei Leitern beträgt also der Widerstand das Neunfache des Widerstandes des gestreckten Dipols.

Bild 13 und Bild 14 bringen Beispiele für Dreifach-Faltdipole. Die beiden Anordnungen sind völlig gleichwertig, und man wählt diejenige, die konstruktiv am günstigsten ausfällt.

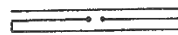


Bild 13. Dreifach-Faltdipol

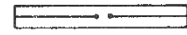
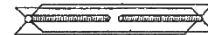


Bild 14. Dreifach-Faltdipol anderer Bauart

Bild 15. Vielfach-Faltdipol



Soll der Widerstand noch weiter herauftransformiert werden, so können mehr als drei Leiter verwendet werden. Bild 15 zeigt eine solche Anordnung mit einem Mittelleiter als Anschlußteil und vier dünneren Außenleitern. Obwohl die Leiterdurchmesser gleich sein sollten, zeigen experimentelle Ergebnisse, daß es möglich ist, den Mittelleiter aus Rohmaterial und die Außenleiter aus Draht herzustellen, ohne daß der Transformationsfaktor stark von dem zu erwartenden Wert abweicht.

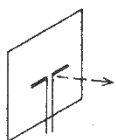
Dipol-Richtantennen

Für viele Zwecke ist es erwünscht, der Antenne eine besondere Richtwirkung zu geben, d. h. den Empfang aus einer bestimmten Richtung oder einem Richtungsgebiet besonders

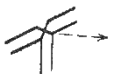
zu verstärken und den Empfang aus der Gegenrichtung so weit wie möglich zu unterdrücken. Die Unterdrückung von Störsendern spielt an sich bei FM keine so überragende Rolle wie bei AM, da bei FM der Feldstärkeunterschied nur klein zu sein braucht, um den stärkeren Sender störungsfrei empfangen zu können. Es sind jedoch Fälle möglich, in denen ein schwacher Sender in der Nähe eines starken Senders empfangen werden soll, wobei beide auf annähernd gleicher Wellenlänge arbeiten. Wenn sie richtungsmäßig um 180° auseinanderliegen, dann ist die Aufgabe unter Zuhilfenahme einer Richtantenne möglich, die auf ein möglichst großes Verhältnis von Vorwärtsempfang zu Rückwärtsempfang eingestellt ist. Der häufigere Fall wird sein, daß ein mit kleiner Feldstärke einfallender Sender empfangen werden soll, wobei man die Richtantenne zur Verstärkung der Empfangsenergie heranzieht und sie auf optimale Verstärkung einstellt. Diese Einstellung weicht im allgemeinen von der optimalen Einstellung des Verhältnisses von Vorwärtsempfang zu Rückwärtsempfang ab.

Möglichkeiten zur Erhöhung der Richtwirkung des Dipoles:

1. Reflektorwand aus leitendem Material (Blech, Drahtgeflecht) in der Größenordnung einer Wellenlänge Bild 16 A. Umfangreiche Gebilde, daher für Rundfunk oder Fernsehen nicht geeignet.
2. Verbindung mehrerer Dipole, die in geeignetem Abstand voneinander angebracht sind. Die Verbindungsleitung muß als Phasenschieber ausgebildet sein, um bestimmte Richtcharakteristiken zu erzielen. Bild 16 B.
Die abzugleichende Verbindungsleitung macht für Rundfunkzwecke diese Antennenart unbeliebt.
3. Ersatz der Reflektorwand durch einen Halbwellendipol (Länge etwa $\frac{\lambda}{2}$) der in einem Abstand von Bruchteilen einer Wellenlänge (etwa $\frac{\lambda}{4}$) parallel zum Hauptdipol (an dem die Ableitung angeschlossen ist) angeordnet und nicht mit diesem verbunden wird. Die Dipole sind strahlungsgekoppelt (parasitäre Dipole). Bild 16 C.



A Dipol mit Reflektorwand



B Mehrere mittelnander verbundene Dipole



C Dipol, mit Halbwellendipol strahlungsgekoppelt (Reflektor)



D Dipol mit als Direktor wirkendem Hilfsdipol

Bild 16

Bei geeigneter Bemessung von Hilfsdipollänge und -abstand kann sich die Wirkung umkehren, d. h. Sender aus der bisher bevorzugten Empfangsrichtung werden geschwächt und diejenigen der gegenüberliegenden Richtung verstärkt. Der Hilfsdipol heißt dann Direktor; Bild 16 D.

