Antennenkompendium

Inhaltsverzeichnis

1 **Allgemeines** 2
2 **Antennenschnittstelle** 2
2.1 Fußpunktwiderstand Z 2
2.2 Symetrieeigenschaften der Antennenschnittstelle 3
2.3 Steckernorm 3
3 **Wirkungsgrad** 3
4 **Polarisation** 4
5 **Strahlungsdiagramm** 4
6 **Antennengewinn** 5
7 **Nahbereich (Nahfeld), Übergangszone und Fernfeld** 6
8 **Ergänzungen** 7
8.1 Aktive Antennen 7
8.2 Magnetische Antennen / Rahmenantennen 7

Allgemeines

Unter einer Antenne versteht man ganz allgemein einen Wellentyp-Wandler, der hochfrequente leitungsgeführte Wellen in Freiraumwellen umwandelt und umgekehrt. Das hochfrequente elektro-magnetischer Feld (HF-Feld) besteht aus zwei miteinander gekoppelten Komponenten, und zwar einem elektrischen und einem magnetischen Feld. Von einer „elektrischen Antenne“ spricht man dann, wenn die Antenne die elektrische Feldkomponente anregt bzw. die Antenne von dieser Feldkomponente angeregt wird. Diese Anregung ist nur kapazitiv möglich, d.h. eine elektrische Antenne stellt eine Kapazität gegenüber der Antennenumgebung dar. Von 2magnetischen Antennen“ spricht man hingegen, wenn die Antenne die magnetische Feldkomponente anregt bzw. von ihr angeregt wird (siehe Anmerkungen). Diese Anregung ist nur induktiv möglich, d.h. durch eine Spule, die allerdings klein gegen über der Wellenlänge sein muß (Durchmesser kleiner/gleich 1/10 der Wellenlänge). Die im KW-Bereich sehr oft verwendeten großen Drahtschleifen (z.B. Quadantennen) sind hingegen rein elektrische Antennen. Für Antennen gilt allgemein das sog. „Umkehrprinzip“ (Reziprozitätstheorem), dass besagt, dass eine Antenne für den Sende- und für den Empfangsfall die gleichen hochfrequenten Eigenschaften aufweist und daher auch die charakteristischen Kenngrößen für diese beiden Anwendungsfälle ident sind. Seit ca. 1970 gibt es dafür aber eine Ausnahme. Die sog. „Aktivantennen“ (h. Lindenmeier) sind nur für den Empfangsfall und nicht für den Sendebetrieb verwendbar (siehe Anmerkung). Unter der Vielzahl bekannter Antennenformen werden im Amateurfunk fast ausschließlich nur drei davon benutzt und zwar lineare Antennen, Antennen mit reflektierenden Flächen und Hornantennen (Hornstrahler). Die linearen Antennen, die typisch nur eine bevorzugte mechanische Dimension haben (typisch Drahtantenne), lassen sich alle auf einen Dipol oder Dipolkombination zurückführen. Im KW-Bereich werden fast nur lineare Antennen verwendet. Antennen mit reflektierenden Flächen sind typisch für hohe und sehr hohe Frequenzen, wobei die reflektierenden Flächen eben sein können (z.B. Winkereflektor) oder räumlich gekrümmt sind (z.B. Parabolantenne). Der eigentliche Erreger (Strahler), der sich vor der reflektierenden Fläche befindet, ist entweder ein lineares Antennenelement oder ein Hornstrahler. Die Hornstrahler schließlich werden nur im GHz-Bereich verwendet und stellen im Prinzip einen trichterförmig aufgeweiteten, einseitig offenen Hohlleiter dar. Die hochfrequenten Eigenschaften von Antennen können durch eine Vielzahl von Kenngrößen beschrieben werden. Wir wollen uns hier auf die wichtigsten beschränken, deren Kenntnis für den Amateurfunkalltag völlig ausreicht und dass wir „über Antennen fachsimpeln können“.

Antennenschnittstelle

Die Antennenschnittstelle ist Speisepunkt der Antenne. Sie wird – wie jede andere hochfrequente Schnittstelle auch – durch drei Kenngrößen charakterisiert.

