Die wichtigsten Antennenkennwerte im Überblick

Was ist der Unterschied zwischen Richtfaktor und Gewinn einer Antenne? Wie soll ich mir die effektive Länge oder Höhe und die Wirkfläche einer Antenne vorstellen? Wie definiert man die Bandbreite einer Antenne? Und was sollte ich über das Gütemaß einer Antenneneinheit wissen? Auf diese und ähnliche Fragen finden Sie hier Antworten.

Auch die LTE-MIMO-Mobilantenne vom Typ 4465 beruht auf der traditionellen Antennentechnik (Werksbild)

Es sind einzig und allein die Antennen, welche die Funktechnik auszeichnen, ansonsten beruht diese technische Disziplin auf Elektrotechnik, Elektronik und Hochfrequenztechnik. Antennen sind im Grunde reine passive Gebilde – Aktivantennen oder Systeme mit Parabolreflektoren bringen lediglich einen Verstärker nahe an den passiven Teil – und dennoch durch eine Vielzahl mehr oder weniger leicht zu durchschauender Parameter gekennzeichnet. So könnte man sich von geometrischen Begriffen verblüffen lassen, und in der Tat werden diese manchmal nicht richtig interpretiert. Antennenkennwerte haben jedoch einen hohen praktischen Stellenwert. Hier werden sie darum gut verständlich vorgestellt.

Richtfaktor, Gewinn und Wirkungsgrad

Antennen können bekanntlich Strahlungsleistung bündeln wie eine Taschenlampe das Licht. Die gleichmäßig in alle Richtungen (isotrop) strahlende Antenne ist praktisch weder realisierbar noch erwünscht. Wie konsequent die gerichtete Abstrahlung erfolgt, wird in der Antennentheorie mit dem Richtfaktor beschrieben. Er sagt aus, um wie viel höher die Feldstärke/Strahlungsdichte einer als ideal (verlustlos) angesehenen Antenne in Vorzugsrichtung gegenüber einem mit gleicher Leistung gespeisten idealen Halbwellendipol oder isotropem Strahler (auch Kugelstrahler genannt) im Fernfeld ist. Je höher der Richtfaktor, umso konzentrierter die Abstrahlung. Sogenannte Nebenkeulen oder Nebenzipfel, also weitere, aber unerwünschte Abstrahlungen, mindern den Richtfaktor. Dieser kann nur null oder positiv sein.

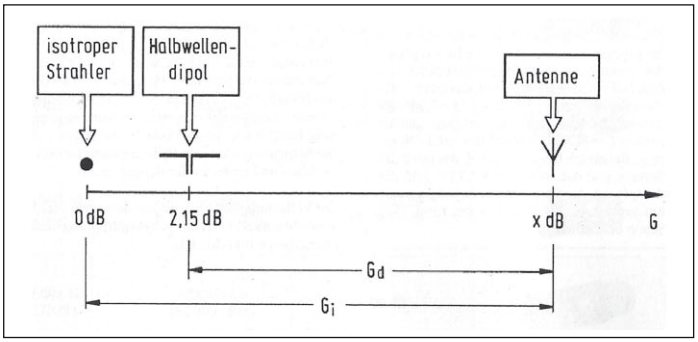

Bild 1: Beziehung zwischen den beiden üblichen Gewinn-Referenzmöglichkeiten [1]

Einige Richtfaktoren:

- Kugelstrahler 1
- sehr kurzer Dipol 1,5
- Hertzscher Dipol (Elementardipol) 1,5
- Halbwellendipol 1,64
- Ganzwellendipol 2,41
- sehr kurze Vertikalantenne 3
- Viertelwellen-Vertikalantenne 3,28

Man beachte die doppelten Werte der Vertikalantennen gegenüber den Dipolen! Die kürzeren Antennen versprechen also mehr Gewinn. Das ist der um die Antennenverluste ermäßigte Richtfaktor; man drückt ihn in aller Regel in Dezibel aus. Da hier also etwas Reales mit etwas Idealem verglichen wird, sind durchaus auch negative Dezibel-Angaben möglich.

Der Gewinn einer Antenne ist also das „Mehr“ (oder „Weniger“) an Strahlungsleistung (Sendefall) oder elektrischer Ausgangsleistung (Empfangsfall) in Vorzugsrichtung gegen-

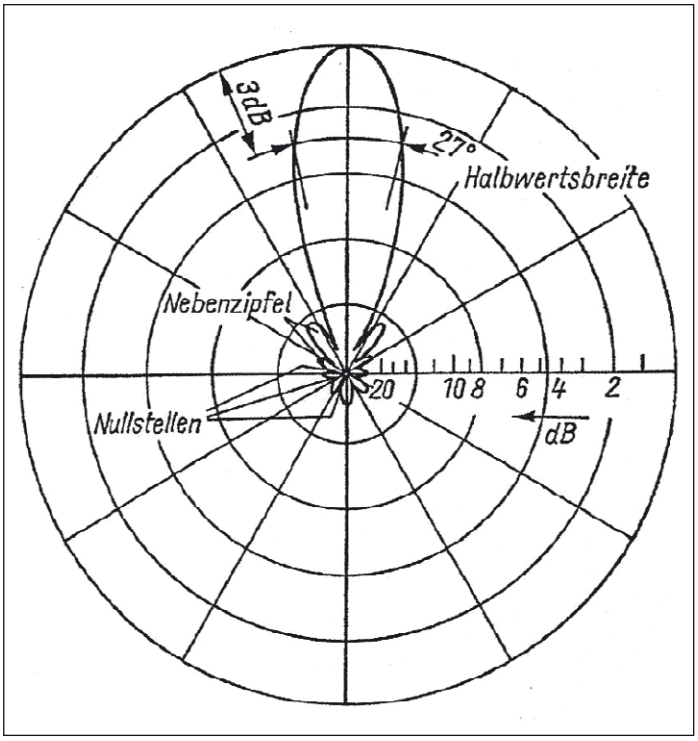

Bild 2: Horizontaldiagramm einer Lang-Yagi-Antenne mit 27° Öffnungswinkel [2]