Die gemeinsame Anwendung von 16 C und D sowie die Anwendung eines Reflektors und mehrerer parasitärer Direktoren ist zur Verstärkung der Richtwirkung möglich. Mehrere Reflektoren bringen keine nennenswerten Vorteile.

Ein Hauptdipol und ein parasitär erregter Dipol

Von der Phase des Stromes im parasitären Antennenelement hängt es ab, ob es als Reflektor oder Direktor wirkt. Die Amplitude und Phase des in einem parasitären Dipol induzierten Stromes hängen ab vom Abstand zum erregten Dipol und von der Abstimmung des parasitären Elementes.

Eine volle Auslöschung der rückwärtigen Ausstrahlung des Dipols mit parasitären Hilfselementen ist nicht möglich, da es nicht gelingt, sowohl der Phase als auch der Amplitude des Stromes im Hilfsdipol gleichermaßen die richtigen Werte zu erteilen.

Parasitäres Element als Reflektor oder Direktor

Die Abstände zwischen parasitärem Element und gespeistem Element sind meist $\frac{\lambda}{4}$ oder kleiner.

Wenn das Hilfselement als Reflektor wirken soll, muß es auf eine niedrigere Frequenz abgestimmt (länger) sein als der Hauptdipol.

Wenn das Hilfselement als Direktor wirken soll, muß es auf eine höhere Frequenz abgestimmt sein (geometrisch kürzer sein) als der Hauptdipol.

Wenn das Hilfselement auf die gleiche Frequenz abgestimmt ist wie der Hauptdipol, dann bestimmt der Abstand zwischen beiden Elementen, ob es als Reflektor oder Direktor wirkt.

Abstand kleiner als $0,14 \cdot \lambda =$ Direktor

Abstand größer als $0,14 \cdot \lambda =$ Reflektor

Abstand gleich $0,14 \lambda =$ doppelseitige Strahlung (Aufnahme) mit Verstärkung von 4 db über gewöhnlichen Dipol.

Die genaue Abstimmung der parasitären Elemente wird allgemein durch Veränderung ihrer Länge vorgenommen, selten durch Änderung ihrer elektrischen Länge mit Hilfe von konzentrierten Induktivitäten oder Kapazitäten.

Mögliche Leistungsverstärkung gegenüber dem einfachen Halbwellendipol

Die größtmögliche Leistungsverstärkung bei Verwendung eines Hilfsdipoles als Reflektor oder Direktor ist in Bild 17 in Abhängigkeit vom Abstand zum Hauptdipol aufgetragen, wobei vorausgesetzt wurde, daß das Hilfselement jeweils auf größte Verstärkung der Vorwärtsstrahlung (Empfang) abgestimmt wurde.

Die maximale Verstärkung ist bei Verwendung des Hilfsdipoles als Direktor etwas größer, jedoch ist die Abstandseinstellung beim Reflektor weniger kritisch.

Die Abstimmung des Reflektors für größte Verstärkung liegt

bei Abständen kleiner als $\frac{\lambda}{4}$ bei niedrigeren Frequenzen,

bei Abständen größer als $\frac{\lambda}{4}$ bei höheren Frequenzen, als die des Hauptdipoles.

Je geringer der Abstand, um so größer ist die erforderliche Verstimmung.

Beim Abstand $\frac{\lambda}{4}$ bei Resonanzabstimmung des Hilfsdipoles.

Die Abstimmung des Direktors für größte Verstärkung liegt

bei Abständen $> 0,1 \lambda$ bei höheren Frequenzen,

bei Abständen $< 0,1 \lambda$ bei tieferen Frequenzen, als die des Hauptdipoles.

Je größer der Abstand, um so größer ist die erforderliche Verstimmung.

Beim Abstand $= 0,1 \lambda$ bei Resonanzabstimmung des Hilfsdipoles.

Der Strahlungswiderstand (Widerstand im Speisepunkt)

Der Strahlungswiderstand, gemessen im Mittelpunkt des Hauptdipoles, nimmt bei Hinzufügen eines parasitären Hilfselementes ab. Für den Fall, daß Reflektor oder Direktor auf maximale Verstärkung eingerichtet sind, zeigt Bild 18 die Abnahme des Widerstandes als Funktion des Abstandes zwischen den Antennenelementen.