Fußpunktwiderstand Z

Dieser ist im allgemeinen Fall komplex, d.h. er weist einen ohmschen (Wirk-) Anteil und eine Blindkomponente auf. Ist die Antenne resonant, dann trit nur ein ohmscher Wiederstand auf, ist sie hingegen länger als die Resonanzlänge, dann tritt ein induktiver Blindanteil auf, ist sie kürzer als die Resonanzlänge, dann ist der Blindanteil kapazitiv. Soll eine nicht resonante Antenne in Resonanz gebracht werden, dann muß der jeweilige Blindanteil am Antennenfußpunkt durch

einen gleichgroßen, jedoch entgegengesezt wirkenden Blindwiderstand „kompensiert“ werden (Verlängerungsspule, Verkürzungskondensator). Um eine optimale Leistungsübertragung vom Antennenkabel zur Antenne sicherzustellen, müssen die HF-eigenschaften des Kabels und des Fußpunktwiederstandes ident sein. Im Falle des Fußpunktwiederstandes muß dieser mit dem HF-Wiederstand des Kabels übereinstimmen. In der HF-Technik herrscht heute die „50-Ohm.Welt“ vor. Auch im Amateurfunk werden vorrangig 50 Ohm Koaxialkabel verwendet. Wenn daher der Fußpunktwiederstand der Antenne von 50 Ohm abweicht, dann kommt es an dieser Schnittstelle zu Reflexionen und dadurch zur Ausbildung von Stehwellen, auf der Koaxialleitung. Dadurch geht neben der Grunddämpfung des Koaxialkabels zusätzlich HF-Leistung „verloren“ (sie wird in Wärme umgesetzt). Um die Schnittstellenwiederstände ident zu mache, werden sog. „Antennenanpassgeräte“ verwendet. Sie haben die Aufgabe, den Fußpunktwiederstand , den Fußpunktwiederstand der Antenne auf den HF-Kabelwiederstnd zu transformieren und zudem übernehmen sie dabei auch meist die Aufgabe, allfällige Blindantgeile wegzustimmen. Antennenanpassgeräte gehören daher an den Fußpunkt der Antenne! Im einfachsten Fall ist das Anpassgerät eine Kombination aus Spulen und Kondensatoren, wobei die „Verlustbringer“ fast immer die Spulen sind, die im Amateurfunk of eine zu geringe Güte aufweisen.

Symetrieeigenschaften der Antennenschnittstelle

Grundsätzlich wird zwischen symmetischen und unsymmetrischen linearen Antennen unterschieden. Dementsprechen muß auch das Antennenkabel ausgeführt sind. Ist dies nicht der Fall, wird also eine symmetische Antenne (Dipol) mit einem unsymmetrischen Koaxialkabel angespeist, dann bilden sich auf diesem Koaxialkabel Mantellwellen aus, das Koaxialkabel strahlt (es wir selbst zu einer Antenne) und die beabsichtigte Schirmwirkung geht verloren. Sind daher die Symmetrieeigenschaften zwischen Antennenkabel und Antennenschnittstelle nicht ident, muss symmetriert werden (Balun, HF-Drossel). Bei einer offenen Zweidrahtleitung, die durch die gleich großen, jedoch entgegengesetzt fließenden Ströme an sich ebenfalls eine Schirmwirkung aufweist, geht diese durch ungleich Ströme auf den Leitungen verloren und sie strahlt dann ebenfalls. Der Begriff Mantelwellen ist bei offenen Zweidrahtleitungen nicht üblich.

Steckernorm

Um eine einwandreie elektrische und mechanisch belastbare Verbindung zwischen Antennenschnittstelle und Antennenkabel herzustellen, müssen die Steckernormen ident sein. Im Amateurfunk ist für Antennen die PL, N und BNC-Norm üblich, im militärischen Bereich die C-Norm. Für hochwertigere Antennenkabel werden Stecker verwendet die meist nach der Erzeugerfirma benannt werden (z.B. Spinner-Stecker). Stimmen die Normen an der Schnittstlle nicht überein, sind für einwandfreie Verbindungen Adapter erforderlich. Achtung – nur N-Stecker können wirklich wasserdicht ausgeführt werden!

