29.03.2007

Oliver Bartels

Wellenfänger

So funk-tionieren Antennen

Eine externe Antenne soll die WLAN-Reichweite steigern, aber warum funkt das Netz nicht mal mehr durch die Wohnung, wenn ein Stückchen Draht in der Antennenbuchse steckt? Mit etwas Physik und wenig Aufwand kann man eine wirksame Richtantenne selbst bauen.

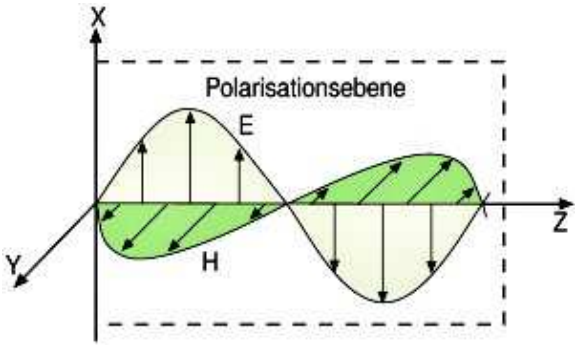
Schon 1886 hat Heinrich Hertz demonstriert, dass man elektrische und magnetische Felder zur Übertragung von Nachrichten nutzen kann. Das Sendesignal wurde damals mangels Elektronenröhren oder Transistoren mit einer Funkenstrecke erzeugt, daher stammt die Bezeichnung Funk(technik). Erst später entdeckte man, dass lange Drähte anstelle der Funkenstrecke die Reichweite von Sendeanlagen erheblich steigern konnten. Dabei hat der Draht die Aufgabe, die vom Sender abgegebene Hochfrequenz (HF) als elektromagnetische Welle in die Umgebung auszukoppeln, das **Prinzip Antenne[1]** war geboren.

Zum Bereich der elektromagnetischen Wellen gehört nicht nur der Funk zwischen Langwelle und Mikrowelle, auch Wärmestrahlung, Licht und Röntgenstrahlung sind nichts anderes als elektromagnetische Wellen. Diese unterscheiden sich nur erheblich in der Wellenlänge vom gewöhnlichen Funk. UKW-Rundfunk arbeitet bei etwa drei Meter Wellenlänge und 2,4-GHz-WLAN bei rund 12 cm. Dagegen hat rotes Licht nur 650 nm (650 milliardstel Meter) und Röntgenstrahlung noch viel weniger.

Die Wellenlänge λ und die Frequenz f des Signals hängen im freien Raum unmittelbar zusammen, ihr Produkt ist die Lichtgeschwindigkeit c (rund 300.000 km pro Sekunde); die Ausbreitung erfolgt für irdische Maßstäbe extrem schnell. In anderen Medien als Luft oder Vakuum kann die Wellengeschwindigkeit deutlich niedriger liegen: Beispielsweise beträgt sie in Koaxialkabeln, kurz Koax, je nach Typ nur 60 bis 70 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Deswegen ist die Wellenlänge im Kabel auch deutlich kürzer als im Freien.

Immer senkrecht

Durch die gegenseitige Beeinflussung des elektrischen und magnetischen Feldes ergibt sich aus den Maxwellschen Gleichungen, dass sich elektromagnetische Wellen bei Abwesenheit weiterer Einflüsse grundsätzlich als Transversalwelle ausbreiten (transversal: quer verlaufend). Das elektrische Feld steht dabei stets senkrecht auf dem magnetischen Feld, beide stehen senkrecht zur der Ausbreitungsrichtung.

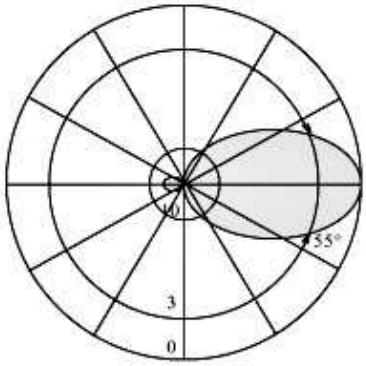


Weil sich elektromagnetische Wellen transversal ausbreiten, gibt es zwei Polarisationsrichtungen: waagerecht und senkrecht, jeweils auf das elektrische Feld E bezogen.