über einer idealen Vergleichsantenne. Um diese nicht immer nennen zu müssen, hängt man an das dB ein d (Dipol) oder ein i (Isotropstrahler) an. Der Halbwellendipol hat gegenüber dem Kugelstrahler 2,15 dB Gewinn. Bild 1 visualisiert das. Eine Antenne mit z.B. 10 dBd hat also 12,15 dBi. Trifft man in Katalogen oder Anzeigen allein auf dB, sollte man immer von dBi ausgehen. Oder es hilft ein Vergleich mit ähnlichen Antennen. Die Gewinne etwa gleich aufgebauter Antennen unterscheiden sich nicht wesentlich. Schließlich: Gewinnmessungen bergen diverse Unsicherheiten. In gewissem Maße fehlerhafte Angaben kann man nicht immer ausschließen.

Setzt man Richtfaktor und Gewinn ins Verhältnis, erhält man den Wirkungsgrad der Antenne, also das Verhältnis von abgestrahlter zu zugeführter Leistung. Aufgrund verschiedener Verlustmöglichkeiten sollte man sich hier keinen Illusionen hingeben, 60...70% sind meist realistisch, aber auch nur dann, wenn es sich nicht um elektrisch kurze Antennen handelt.

Die Öffnungswinkel, Basis für den Gewinn

Das Strahlungsverhalten einer Antenne lässt sich vollständig mit einer 3D-Darstellung charakterisieren. Antennen-Simulationsprogramme liefern diese. Doch bereits das zweidimensionale horizontale und vertikale Richtdiagramm – für Rundstrahler genügt nur dieses – charakterisieren eine Antenne oft schon ausreichend. Aus diesen Diagrammen lassen sich Öffnungswinkel ableiten, welche in zwar geringerem, aber immer noch wertvollem Maße die Richteigenschaften kennzeichnen. Als Öffnungswinkel bezeichnet man den Winkel zwischen den beiden Richtungen, bei denen die Leistung um 3 dB gegenüber dem Maximum gesunken ist. Statt Öffnungswinkel sagt man daher auch Halbwertsbreite (Bild 2).

Allein aus den Öffnungswinkeln kann man mit einer einfachen Näherungsmethode nach Kraus auf den Richtfaktor D schließen:

D ≈ 41.253/(vertikaler x horizontaler Öffnungswinkel)

Das Grad entfällt hier bei den Winkelangaben. Die Näherungsformel ist auf Antennen beschränkt, welche eine nicht zu schmale Hauptkeule und keine Nebenzipfel haben. Die Näherungsmethode nach Dombrowski und Orr ergibt einen deutlich höheren Richtfaktor:

D ≈ 52.532/(vertikaler x horizontaler Öffnungswinkel)

Kennt man D und den Antennenwirkungsgrad, hat man den Gewinn. Dieser ist noch weniger aussagekräftig als die Winkel, da ein bestimmter Gewinnwert durch eine Vielzahl von Winkelkombinationen gebildet werden kann. Zur Ermittlung des Gewinns G von Drahtantennen hat sich die folgendermaßen modifizierte Kraus-Formel etabliert:

G in dBd ≈ 10 log 25.154/(vertikaler x horizontaler Öffnungswinkel)

Als Beispiel seien Öffnungswinkel von 25 und 30° angenommen:

G in dBd ≈ 10 log 25.154/750 ≈ 10 log 33,54 ≈ 15,3

Das harmoniert perfekt mit dem Diagramm in Bild 3, welches auf der Formel beruht. Doch Achtung: Formel und Diagramm gelten nur für Antennen ohne Neben- und Rückwärtskeulen! Daher ist der damit ermittelte Gewinn für Antennen mit diesen Effekten 1 bis 2 dB zu hoch.

Mikrowellenantennen haben praktisch keine Neben- und Rückwärtskeulen und Öffnungswinkel von wenigen Grad. Beispielsweise hat eine Offset-Parabolantenne für Sat-Empfang mit 57 cm Durchmesser Halbwertsbreiten unter 3° und gemäß Formel einen Gewinn um 34,5 dBd bzw. 36,6 dBi. Das entspricht auch den Tatsachen, sodass sich der von Kraus angenommene Wirkungsgrad auch bei solchen Antennen bewährt.

Für die näherungsweise Ermittlung der Halbwertsbreite einer Parabolantenne gilt die Formel:

21°/(Frequenz in GHz x Durchmesser in m)

Diese führt beispielsweise bei Sat-Antennen (12 GHz) zu folgenden Richtwerten:

- 60 cm Durchmesser, Gewinn 36 dBi: Halbwertsbreite 3°
- 85 cm Durchmesser, Gewinn 38 dBi: Halbwertsbreite 2°
- 1,2 m Durchmesser, Gewinn 42 dB, Halbwertsbreite 1,5°

Wird die kleinste (größte) Antenne um 1,5° (0,75°) falsch ausgerichtet, ist die Signalleistung 3 dB schwächer als das mögliche Maximum.