Wirkungsgrad

Unter dem Antennenwirkungsgrad versteht man das Verhältnis zwischen der Leistung, die der Antenne zugeführte und jener, die tatsächlich abgestrahlt wird. Eine verlustfreie, ideale Antenne hätte den Wirkungsgrad 1 oder 100%. Der Wirkungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis des Strahlungswiderstandes zur Summer aller auftretenden Verlustwiderstände. Der Strahlungswiderstand ergibt sich bei vorgegebener Wellenlänge aus der elektrischen Dimension

der Antenne. Diese unterscheidet sich von der mechanischen Dimension durch Berücksichtigung des Verkürzungsfaktors (Schlankheitsgrades). Der Strahlungswiderstand ist für einen Halbwellendipol ca. 72 Ohm, für einen Viertelwellenstrahler rund 36 Ohm, für stark verkürzte Antennen fällt er rasch unter 10 Ohm und beträgt für typische Dimensionen von Magnetantennen nur Bruchteile eines Ohms! Die Verlustwiederstände ergeben sich aus den rein ohmschen Verlusten des Antennenmaterials, die bei den üblich verwendeten Materialien (Alu, Kupfer, Bronze) und Antennendimensionen weitgehend vernachlässigt werden können, aus Isolationsverlusten und bei Vertikalantennen, sowie bodennah montierten Horizontalantennen aus den Erdverlusten. Bei nicht resonanten Antennen kommen dazu noch Verluste durch Abstimmelemente und Anpasselemente die allerdings bei sorgfältigen Aufbau vernachlässigbar sind (Größenordnung 3-5%), bei geringer Güte der Komponenten (Spule!), sowie mehrdeutiger Kombination der Bauteile (z.B. T-Glied!) trotz Anpassung schnell 30% und mehr betragen können! Bei einem resonanten, horizontalen Halbwellendipol in ausreichender Höhe über Grund kann mit einem Wirkungsgrad von über 97% gerechnet werden. Bei stark verkürzten Mobilantennen sinkt er schnell deutlich unter 20% und bei kleinen Loopantennen und nicht höchster Sorgfalt beim Aufbau bleiben nur ein paar wenige % über. Gerade bei diesen kleinen Antennenformen spielt dann auch die Materialwahl eine zunehmende Rolle. Grundsätzlich wird man daher versuchen, die Verlustwiderstände vor allem bei verkürzten Antennenformen so gering als möglich zu halten.

Polarisation

Unter der Polarisation eines elektromagnetischen Feldes versteht man die Schwingungsebene des elektrischen Feldvektors.

Datei:240px-Polarisation (Linear).svg.png).svg	Datei:Polarisation (Circular).svg	Datei:Polarisation (Elliptical).svg
linear polarisierte Welle	zirkular polarisierte Welle	elliptisch polarisierte Welle

Sie ist im allgemeinsten Fall elliptisch, d.h. die Spitze des elektrischen Feldvektors beschreibt eine Ellipse. Sind die Achsen dieser Elliüpse gleich lang, dann entartet sie in einen Kreis und man spricht dann von Kreis. Oder Zirkularpolarisation, die rechts- oder linksdrehend sein kann. Schwingt der elektrische Feldvektor schließlich in einer Ebene, dann spricht man von linearer Polarisation Je nach Lager dieser Ebene zur Bezugsebene , die beim terrestrischen Funk die ben angenommene Erdoberfläche immer einen vertikalen und einen horizontalen Anteil, der sich jedoch ständig in seiner Stärke (Feldstärke) änder und so zu einem „Polarisationsfading“ führt. Während nahezu alle KWW-Antennebn linear polarisiert sind, verwendet man im UKW-Bereich für EME- und Satellitenverbindungen oft zirkular polarisierte Antennen, da es beim Durchgang des elektromagnetischen Feldes durch die Ionospäre zu einer Polarisationsdrehung kommt. Senkrecht zur Erdoberfläche angeordnete Antennen sind also vertikal polarisiert, während horizontal dazu angeordnete lineare Antennen horizontal polarisiert sind. Nach Reflexion der KW an der Ionospäre geht die ursprünglich immer lineare Polarisation in eine elliptische Polarisation über, so dass es für den DX-Verkehr eigentlich unerheblich ist, welche Polarisation die Antenne aufweist, da immer beide Anteile vorhanden sind. Bezüglich des Abstrahlwinkels (siehe) ist diese Aussage jedoch nicht ganz zutreffend.