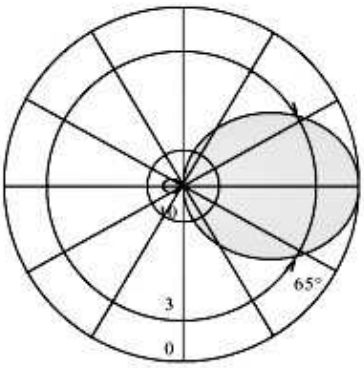
Daraus folgt, dass es viele getrennte Wellen gibt, die mit gleicher Frequenz in die gleiche Richtung laufen: In der Praxis nutzt man häufig horizontal polarisierte Wellen mit waagerechtem elektrischen und senkrechtem magnetischen Feld sowie vertikal polarisierte Wellen mit senkrechtem elektrischen und waagerechtem magnetischen Feld. WLAN wird dabei ebenso wie Mobilfunk zumeist vertikal polarisiert gesendet (der Strahler einer Antenne steht senkrecht), hingegen wird UKW- und Fernsehrundfunk mit einer horizontalen Polarisation ausgestrahlt.

Deshalb muss man zwei Antennen, die gut miteinander "sprechen" sollen, stets in der gleichen Orientierung, also Polarisationsebene, montieren. Je nach Umgebung und Antennengüte kann die falsche Polarisation einiges an Signalstärke kosten oder sogar gleich die Verbindung.

Ausgerichtet



Horizontal



Vertical

Das Richtdiagramm gibt für die horizontale und vertikale Ebene an, wie gut eine Antenne in jede Raumrichtung sendet und empfängt: Je schmaler die Keule, desto höher der Gewinn in Vorzugsrichtung.

Messungen an Antennen sind im Nahfeld sehr schwierig, weil sich die Felder hier noch nicht sphärisch ausgebildet haben und Beugungs- und Streuungseffekte hereinspielen. Als Daumenregel geht man davon aus, dass das Fernfeld bei Entfernungen größer als der vierfachen Wellenlänge beginnt, bei WLAN also ab etwa einem halben Meter. Dort lassen sich Hochfrequenz-Antennen (HF-Antennen) dann sehr einfach mit einem Richtdiagramm beschreiben: Man denkt sich eine Kugel um die Antenne und misst, wie stark das Signal in welche Richtung abgestrahlt wird. Dabei gibt es das Idealbild des isotropen Strahlers, der in alle Richtungen gleichstark sendet.

Umgekehrt ist eine Antenne denkbar, die eine ganz bestimmte Richtung bevorzugt und ihr Signal nur in einen Kegel mit wenigen Grad Öffnungswinkel leitet. Weil diese Antenne dazu die gesamte Sendeleistung verwenden kann, die ursprünglich für die komplette Kugel gedacht war, erhält ein in Vorzugsrichtung liegender Empfänger ein viel stärkeres Signal. Deshalb spricht man von einem Antennengewinn. Allerdings wird bei Richtantennen der Rest der Welt wesentlich schlechter bedient. Eine Antenne, die ohne zusätzlichen Verstärker sowohl einen sehr hohen Gewinn als auch eine möglichst gute Rundumabstrahlung leisten soll, kann es entgegen mancher Marketingaussage nicht geben.

Gewinn und Reichweite

Den Antennengewinn geben die Hersteller üblicherweise in dBi an, Dezibel (zehntel Bel) bezogen auf den isotropen Strahler. Das Bel – benannt nach Alexander Graham Bell – ist der Logarithmus zur Basis 10 der bezogenen Einheit. 10 Milliwatt gegenüber einem Milliwatt entspricht 1 Bel oder 10 dB, 100 mW zu 1 mW entsprechen 20 dB. Demnach würde ein Gewinn von 30 dBi bedeuten, dass solch eine Antenne in ihre Hauptrichtung das Tausendfache dessen abstrahlt, was der isotrope Strahler dorthin senden würde. Sind Vorzeichen angegeben, dann kennzeichnen positive dB-Angaben stets eine Verstärkung (Ausgangsleistung größer als Eingangsleistung), negative dagegen eine Dämpfung (Ausgangsleistung kleiner als Eingangsleistung).

Wenn man sich die Kugel um die Antenne vorstellt, dann lässt sich leicht berechnen, wie viel Leistung tatsächlich beim Empfänger ankommt: Die Kugeloberfläche wächst mit dem Quadrat des Radius, und die Ausbreitung der Wellen ist im Fernfeld unabhängig von der Antenne. Damit verteilt sich die Leistung in einem immer größeren Abstand auf eine quadratisch wachsende Kugeloberfläche: Verdoppelt man die Distanz, kommt beim Empfänger nur noch ein Viertel des Signals an. Deshalb bewirkt eine verdoppelte Sendeleistung (+3 dB) keineswegs doppelte Reichweite, man bräuchte mindestens eine Vervierfachung (+6 dB).