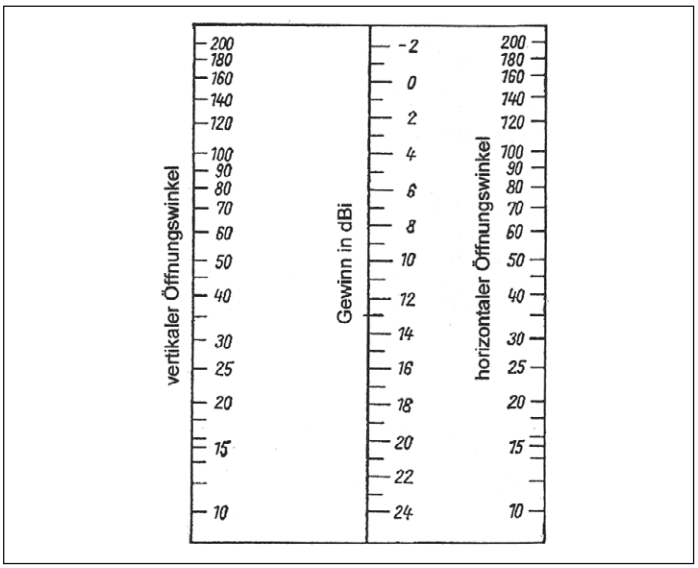

Bild 3: Bei diesem Gewinnermittlungs-Diagramm sind die im Text genannten Einschränkungen zu beachten

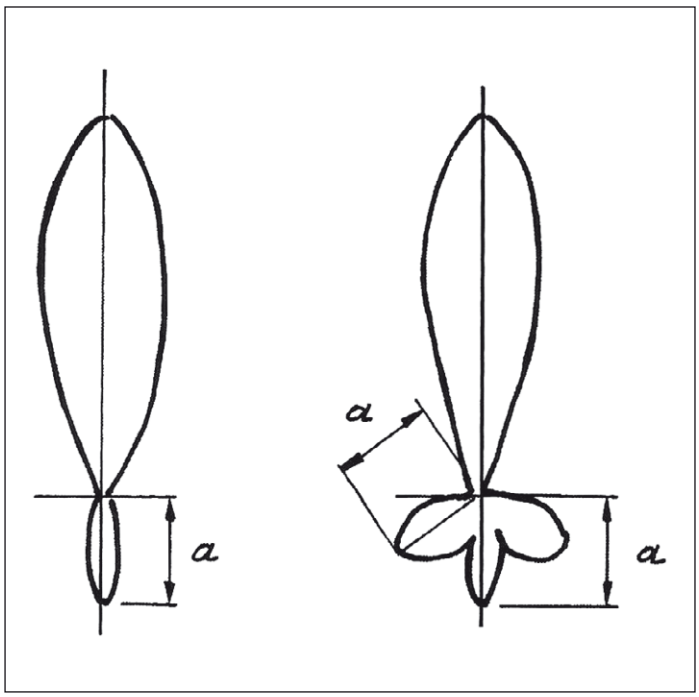

Bild 4: Praktisch kaum Ergebnisunterschiede zwischen den beiden Möglichkeiten, das Vor/Rück-Verhältnis zu bestimmen

Das Vor/ Rück-Verhältnis

Bei Richtantennen wird noch eine weitere Eigenschaft (meist in dB) angegeben: das Vorwärts/ Rückwärts-Verhältnis, kurz Vor/ Rück-Verhältnis genannt. Dafür gibt es zwei Definitionen:

1. Das Vor/Rück-Verhältnis drückt aus, wie viel mal mehr Spannung bzw. Leistung die Antenne in der Hauptstrahlrichtung gegenüber der umgekehrten Richtung bringt.

2. Das Vor/Rück-Verhältnis ist die Relation zwischen der Spannung bzw. Leistung in Hauptstrahlrichtung zum Mittelwert aller Nebenzipfel-Spannungen bzw. -Leistungen im hinteren horizontalen Winkelbereich ±90° oder einem Teil davon.

Die erste Definition ist einfach, da Leistungen aus zwei festen Richtungen verglichen werden. Bei der zweiten Definition muss ein Bereich mit vermeintlichen Maxima „abgefahren“ werden, deren Mittelwert man dann bildet. Leider lohnt sich dieser Aufwand praktisch nicht. Denn beispielsweise fünf hintere Nebenkeulen würden lt. Definition das gleiche Ergebnis liefern wie nur eine, wenn sie alle gleich groß sind (Bild 4). Und: Das Vor/ Rück-Verhältnis ist für die Praxis ähnlich aussageschwach wie der Gewinn. Denn wie es definiert wurde, ist meist nicht bekannt. Das unterstreicht: Richtdiagramme informieren am besten!

Um das Vor/Rück-Verhältnis es zu ermitteln, richtet man die Antenne optimal auf einen Sender aus und misst die Empfangsspannung. Danach wird die Antenne umgedreht, und es wird erneut gemessen.

Worin liegt die Bedeutung dieses Kennwerts? Logisch erscheint: Je größer das Vor/Rück-Verhältnis, um so wahrscheinlicher ist es, dass möglichst viel Leistung in die Hauptstrahlrichtung „gedrückt“ wird. Diese Leistung lässt sich jedoch schon mit den Öffnungswinkeln beschreiben. Wichtiger für die Praxis ist folgende Tatsache: Aus einer Richtung, in die eine Antenne nicht strahlt, kann sie auch nicht beeinflusst werden. Sowohl direkt eintreffende als auch von der Antennenumgebung (Masten, Schornsteine, Bäume) reflektierte Signale können der Antenne nichts „anhaben“. Je größer das Vor/Rück-Verhältnis ist, um so weniger wird der Empfang von Objekten nahe der Antenne sowie von Sendern aus anderen Richtungen gestört.

Auf den Punkt gebracht

Fassen wir nun zusammen, was wir über die Möglichkeiten, das Richtverhalten zu beschreiben, wissen:

1. Richtdiagramme liefern die meisten vom Praktiker benötigten Informationen.

2. Öffnungswinkel können nicht über die praktisch wichtige Abstrahlrichtung informieren.