Strahlungsdiagramm

Unter dem Strahlungsdiagramm versteht man die räumliche Verteilung des elektrischen Feldes um eine Antenne. Dabei muß immer zwischen dem „freiraumverhalten“ (Antenne mindest 10 Wellenlängen über einer störenden Fläche, z.B. Erdboden), dem „idealen Fall“ (Antenne befindet sich über einer unendlich ausgedehnten und unendlich gut leitenden ebenen Fläche) und dem „realen Fall“ unterscheiden, bei dem die Bodenleitfähigkeit und das Geländeprofil mitberücksichtigt werden. Früher eine sehr aufwändige mathematische Angelegenheit, ist es heute mit allgemein erhältlicher Software möglich, die Strahlungsdiagramme aller nur denkbarer Antennenformen einschließlich Boden- und Geländeeinfluß zu berechnen zu berechnen und tabellarisch oder graphisch darzustellen. Dabei werden zur graphischen Darstellung zwei Diagramme bevorzugt verwendet und zwar das Horizontaldiagramm (parallel zur Erdoberfläche), auf dem die Richtwirkung von Richtantennen sofort erkennbar ist, Nebenkeulen dargestellt werden und der „Öffnungswinkel“ sofort abgelesen werden kann. Dieser gibt an, innerhalb welchen Winkelbereiches die Strahlungsleistung auf die Hälfte (-3dB) zurückgeht. Das Vertikaldiagramm (senkrecht zur Erdoberfläche) läßt hingegen die sofortige Bestimmung des Abstrahlwinkels zu, der vor allem für KW von wesentlicher Bedeutung ist. Bei horizontal polarisierten Antennen ist dieser Winkel von der Höhe der Antenne über der Antennenumgebung bis mindest 10 Wellenlängen abhängt (manche Autoren gehen von 50 und noch mehr Wellenlängen aus). Der Abstrahlwinkel ist – wenige Sonderfälle ausgenommen – dafür verantwortlich, wie viele Reflexionen („Sprünge; Hops“) bis zum Zielort notwendig sind und damit, wie viel an Zusatzdämpfung neben der reinen Entfernungsdämpfung zu erwarten ist. Zur groben Abschätzung ist von -10 dB je Ionosphärenreflexion (eigentlich Brechung) inklusive Dämpfungseffekten in der D-Schicht und -3 dB je Bodenreflexion auszugehen. Bei vertikal polarisierten Antennen treten über Durchschnittsböden Abstrahlwinkel von 20° und mehr auf. Über Meerwasser ist dieser Winkel (in der Fachliteratur als „Pseudo-Brewsterwinkel“ bezeichnet) nur wenige 2° bis 5°. Das verursacht einen uneinholbaren Vorteil für alle unmittelbar an der Küste stehenden Vertikalantennen („Sea-Gain“). Wegen der für horizontal polarisierte Antennen zur Erzielung eines flachen Abstrahlwinkels notwendigen Aufbauhöhe von mindest einer halben Wellenlänge über Grund, liegt für die Mehrzahl der Funkamateure die Entscheidung, ob vertikal oder horizontal polarisiert, bei 10 MHz. Nur mehr eine kleine („Glückliche Minderheit) kann/darf höhere Antennenmaste errichten, von den Kosten einmal ganz abgesehen. Da die Mehrzahl der künstlichen Störungen („Man Made Noise“) vertikal polarisiert ist, sind Vertikalantennen „störanfälliger“ als horizontal polarisierte Antennen. Hier treffen dann zwei ungünstige Momente im Stadtgebiet zusammen: beschränkter Platz zwingt zu Vertikalantennen und gerade dichter besiedeltes Gebiet und/oder Industrie liefert einen höheren Störpegel. Vor vielen Jahren noch bezüglich Antennenhöhe(n) und Dimension(en) völlig uneingeschränkt, gehöre ich nun zu der Mehrzahl der „Antennengeschädigten“ in einer Großstadt – beides erlebt und absolut keine Vergleich!