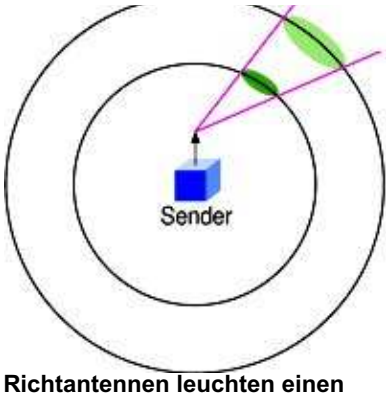
Weiter als bis zum sichtbaren Horizont kommt man bei WLAN-Frequenzen aber generell nicht, da sich die Wellen bei 2,4 GHz quasioptisch ausbreiten. Kurzwelle (3 bis 30 MHz) reicht über den Horizont hinaus, da je nach Frequenz verschiedene Atmosphärenschichten als Reflektor wirken und das Signal um die Erdkrümmung lenken.

Antennen verhalten sich zudem reziprok: Eine Antenne, die beim Senden die Abstrahlung in eine bestimmte Richtung bündelt, wird auch beim Empfangen aus dieser Richtung besonders gut funktionieren. Am Antennenfuß steht ein um den Gewinn stärkeres Signal bereit, ohne dass ein elektronischer Verstärker sein unvermeidliches Rauschen dazu gibt. Daraus resultiert ein bei Funkamateuren gängiger Spruch: Eine gute Antenne ist der beste Verstärker.

Grenzwertig

Für WLAN ist die zulässige Sendeleistung hierzulande gesetzlich beschränkt.

Sie liegt im 2,4-GHz-Band bei 100 mW EIRP (20 dBm). EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) ist die Sendeleistung, mit der man eine in alle Raumrichtungen gleichmäßig (isotrop) abstrahlende Antenne versorgen müsste, damit die Anlage im Fernfeld dieselbe Feldstärke erreicht wie mit einer bündelnden Richtantenne. dBm steht für Dezibel bezogen auf ein Milliwatt. Alles, was über 20 dBm EIRP hinausgeht, ist illegal und kann als Ordnungswidrigkeit geahndet werden. Bei 5,7 GHz sind unter bestimmten Voraussetzungen bis zu 1 Watt erlaubt.

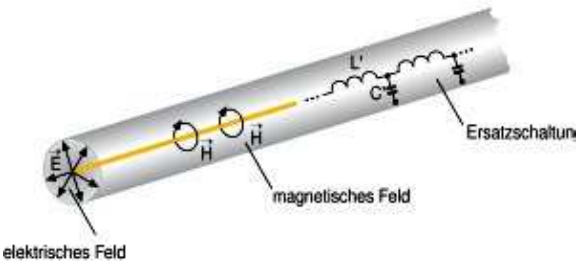


Richtantennen leuchten einen Kegel aus. Verdoppelt man die Entfernung zum Sender, dann vervierfacht sich die bestrahlte Fläche.

Das bedeutet für WLAN-Richtfunker, dass der Betrieb von Antennen mit hohem Gewinn unter Umständen illegal ist: Eine typische WLAN-Karte sendet mit +15 dBm (30 Milliwatt). Wenn die Antenne nun +8 dBi bringt, dann hätte die Anlage ohne die Dämpfung des Antennenkabels eine Sendeleistung von +23 dBm (200 Milliwatt) am isotropen Strahler, 3 dB über dem Grenzwert. Man muss also ein Kabel mit mindestens 3 dB Verlust – zur Kabeldämpfung folgt weiter unten mehr – einsetzen, um legal zu bleiben. Alternativ bieten auch manche Access Points Optionen, um die Sendeleistung stufenweise anzupassen. Beispielsweise hat der verbreitete DWL-900+ von D-Link vier Stufen: 100 % (19 dBm), 50 % (16 dBm), 25 % (13 dBm) und 12,5 % (10 dBm).