3. Der Gewinn informiert nicht über die Abstrahlrichtung und unvollkommen über das Abstrahlverhalten.

Da aber besonders bei Richtantennen für höhere Frequenzen Abstrahlrichtung und -verhalten ausreichend gut bekannt sind, genügt dort der Gewinn, um die Antennenanlage entscheidend zu kennzeichnen.

Anders bei Kurzwellenantennen. Hier wird das Richtverhalten mehr oder weniger stark von der Umgebung beeinflusst, da sich die Antenne aufgrund des geringen maßgebenden Abstands in Wellenlängen etwa vom Boden oder von Hauswänden dieser nicht entziehen kann. Die Bilder 5, 6 und 7 zeigen beispielsweise, wie das vertikale Diagramm eines Halbwellendipols von dessen Aufbauhöhe über Grund abhängen würde, wenn die Erde ein idealer Leiter wäre. Man sieht: Das Abstrahlverhalten wird stark von der Höhe über Grund bestimmt, und zwar nicht absolut, sondern in Wellenlängen. Auch bei UKW-Antennen macht es noch Sinn, Höhe zu „schinden“. Denn die vertikale Abstrahlung ändert sich auch noch in mehreren Wellenlängen Abstand zum Grund beachtlich. Das horizontale Diagramm ist hier wie da hingegen kaum von der Aufbauhöhe abhängig.

Mit dem Computer lassen sich Antennen unter verschiedensten Bedingungen zuverlässig simulieren. Hierbei werden dreidimensionale Richtdarstellungen geliefert. Ein bekanntes Antennensimulationsprogramm heißt EZNEC.

Die Impedanz

Antennen sind „Energieform-Wandler“. Leitungsgebundene Energie wird in Strahlung gewandelt oder umgekehrt. Sie dürfen daher nicht sperren oder kurzschließen, sondern müssen einen ständigen Energiefluss gewährleisten. Das schaffen sie, indem sie an ihren Klemmen einen Widerstand erscheinen lassen. Dieser ist im Sendefall ein Eingangs- und im Empfangsfall ein Ausgangswiderstand, aber in beiden Fällen bei der selben Frequenz gleich. Eingebürgert hat sich dafür der Begriff „Impedanz“ oder bei Monopolantennen „Fußpunktwiderstand“. Idealerweise handelt es sich um einen reellen (ohmschen) Widerstand. Oft wird auch die Bezeichnung „Strahlungswiderstand“ benutzt.

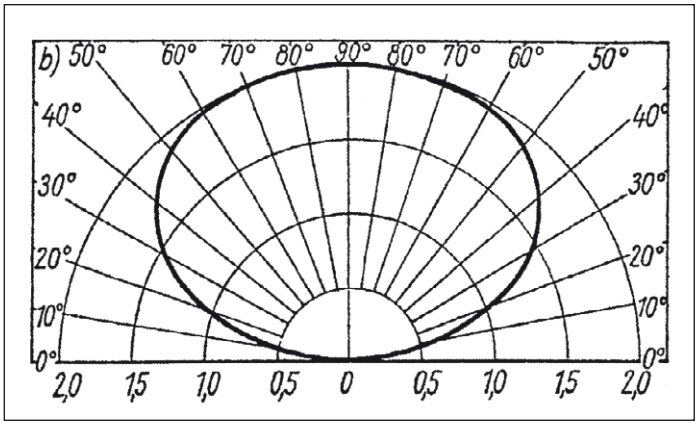

Bild 5: Vertikales Richtdiagramm eines horizontalen Halbwellendipols 1/4 λ über idealem Grund [2]

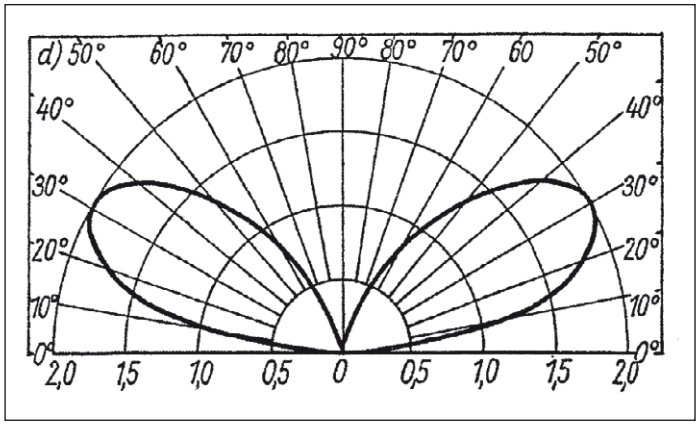

Bild 6: Vertikales Richtdiagramm eines horizontalen Halbwellendipols 5/8 λ über idealem Grund (allgemeines Optimum, bestmögliche Flachstrahlung) [2]

Ein Strahlungswiderstand ist jedoch an jedem Ort der Antenne definierbar.

Die Impedanz einer Antenne hängt lediglich von der Antennengeometrie ab (Bild 8) und entsteht ganz einfach dadurch, dass die Antenne Strahlung erzeugen bzw. aufnehmen kann. Der mit dem Wellenwiderstand einer HF-Leitung vergleichbare Strahlungswiderstand einer verlustlosen Antenne ist in beiden Richtungen ein perfekter Wandler: Bei Anpassung wird die maximal entnehmbare Energie aus dem Sender über die Antenne abgestrahlt bzw. aus dem Empfangsfeld über die Antenne dem Empfänger zugeführt.