Antennengewinn

Ausgangspunkt ist ein „isotroper Strahler“, das ist eine nur theoretisch denkbare punktförmige Antenne, die nach allen Richtungen hin gleiche Strahlungseigenschaften aufweist. Sie wird vor allem für Rechenmodelle als Bezugsantenne verwendet und alle Leistungsangaben erfolgen dann in dBi. Ein solcher Strahler ist in alle Richtungen hin ein idealer Rundstrahler. Die einfachste realisierbare Antenne ist ein Dipol, der als Bezugsantenne als resonanter Halbwellendipol

ausgeführt wird. Alle Leistungsangaben gegenüber diesem Halbwellendipol erfolgen dann in dBd und da er gegenüber dem isotropen Strahler bereits zwei ausgeprägte Vorzugsrichtungen hat, weist er gegen diesen einen Gewinn von rund 2 dBi auf. Der gewinn ist also eine Angabe in dB, wie viel mal mehr Leistung von einer Antenne in eine (oder mehrere Vorzugsrichtungen) gegenüber einer Bezugsantenne abgestrahlt bzw. im Empfangsfall aufgenommen wird. Bei linearen Antennen können durch Kombination von mehreren Antennenelementen Gewinne von 6 dBd (z.B. optimierte Yagiantenne mit 3 Elementen), maximal aber rund 18 dBd in einem System erreicht werden. Eine „Stockung“ bringt einen Gewinnzuwachs von theoretisch weiteren 3 dB je System. Mit Parabolantennen hingegen sind 30, 40 und mehr dB Gewinn möglich. Wegen der notwendigen Dimensionen werden solche Antennen aber nur auf höheren Frequenzen verwendet, im Amateurfunk typisch ab 23 cm aufwärts. Parabole für das 70-cm-Band haben im Amateurfunk Seltenheitswert. Gewinn in (meist) eine Vorzugsrichtung bedeutet aber, dass alle anderen Richtungen „benachteiligt“ werden, was zu Ausblendung von Störungen und Rauschen immer erwünscht ist. Dazu definiert man zwei charakteristische Kenngrößen, und zwar

- Das Vor-Rückwärtsverhältnis („front to back ratio“) in dB und
- Das Vor-Seitenverhältnis („front to side ratio“)

Beide Kenngrößen sind direkt aus dem horizontalen Strahlungsdiagramm ablesbar. Rechtantennen haben allerdings den „Nachteil“, dss sie entweder schaltbar oder drehbar angeordnet sein müssen, soll nicht nur eine Richtung bevorzugt werden. Bei vertikalen Antennenkombinationen ist die Antennenanordnung starr und die Richtungsänderung erfolgt typisch mittels „Phasendrehgleider“, während horizontale Richtantennen mittels Antennenrotoren gedreht werden.

Nahbereich (Nahfeld), Übergangszone und Fernfeld

Im Nahfeld der Antenne können die Antenneneigenschaften stark beeinflußt werden. Das kann einerseits ein Nachteil sein, wenn die Strahlungseigenschaften in eine oder mehrere Richtungen unerwünscht gestört werden. Umgekehrt nutzt man das Nahfeld einer Antenne aus, wenn eine bevorzugte Strahlungsrichtung erzielt werden soll. Dazu werden im Nahbereich resonante oder annähernd resonante Leiter angebracht, die mit dem eigentlichen Strahler passiv gekoppelt sind (typisch Yagi-Antenne) oder alle Elemente aktiv angespeist werden (Dipolzellen und Spalten). Damit enstehen Richtantennen mit symmetrischen oder unsymmetrischen (einseitigen) Strahlungsdiagrammen. Dieses Nahfeld reicht ca. eine halbe bis max. eine Wellenlänge um die Antenne. Daran schließ die als Fernfeld bezeichnet. Für die Kommunikation interessieren die Strahlungseigenschaften der Antenne im Fernfeld, während das Nahfeld für den Antennenbauer interessant ist, da er hier die Strahlungseigenschaft beeinflussen kann. Für die Praxis gilt die Faustregel, dass Leiter im Nahfeld, die kürzer/länger als 10% der Resonanzlänge sind, das Strahlungsdiagramm nicht mehr wesentlich beeinflussen.