Wird der Strahlungswiderstand niedrig und nähert sich sein Wert dem Verlustwiderstand der Antenne, so wird ihr Wirkungsgrad klein, weil ein relativ hoher Teil der Leistung am Verlustwiderstand in Wärme umgesetzt wird. Bei Antennengebilden mit niedrigem Strahlungswiderstand ist es daher wichtig, den Verlustwiderstand durch entsprechenden Aufbau so gering wie möglich zu halten (Verwendung von Kupfer- oder Aluminiumrohr für die Dipolelemente).

Manchmal (besonders unter Berücksichtigung von Anpassungsfragen) kann es besser sein, den Abstand Hauptdipol/Hilfsdipol nicht auf größte Verstärkung einzustellen, sondern ihn größer zu machen, um den Strahlungswiderstand nicht zu klein werden zu lassen. Das gilt insbesondere für den Fall, daß ein Reflektor verwendet wird (langsamer Abfall der Verstärkung, stärkerer Anstieg des Strahlungswiderstandes bei Entfernung des Hilfsdipoles vom Hauptdipol).

Bild 19 gibt einen Überblick über den Verlauf des Strahlungswiderstandes als Funktion der Abstimmung eines als Reflektor oder Direktor verwendeten Hilfsdipoles mit dem Abstand vom Hauptdipol als Parameter. Ferner ist der Verlauf der Leistungsverstärkung als Funktion der Abstimmung aufgetragen.

Verhältnis von Vorwärts- zu Rückwärtsstrahlung (Empfang)

Insbesondere beim Empfangsdipol kommt es auf ein möglichst großes Verhältnis der aus der gewünschten Vorwärtsrichtung aufgenommenen Energie zu der Energie, die aus der Gegenrichtung aufgenommen wird, an; dieses Verhältnis wird kurz als Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis bezeichnet.

Die optimale Bemessung der Zwei-Element-Antenne in bezug auf maximale Verstärkung hat nicht gleichzeitig ein optimales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis zur Folge.

Die Abstimmung des Reflektors für optimales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis liegt

bis herauf zu Abständen von $\frac{\lambda}{4}$ etwas weiter nach tieferen Frequenzen zu (geometrische Länge etwas größer).

Die Abstimmung des Direktors für optimales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis liegt

bis herunter zu Abständen von $0,1\lambda$ etwas weiter nach höheren Frequenzen zu (geometrische Länge etwas kleiner) als für maximale Verstärkung.

Bei Verwendung eines parasitären Elementes als Direktor ist das erzielbare Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis größer als bei seiner Verwendung als Reflektor.

Optimaler Abstand Direktor/Hauptdipol

- Direktor abgestimmt auf maximale Verstärkung, Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis = 5,5 db.
- Direktor abgestimmt auf maximales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis ergibt ein Verhältnis von 17 db, während die Vorwärtsverstärkung dabei nur um 1 db im Vergleich zu Fall a) abnimmt.

Die Abstimmung des parasitären Elementes auf optimales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis ist weit kritischer als diejenige auf maximale Verstärkung, so daß ein gutes Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis ohne zu große Einbuße an Verstärkung erzielbar ist. Eine auf optimales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis eingestellte Antenne ist also eine gute Kompromißlösung, wenn sie als Sende- und Empfangsantenne dienen soll.

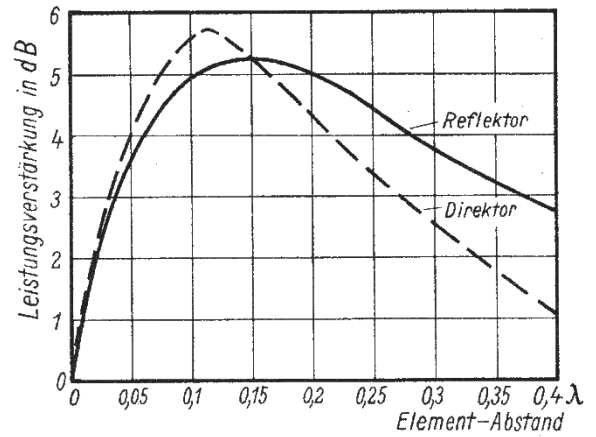


Bild 17. Größtmögliche Leistungsverstärkung eines Dipoles mit Reflektor oder Direktor