Im Ersatzschaltbild der Impedanz einer praktischen Antenne gibt es neben dem Strahlungswiderstand immer einen Verlustwiderstand und bei elektrisch zu kurzer oder zu langer Antenne einen Blindwiderstand (Bild 9). Da der Verlustwiderstand etwa durch den ohmschen Widerstand des Antennenleiters, den Skin-Effekt, die nicht ideale Isolation oder Übergangswiderstände in der Einspeisung einen gewissen Minimalwert nicht unterschreiten kann, ist für einen guten Wirkungsgrad ein hoher Strahlungswiderstand Voraussetzung. Dafür einige Beispiele:

- Dipol, sehr dünn und sehr hoch über Grund: 72 Ohm
- vertikale Viertelwellenantenne auf ideal leitendem Untergrund: 36 Ohm
- 2,5 m langer Vertikalstrahler auf dem 80-m-Band: 0,4 Ohm
- dto. mit Dachkapazität: 1,5 Ohm
- Loop, 2 m Durchmesser, auf 80 m: 0,01 Ohm

Das Beispiel des Vertikalstrahlers zeigt: Eine Dach- oder Endkapazität ist im Vergleich zum Aufwand ein gutes Mittel, um den Strahlungswiderstand verkürzter Antennen zu erhöhen.

Zur Frequenzabhängigkeit der Impedanz informieren Bild 10 und Bild 11. Gezeigt wird der Verlauf von ohmschen Anteil und Blindanteil eines 1 mm dicken Dipols bei 100 MHz bis zur elektrischen Länge von drei Wellenlängen nach Balanis. Die Online-Berechnungsmöglichkeit bietet [3]. Hier kann auch nach Meincke berechnet werden, während sich eine Darstellung für Monopol nach Brown und Labus bis zu einer elektrischen Länge von einer Wellenlänge in [2] findet. Man sollte grundsätzlich dazu wissen, dass bei den Maxima die Richtcharakteristik oft nicht optimal ist.

Elektrische Länge/ Höhe

Die mechanische Länge (von Horizontalantennen, wie z.B. dem Halbwellendipol) bzw. Höhe (von Vertikalantennen, wie z.B. der Groundplane) hat eigentlich nur rein konstruktive Bedeutung. Denn sie bestimmt den Platzbedarf, das Gewicht, die Windlast, die mechanische Festigkeit, den Montageaufwand.

Elektrische Länge bzw. Höhe meint Bezug auf eine Wellenlänge der Betriebsfrequenz, was eine universelle Angabe gestattet. Ist ein Dipol beispielsweise etwas kürzer oder länger als eine halbe Wellenlänge, kommt eine echte Impedanz zustande: die Kombination eines Ohmschen und eines kapazitiven oder induktiven Widerstands. Daher bei elektrisch kurzen Antennen die „Verlängerungsspule“. Sie kompensiert die Kapazität im Speisepunkt.

Besonders interessant ist die Abhängigkeit des vertikalen Richtdiagramms, speziell des sogenannten Erhebungswinkels, von Vertikalantennen von ihrer elektrischen Höhe. Beträgt diese 5/8 der Wellenlänge, ist die Strahlung am flachsten.

Effektive Länge bzw. Höhe

Wie gut eine Antenne funktioniert, sagt die effektive (wirksame) Länge bzw. Höhe aus. Sie ist geringer als die mechanische Länge oder Höhe. Grund ist die sinusförmige Stromverteilung. Die effektive Länge eines Halbwellendipols ergibt sich, indem man die über ihm bergförmig verlaufende Stromfläche (Bild 12) bei gleichem Flächeninhalt einfach rechteckig macht, wobei der Maximalwert im Speisepunkt erhalten bleibt. Genau so erhält man natürlich auch die effektive Höhe z.B. eines Viertelwellenstabs.

Wichtig: Allein die effektive Länge/Höhe bestimmt die Spannung und damit die Leistung, die ein Feld beim Empfang erzeugt. Bei den genannten Antennen lassen sich diese Größen auf einfachste Weise errechnen:

- Halbwellendipol: 0,32 x Wellenlänge
- kurzer Dipol (<0,2 Wellenlängen): 0,5 x Antennenlänge
- Viertelwellen-Vertikalantenne: 0,16 x Wellenlänge
- kurze Vertikalantenne (<0,1 x Wellenlänge): 0,5 x Stablänge
- kurze Vertikalantenne mit Dachkapazität: Stablänge

Auf die magnetische Feldkomponente reagieren solche Antennen kaum. Diese Komponente kann daher vernachlässigt werden. Darum bezeichnet man diese „offenen“ Antennen auch als elektrische Antennen. Rahmen- und Ferritantennen sind magnetische Antennen, sie beruhen auf mindestens einer geschlossenen Windung. Auch für diese Antennen lassen sich effektive Längen ermitteln. Längen deshalb, weil sie in der Regel wie Horizontalantennen benutzt werden. Trotzdem hat sich in der Literatur der Begriff der Höhe eingebürgert, der dann richtig wäre, wenn man die Rahmenantenne liegend und die Ferritantenne stehend betreiben würde. Dann ergäbe sich

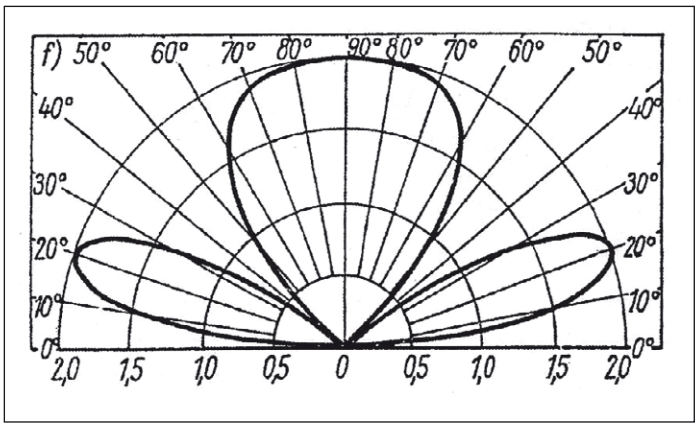

Bild 7: Vertikales Richtdiagramm eines horizontalen Halbwellendipols 3/4 λ über idealem Grund [2]