Kabelfragen

Ein oft vernachlässigtes Detail ist der Anschluss der Antenne an die WLAN-Baugruppe über das Kabel. Bei derart hohen Frequenzen taugt ein gewöhnlicher Klingeldraht nicht, weil sich das Feld eines WLAN-Signals über 2,4 Milliarden Mal pro Sekunde ändert. Da ist die Selbstinduktion des Kupferdrahts so stark, dass das Signal praktisch nicht weitergeleitet werden kann. Die einzige Chance liegt im Ausnutzen eines entgegengesetzten Effektes: Im Kondensator nimmt das Aufbauen der Ladung Zeit in Anspruch, während dieser Zeit fließt anfänglich ein besonders hoher Strom. Wenn man nun an bestimmten Stellen des Kabels einen zur Selbstinduktion passenden Kondensator einbaute, dann würden sich beide Effekte kompensieren, und das Signal kann im Kabel laufen. Dieser Überlegung folgt der Aufbau des Koaxialkabels.



Ein Koax-Kabel ist kein simpler Draht: In seinem Inneren läuft die Leistung als elektromagnetische Welle aus E- und H-Feld. Es verhält sich quasi wie eine Kettenschaltung aus Spulen und Kondensatoren.

Hinzu kommt, dass sich das elektrische Feld ausschließlich im Inneren des Kabels zwischen Innenleiter und Mantel befindet. Es kann infolge der Schirmung durch den Mantel nicht abgestrahlt werden. Zwar sind die magnetischen Felder von Innenleiter und Mantel außerhalb des Kabels gleich stark, jedoch heben sie sich wegen der gegensinnigen Stromrichtung auf. Das Kabel strahlt nach außen also E- und H-Felder so gut wie gar nicht ab und hat damit beste Voraussetzungen für den Einsatz als Antennenzuführung.

Bei Koax-Kabeln ist eine wesentliche Kenngröße der Wellenwiderstand (Impedanz). Dieser resultiert über die "Telegraphengleichung" aus dem induktiven Belag (virtuelle Spulen) pro Längeneinheit und dem kapazitiven Belag (virtuelle Kondensatoren). Der Wellenwiderstand ist deshalb wichtig, weil das Kabel die Sendeleistung nur dann ohne Verluste übernimmt, wenn der Sender sie mit gleicher Impedanz einspeist. Das Gleiche gilt antennenseitig: Nur wenn Wellenwiderstand von Kabel und Antenne gut übereinstimmen, wird die Leistung optimal ausgekoppelt.

Eine Fehlanpassung, bei der die Impedanzen von Sender, Kabel oder Antenne stark voneinander abweichen, bewirkt sende- wie empfangsseitig erhebliche Leistungseinbußen. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn man den 50-Ohm-Ausgang einer WLAN-Karte über ein 75-Ohm-Kabel (typisch in Sat-TV-Anlagen oder zwischen TV-Antenne und Fernsehgerät) mit dem 50-Ohm-Eingang einer WLAN-Antenne verbindet. Der Effekt tritt auch schon bei sehr kurzen Kabelstücken auf.

Im Sendefall kann solch eine Fehlanpassung sogar zum Elektronikkiller werden: Die im Kabel zwischengespeicherte Energie kehrt wie bestellt und nicht abgeholt an der Bruchstelle zum Sender zurück, aber sie kann wegen der Energieerhaltung nicht verschwinden. Der Sender muss nun außer mit seiner eigenen Verlustleistung auch mit der reflektierten Leistung fertig werden. Der Effekt hat schon so manche CB-Funk-Endstufe das Leben gekostet. Zwar ist er bei 2,4-GHz-WLAN mit 100 mW noch unproblematisch, könnte aber bei 5,7-GHz-WLAN-Basisstationen mit 1 Watt Sendeleistung wieder relevant werden. Man sollte daher niemals einen Sender ohne angeschlossene Antenne betreiben.

Immer weniger

Die zweite wichtige Kenngröße bei Kabeln ist die unvermeidliche Dämpfung. Nur Supraleiter übertragen elektrische Energie verlustfrei, aber die sind in der Praxis noch nicht einsetzbar, und wenn dereinst, dann wohl nur für niederfrequente Energieübertragung. Bei Koax-Kabeln gilt als Faustregel, dass dünnere Kabel stärker **dämpfen[2]** als dickere. Außerdem steigt die Dämpfung, die die Kabelhersteller in Dezibel pro Meter (dB/m) angeben, generell mit der Frequenz.

Schon fünf Meter billiges Kabel, das aber auch schon ohne Weiteres 1 Euro pro Meter kostet, können bei 2,4 GHz den gesamten Gewinn einer 10-dBi-Patch-Antenne schlucken. Hochwertiges Kabel wird auf dieser Distanz kaum mehr als 1 Dezibel Dämpfung verursachen, kann aber leicht mit fünf Euro pro Meter zu Buche schlagen.