Ergänzungen

Aktive Antennen

Verkürzt man einen linearen Strahler von der Halbwellenresonanz beginnend, dann nimmt die entnehmbare Signalleistung allmählich ab, es verbessert sich allerdings gleichzeitig das für den Empfang ausschlaggebende Signal-Rauschverhältnis. Schließlich erreicht man für den KW-Bereich bei ca. 1,5 m Strahlerlänge einen Wert, bei dem ein optimales Signal-Rauschverhältnis erreicht wird. Ein derartiger Strahler hat aber einen extrem kleinen Strahlungswiderstand, so daß eine passive Leistungsauskopplung über ein Koaxialkabel einem Kurzschluß gleichkommt. Wird der Antennenfußpunkt hingegen mit einem sehr hochohmigen, aktiven Bauteil verbunden (typisch FET), dann „sieht“ die Antenne diese Belastung nicht und die Signallleistung kann ausgekoppelt werden, wobei das aktive Baulelement nicht verstärkt (sogar leicht negativer Gewinn), sondern als Impedanzwandler von einigen Mega-Ohm eingangsseitig auf rund 50 Ohm ausgangsseitig wirkt. Dahinter folgen dann ein oder mehrere konventionelle Verstärkerstufen. Diese Antennen haben zwi Schachstellen, deren Überwindung einen teilweise hohen Schaltungsaufwand und ausgefeilte Bauteileauslegung erfordern. Aktive Bauelemente sind anfällig gegen Felder, Blitzschlag!). Professionelle Aktivantennen mit einem intermodulationsfreien Dynamikbereich von +35dB und mehr und hoher Spannungsresistenz (gegen einen direkten Einschlag gibt es keinen wirksamen Schutz sondern nur eine möglichst gute Versicherung!) sind daher teuer und ihre Verwendung ist im Amateurfunk eher selten. Sie sind typisch im kommerziellen Bereich, wo Sende- und Empfangsantennen aus Platzgründen in nur geringem Abstand zueinander angeordnet werden müssen (typisch 10 m und weniger). Auf Grund ihrer geringen Baugröße sind sie allerdings ideal für gephaste Empfangs-Systeme für 160 /80 und 40 m, da sie sich quasi „gegenseitig nicht sehen“ und so die Bußpunktimpedanz nicht beeinflussen und man so von ungestörten 50-Ohm-Schnittstellen ausgehen kann.

Magnetische Antennen / Rahmenantennen

Von magnetischen Antennen spricht man dann, wenn ausschließlich die magnetische Feldkomponente angeregt bzw. aufgenommen wird. Diese Antennen haben ein ähnliches symmetrisches Richtdiagramm wie ein elektrischer Dipol, die 2 Minima liegen allerdings senkrecht zur Antennenebene. Sie können für den Empfang breitbandig oder abgestimmt betrieben werden und eignen sich besonders auf den tieferen Frequenzbändern sehr gut als „leise “ Empfangantennen mit zwei ausgeprägten Minima. Typisch sind Durchmessern von 50 cm /Mehrwindungsloop) bis 3 m, wobei für abgestimmten Betrieb mit ca. 1 m Durchmesser auf KW bereits sehr gute Ergebnisse erzielt werden können, Als Sendeantenne verlangen sie auf Grund des sehr kleinen Strahlungswiderstandes hochwertige Materialien und sorgfältigen Aufbau, da sonst die Verluste extrem hoch werden können. Dass damit aber trotzdem ausgezeichnete DX-Verbindungen möglich sind zeigt indirekt, dass selbst kleinste effektiv abgestrahlte Leistungen im KW-Bereich für DX-Verkehr ausreichen. Eigentlich schade um die vergeudete viele Sendeleistung – eine wohl sehr aufwendige Luftheizung. Aber das gilt ja für alle kleinen / kurzen Sende – Antennen. Ich habe bewußt auf Formeln verzichtet, weil sie der praktisch tätige Funkamateur

kaum verwendet, sondern heute, wenn er über seine oder eine „neue“ Antenne mehr wissen möchte, zu einem der gängigen Rechenprogramm greift, die ihm neben den charakteristischen Strahlungsdiagrammen alle anderen charakteristischen Werte auf 5 Kommastellen genau liefern, ohne dass wie früher der Rechenstift bemüht werden muss. Wenn wir uns über Antennen unterhalten, dann sollten wir bei den verwendeten Begriffen alle das gleiche meinen und das war der Hauptzweck dieses Artikels.

Quelle: Von Dr. Ronald Eisenwagner - OE3REB / 9A5JR