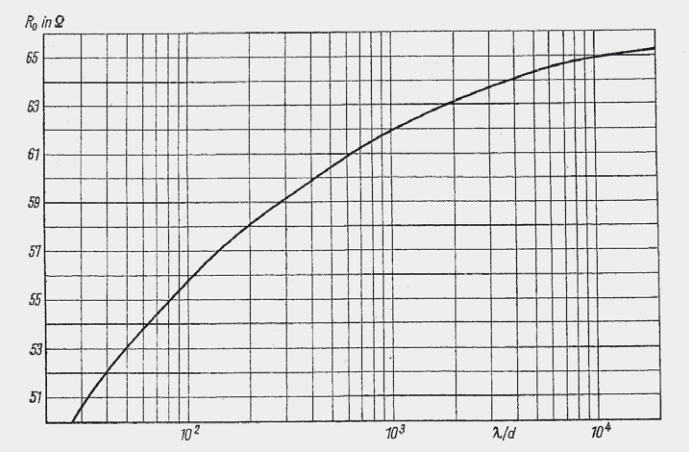

Bild 8: Der Eingangswiderstand R0 eines Halbwellendipols wird nur vom Drahtdurchmesser d bzw. der Drahtquerschnittsfläche bestimmt [2]

„Rundum-Charakteristik“ wie bei der Stabantenne.

Für eine ringförmige Rahmenantenne, deren Abmessungen wesentlich kleiner als die Wellenlänge sind, gilt praktisch:

$l_{eff} = 5 \times N \times D^2/\lambda$

N ... Windungszahl

D ... Durchmesser

λ ... Wellenlänge

Bei der Rahmenantenne erzeugt auch das E-Feld eine bemerkenswerte Spannung:

$U = E \times l_{eff} \times Q$

E ... elektrische Feldstärke bei optimaler Ausrichtung

Q ... Betriebsgüte

Dies deshalb, weil diese Antenne aus viel Draht besteht, wie auch eine elektrische Antenne! Man spricht vom „Antenneneffekt”. Dieser völlig unkonkrete Begriff entstand durch Abkürzung der einst benutzten Bezeichnung „Hochantenneneffekt”, was auf eine elektrische Antenne hinweist. Ich würde „Überlagerungseffekt” sagen. Er trübt die Peilminima ein, „verwäscht” sie. In erster Linie muss man aber die durch das Magnetfeld erzeugte Spannungskomponente berücksichtigen. Wir errechnen zunächst aber den Strom im Kreis:

$I = H \times l_{eff}$

H ... magnetische Feldstärke bei optimaler Ausrichtung

Die Empfangsspannung bzw. -leistung lässt sich dann über den Resonanzwiderstand des Kreises, den Lastwiderstand und die Betriebsgüte ermitteln.

Wirk-, Streu- und Verlustfläche

Die Strahlungsdichte einer einfallenden Welle und die dieser entnehmbare maximale Empfangsleistung sind proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist eine Fläche. Der Richtfaktor vergrößert diese Fläche, die man dann Wirkfläche nennt. Anders ausgedrückt: Die absolute Leistung, welche eine Empfangsantenne einem elektromagnetischen Feld entnehmen kann, wird von einer hypothetischen sogenannten Wirkfläche bestimmt. Wichtig zu wissen: Der Gewinn allein reicht zur Bestimmung dieser absoluten Empfangsleistung nicht aus!

Die Wirkfläche einer verlustfreien Antenne ist das Produkt aus quadrierter Wellenlänge mal Richtfaktor, geteilt durch 12,6 (4 x π). (Daher hat auch der hypothetische punktförmige Isotropstrahler eine Wirkfläche größer als null.) Sie allein bestimmt daher zusammen mit dem Antennenwirkungsgrad die Empfangsleistung, welche bekanntlich bei Leistungsanpassung maximal wird.

Ein Halbwellendipol hat die Wirkfläche 0,13 xλ2, eine kurze Vertikalantenne hat die Wirkfläche $0{,}06 \times \lambda^2$. Hierbei fällt auf, dass die Wirkfläche der deutlich kürzeren Antenne kaum kleiner ist als die Hälfte der deutlich längeren. Aus dieser Tatsache ziehen Aktivantennen mit ihren elektrisch kurzen Stäben ihre Wirksamkeit. Beim selben Antennentyp ergeben sich hingegen gewaltige Unterschiede mit Ändern der Wellenlänge. Etwa ein Halbwellendipol für 80 m hat die Wirkfläche

$(80\ m)^2 \times 1{,}64/12{,}6 = 6400\ m^2 \times 0{,}13 = 833\ m^2$;

ein Halbwellendipol für die Wellenlänge 10 m hat hingegen nur die Wirkfläche

$(10\ m)^2 \times 1{,}64/12{,}6 = 100\ m^2 \times 0{,}13 = 13\ m^2$.

Man stellt sich unter der Wirkfläche eine senkrecht zur Einfallsrichtung der Funkwellen liegende Fläche vor, welche die gleiche Leistung umfasst, die dem Feld von der Antenne bei Leistungsanpassung und Verlustfreiheit entzogen werden würde.