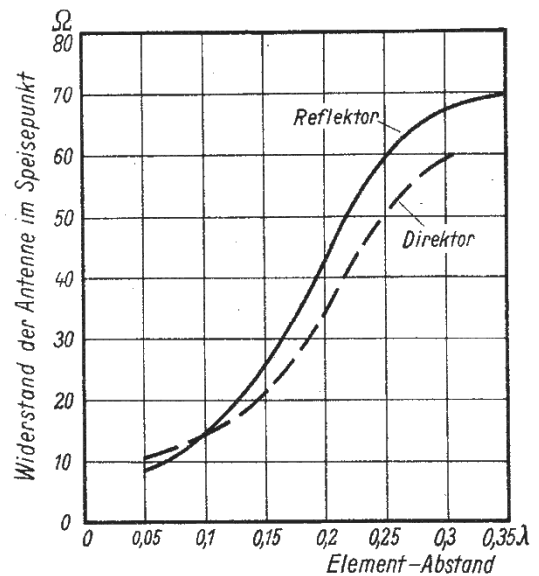


Bild 18. Widerstand der Richtantenne mit einem Hilfsdipol als Funktion des Abstandes beider Elemente

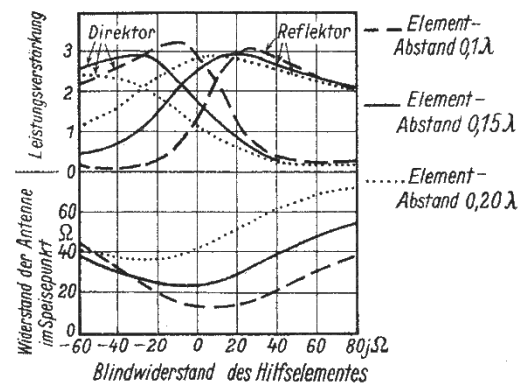


Bild 19. Strahlungswiderstand der Antenne als Funktion der Abstimmung von Direktor oder Reflektor

Ein Hauptdipol und mehrere parasitär erregte Dipole

Um noch größere Leistungsverstärkung und Richtwirkung zu erhalten, können zwei oder mehr parasitäre Elemente verwendet werden. Die Eigenschaften einer solchen Antenne sind nicht mehr leicht vorzuberechnen oder zu übersehen, da zu viele Parameter vorhanden sind. Die Bedeutung solcher komplizierten Richtantennen für UKW-Rundfunkempfangszwecke ist infolge ihres großen Raumbedarfes und ihres kleinen Frequenzbereiches (kleine Bandbreite) sehr gering. Die höchste für Rundfunkzwecke empfehlenswerte Anzahl von parasitären Elementen dürfte zwei sein.

Allgemeine Eigenschaften und Richtlinien für die Bemessung solcher Antennen

Die theoretische Untersuchung zeigt, daß die Anfügung mehrerer Direktoren an einen Hauptdipol die Vorwärtsverstärkung erhöht. Die Anfügung eines weiteren Reflektors hinter dem Hauptdipol steigert die Vorwärtsverstärkung weiter, während die Anfügung von mehr als einem Reflektor wenig Einfluß auf die Verstärkung hat.

Leistungsverstärkung im Vergleich zum Halbwellendipol

Die Leistungsverstärkung von Richtdipolen mit drei und vier Elementen ist für verschiedene Abstände der Hilfselemente in Tabelle 5 angegeben. Die Werte beruhen auf Messungen und sind Durchschnittswerte. Im Mittel läßt sich aussagen, daß ein Richtdipol mit Reflektor und einem Direktor eine Leistungsverstärkung von 8 db bringt, bei einem Reflektor und zwei Direktoren etwa 10 db.

Tabelle 5

3 Elemente			
Abstand: Reflektor-Hauptdipol	Abstand: Direktor-Hauptdipol	Leistungsverstärkung	
0,1 λ	0,15 λ	8 db	
0,1 λ	0,2 λ	8,3 db	
0,15 λ	0,1 λ	7,9 db	
0,15 λ	0,2 λ	8,7 db	
4 Elemente			
Abstand: Reflektor-Hauptdipol	1. Direktor-Hauptdipol	2. Direktor-1. Direktor	Leistungsverstärkung
0,15 λ	0,1 λ	0,1 λ	9 db
0,15 λ	0,2 λ	0,2 λ	10 db
0,2 λ	0,2 λ	0,2 λ	10,4 db

Die Anfügung weiterer Direktoren ergibt im Mittel eine Leistungsverstärkung auf folgende Werte:

Tabelle 6

Anzahl der Direktoren	4	9	13	20
Leistungsverstärkung	12,5 db	17,5 db	21 db	

(Werte gelten für große Elementabstände, Direktorabstand ca. 0,35 λ und Reflektorabstand ca. 0,25 λ .)

Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis

Die Einstellung der Mehrelement-Richtantenne auf optimales Verhältnis des Vorwärtsempfanges zum Rückwärtsempfang weicht von der Einstellung auf maximale Leistungsverstärkung ab. Die Einstellung auf optimales Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis ist sehr kritisch. Wird die Antenne über einen größeren Frequenzbereich betrieben, so ändert sich die elektrische Länge der Elemente und damit zunächst im wesentlichen das Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis, während die Leistungsverstärkung weniger stark beeinflusst wird. Wenn die Verstimmung groß genug wird, kann sich die Wirkung von Reflektor und Direktor sogar umkehren.

Der Strahlungswiderstand (Widerstand im Speisepunkt)

Beim Mehrelement-Dipol wird der Strahlungswiderstand durch die angefügten Reflektor- und Direktorelemente noch weiter abgesenkt als beim Zweielement-Dipol. Je geringer die Abstände, um so stärker sinkt der Strahlungswiderstand.

Bei kleinen Elementabständen (Reflektor 0,15 λ , Direktor 0,1 λ) beträgt beim 3-Element-Dipol der Strahlungswiderstand etwa 8...10 Ω . Beim 4-Element-Dipol und obigen Abständen (Reflektor 0,15 λ , 1. Direktor 0,1 λ , 2. Direktor 0,1 λ) beträgt er etwa 4...6 Ω . Diese Werte sind noch von der Abstimmung der einzelnen Elemente abhängig.

Die Änderung des Reflektorabstandes wirkt nicht so sehr auf das Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis und auf die Leistungsverstärkung ein, sondern insbesondere auf den Strahlungswiderstand. Dieser kann also mit Hilfe des Reflektorabstandes in gewissen Grenzen eingestellt werden.

Beispiel:

Reflektorabstand	0,1 λ	0,13 λ	0,15 λ	0,18 λ	0,25 λ
Strahlungswiderstand	12 Ω	22 Ω	32 Ω	50 Ω	62 Ω

(gültig für großen Direktor-Abstand, ca. 0,3 λ .)

Die Bandbreite der Richtantenne mit mehreren Hilfsantennen

Über die Bandbreite von Dipolantennen mit mehreren parasitär erregten Hilfsdipolen sind in der Literatur wenig Angaben enthalten.

Wie bereits beim einfachen Dipol erwähnt, verändert sich bei Verstimmung der Antenne der Widerstand im Speisepunkt und es tritt eine Blindkomponente hinzu, die die Anpassung erschwert. Die Bandbreite des Dipoles mit Hilfselementen ist jedoch weit geringer als die der einfachen Dipolantenne und zwar um so geringer, je kleiner der Abstand der Hilfselemente vom Hauptdipol ist.

Um die Bandbreite zu vergrößern, verwendet man entweder einen Hauptdipol mit großem Durchmesser (s. auch Tabelle 3) oder besser einen Faltdipol, der zugleich eine Transformation des Widerstandes ergibt.

Beachtenswert ist, daß die Eigenschaften der Richtantenne sich viel stärker mit der Frequenz ändern, wenn die Länge des Direktors zu groß ist, als wenn der Direktor zu kurz ist. Für Antennen, die in einem Frequenzband verwendet werden sollen (Rundfunkband UKW), ist es daher empfehlenswert, den Direktor kürzer zu machen, als es dem optimalen Wert (für Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis oder Leistungsverstärkung) entsprechen würde.

Die normale Praxis ist, den Direktor 5% kürzer und den Reflektor etwa 5% länger zu machen als den Hauptdipol. Die weiteren Direktoren werden um je 1% kürzer gemacht (2. Direktor 6%, 3. Direktor 7% kürzer als Hauptdipol). Ganz grob kann man dann bei einer 3-Element-Antenne mit etwa 10% Bandbreite rechnen.

Reicht die nach der Messung ermittelte Bandbreite nicht aus, so wird der Reflektor etwas verlängert und die Direktoren etwas verkürzt. Die Leistungsverstärkung wird dann etwas geringer, ebenso das Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis verschlechtert.

Die Bandbreite einer Richtantenne mit sehr vielen Elementen (15, jedoch Abstand groß) beträgt etwa 2%.

Literatur

- R. A. Smith: Aerials for Metre and Decimetre Wavelengths. Cambridge University Press 1949
 The A. R. R. L. Antenna Book 1949. The American Radio Relay League inc., West Hartford, Conn.
 Electronics, 1948 November.