Neben dieser idealen Wirkfläche lässt sich auch eine reale oder effektive Wirkfläche errechnen, indem man statt des Richtfaktors den Gewinn als Faktor nimmt. Auch wenn man die auf eine Antenne wirkende Strahlung (Einheit: W/m^2) durch die bei Anpassung entnehmbare Leistung dividieren, erhält man diese Wirkfläche. Im hier besprochenen Empfangsfall nennt man sie auch Absorptionsfläche, im Sendefall auch Strahlungsfläche.

Je schärfer die Richtwirkung einer Antenne ist, umso mehr Leistung kann sie einem vorhandenen Feld entziehen (Empfangsfall) bzw. ein umso stärkeres Feld kann sie aus einer angebotenen Leistung erzeugen (Sendefall). Daher setzt man bei den Flächen immer Orientierung in Vorzugsrichtung voraus.

Die Wirkfläche – nichts weiter als eine erweiterte Gewinnangabe? Nicht ganz. Bedenken wir, dass die Strahlung im Sendefall frequenzunabhängig ist: Ein 80-m-Halbwellendipol erzeugt mit 10 W die gleiche Strahlung wie ein 6-m-Halbwellendipol. Ganz anders bei Empfang: Hier liefert der kurze Dipol nur rund ein Dreizehntel der Spannung des langen (80 m/6 m)! Dieser Tatsache trägt die Wirkfläche Rechnung, indem sie mit dem Quadrat der Wellenlänge zunimmt.

Ähnlich wie beim angepassten Sender die halbe Leistung an dessen Ausgangswiderstand auftritt, wird bei einer angepassten Empfangsantenne die halbe, dem Feld entnommene, Leistung wieder abgestrahlt. Somit kann man auch eine Streufläche definieren, die bei Anpassung und Verlustfreiheit gleich der Wirkfläche ist.

Über die Last lässt sich das Verhältnis der dann nicht nur für Anpassung definierten Flächen ändern: „Bei stetiger Vergrößerung des Klemmenwiderstands verringern sich die Streu- und die Wirkfläche. Jedoch nimmt die Streufläche schneller ab, sodass das Verhältnis der gestreuten zur absorbierten Leistung nach Ermessen eingestellt werden kann.“ [4]

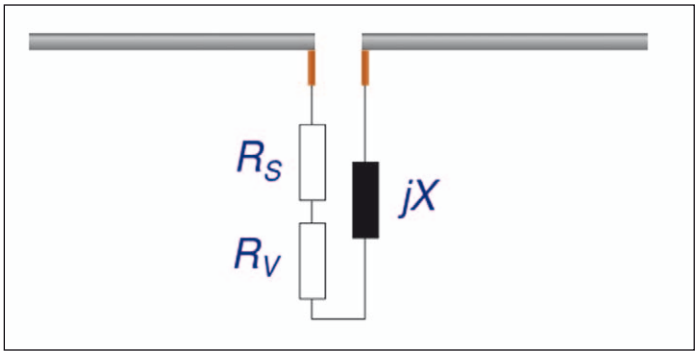

Bild 9: Ersatzschaltbild der Antennenimpedanz (Quelle: Mürrmann)

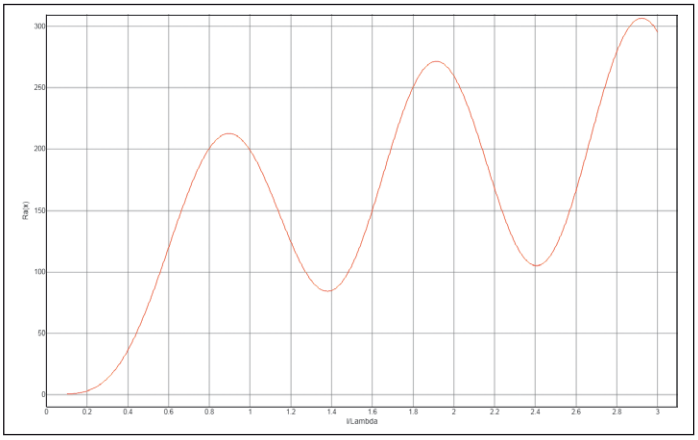

Bild 10: Verlauf des Realanteils einer aus 1 mm starkem Draht bestehenden Dipolantenne in Abhängigkeit von deren elektrischer Länge

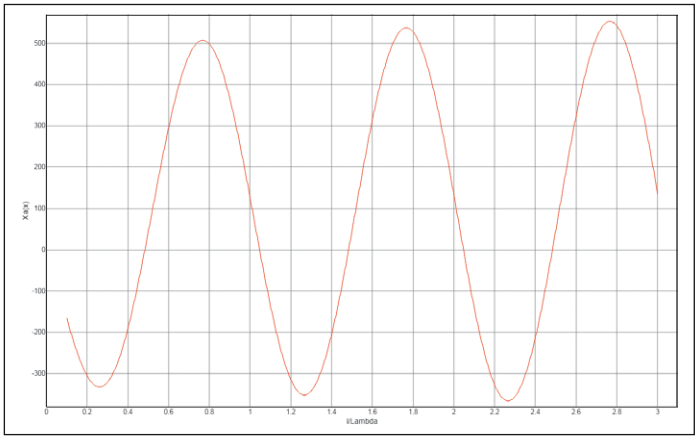

Bild 11: Verlauf des Blindanteils einer aus 1 mm starkem Draht bestehenden Dipolantenne in Abhängigkeit von deren elektrischer Länge

Äquivalent zu den Definitionen für Wirk- und Streufläche lässt sich mit der Verlustleistung und der Strahlungsdichte schließlich eine Verlustfläche definieren.

Rauschtemperatur und Systemgüte/Gütemaß

Die Rauschtemperatur ist eine hypothetische Rauschrechengröße. Es lässt sich entsprechend dem vorhandenen Rauschen, etwa dem Antennenrauschen, eine Temperatur finden, der es entspricht. Diese nennt man Rauschtemperatur. Damit ist die Rauschtemperatur lediglich eine Entsprechung des Rauschfaktors bzw. Rauschmaßes.

Beispielsweise in den Katalogen von Satellitenantennen-Herstellern können wir auf die Begriffe Systemgüte oder Gütemaß (Figure of Merit, M) oder G/T treffen. Hierbei handelt es sich um das logarithmische Verhältnis zwischen Antennengewinn bezüglich des Kugelstrahlers und logarithmierter Rauschtemperatur des Elektronikteils, also LNBs oder Verstärkers. Eine dBi-Angabe wird also zu einer logarithmierten Kelvin-Angabe (K) in Bezug gebracht.

Dies alles ist möglicherweise auf Anhieb nicht nachvollziehbar, macht aber (zumindest in Grenzen) Sinn. Denn die Güte einer solchen Empfangsanlage kann sowohl über den Antennengewinn als auch über das Eigenrauschen beeinflusst werden. Bei den Mikrowellen ist es ganz anders als bei den Kurzwellen: Das Antennerauschen liegt deutlich unter dem Verstärkerrauschen. Senkt man dieses, kann man wirklich besser empfangen.

Es gilt die Berechnungsformel:

M = Antennengewinn in dBi - 10 lg (Rauschtemperatur in K)

Man erhält die „Einheit“ dB/K. Für eine Satellitenantenne mit 36 dBi Gewinn und einen perfekt installierten LNB mit einer Rauschtemperatur von 55 K (ca. 0,8 dB) folgt:

M in dB/K = 36 - 10 lg 55 = 36 - 10 x 1,74 = 36 - 17,4 = 18,6

Würde man den LNB gegen einen 0,2-dB-Typ austauschen, sähe die Rechnung so aus:

M in dB/K = 36 - 10 lg 13 = 36 - 10 x 1,11 = 36 - 11,1 = 24,9

Die Systemgüte ist um über 6 dB gewachsen, obwohl das Eigenrauschen nur um 0,6 dB gesenkt wurde. Dies zeigt, dass man mit diesem Parameter vorsichtig umgehen muss! Er verstößt gewissermaßen gegen die Dezibel-Rechenregeln und ist daher zur Beurteilung einer Anlage nur eingeschränkt geeignet. Zuverlässiger arbeitet man mit seinen „Einzelteilen“ Gewinn und Rauschmaß.

Mehr Informationen bringt [5].

Last not least: die Bandbreite

Man definiert die Bandbreite für eine bestimmte SWR-Spanne, etwa max. 2 (dann 11% Leistungsverzicht an den so definierten Bandenden) und/oder SWR 3 (dann 25% Leistungsverzicht).

FS

Quellen:

[1] Ulrich Freyer: Dezibel für Anwender, Franzis-Verlag München 1989

[2] Karl Rothammel: Antennenbuch, 11. Auflage, Berlin 1988

[3] Website www.leobaumann.de/antennenimpedanz.htm

[4] H. P. Czernetzki: Wirk-, Streu- und Verlustfläche, Funk-Technik 17/1965, S. 676

[5] Jean-Pierre Waymel, Hartmut Klüver: Antennen-G/T-Rechner mit öffentlichem Quellcode, Dubus, Hamburg, Heft 1, 2 und 3/2017

Antennengewinn, -durchmesser, Wellenlänge und Empfangsleistung

Der Gewinn einer Parabolantenne steigt mit ihrem Durchmesser: Jede Verdopplung des Durchmessers bedeutet ein Gewinnplus von 6 dB (Spannungsverdopplung bzw. Leistungsvervierfachung). Der Zusammenhang ist leicht verständlich, denn die Reflektorfläche hat sich nun vervierfacht, die vierfache Leistung kann dem Feld entnommen und gebündelt werden.

Der Gewinn einer Parabolantenne ist zudem indirekt zum Quadrat der Wellenlänge. Verdoppelt man diese, so sinkt der Gewinn um 6 dB.

Mit anderen Worten: Eine Halbierung der Wellenlänge kann durch eine Verdopplung des Antennendurchmessers ausgeglichen werden. Das könnte zu dem falschen Schluss verleiten, dass die Empfangsleistung mit der Wellenlänge sinkt bzw. mit der Frequenz steigt. Dies ist ein Trugschluss, die Empfangsleistung einer Parabolantenne ist von der Frequenz unabhängig. Das ist über die Wirkfläche der Antenne zu erklären, die sich proportional zur quadrierten Wellenlänge verhält. ◄

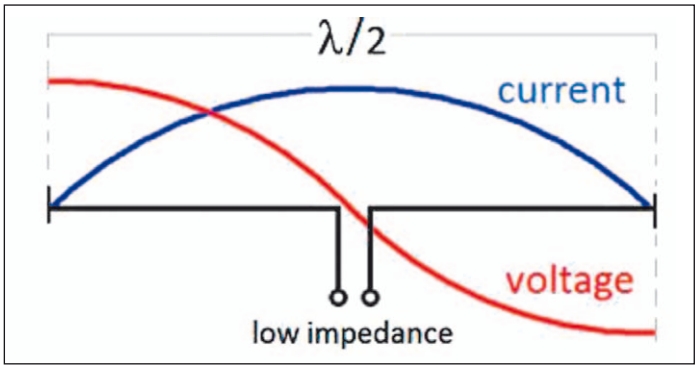

Bild 12: Strom- und Spannungsverlauf über dem Halbwellendipol. Der Strom wäre durch Einfügen eines HF-Strommessers leicht messbar, die Spannung bezieht sich auf den Einspeisepunkt. An jedem Punkt der Antenne ist die Leistung gleich