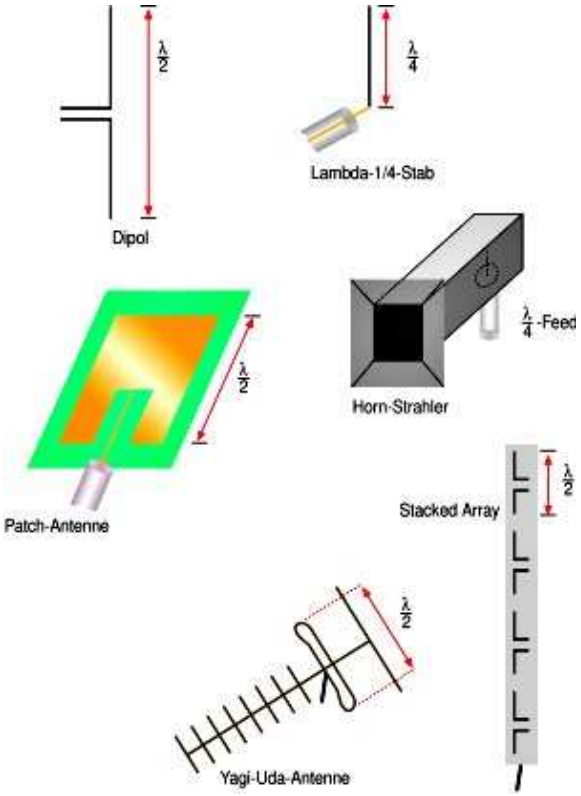
Die Wellenlänge beträgt bei 2,4-GHz-WLAN im Kabel wegen der niedrigeren Wellengeschwindigkeit typischerweise nur noch 6 cm, also 3 cm zwischen Plus und Minus der Amplitude auf dem Mittelleiter. Daher fordern hohe Frequenzen hohe Fertigungspräzision bei Antennen und anderen Komponenten. Extrem wird dies im 5,7-GHz-Band, bei den Steckverbindern beträgt die Toleranz dann typischerweise wenige Mikrometer.

Sorgsames **Handhaben[3]** der **Stecker[4]** ist dabei zwingend für gute Übertragungseigenschaften. So darf man niemals eine SMA-Buchse durch Drehen um die eigene Achse in einen widerspenstigen Stecker hineinzwingen. Durch die Drehung des Stiftes in der Buchse kann Letztere irreparabel beschädigt werden, sodass es zu ungewollten Reflexionen und damit Signalverlust kommt. Daneben ist das maximale Drehmoment bei SMA unbedingt einzuhalten, wofür man passende Drehmomentschlüssel hernimmt. Lüsterklemmen, fliegende Lötstellen und Ähnliches haben in einer Hochfrequenzanlage nichts zu suchen.

Ein weiterer HF-Aspekt ist, dass die Leistung nicht auf dem Leiter, sondern als Feld im isolierenden Dielektrikum des Kabels läuft. In Extremfällen kann man den Innenleiter sogar weglassen, man erhält dann einen runden oder quadratischen **Hohlleiter[5]**, der die Basis aller selbstgebauten Dosen-Antennen ist. Diese funktionieren aber erst ab einer bestimmten Mindestfrequenz, die von den Dimensionen des Hohlleiters abhängt. Sind diese für eine Frequenz zu klein, dann gibt es keine geeigneten **Moden[6]**, der Hohlleiter sperrt. Mit einem Trichter, der die Hohlleiter-Öffnung sanft aufweitet, wird aus der Hohlleiter-Antenne ein Horn-Strahler.

Antennenformen

Seit dem Beginn der Funktechnik in den 1890er-Jahren wurden **zahllose Antennenformen[7]** entwickelt. Die einfachste Antenne, die häufig als Behelf UKW-Tunern als Wurfantenne beiliegt, ist der Dipol mit zwei Drähten. Die Funktion ist einleuchtend: Durch den im ungeschirmten Draht zu den Spitzen fließenden Strom entsteht ein Magnetfeld. An den Spitzen bauen sich Ladungen auf und erzeugen ein elektrisches Feld. Beides strahlt in den freien Raum. Allerdings sollte die Länge des Dipols auf die Wellenlänge abgestimmt sein. Der Dipol funktioniert nur in der Dimension der halben Wellenlänge gut, denn die Laufzeit im Draht und damit die Resonanzfrequenz muss zur Sendefrequenz passen. Eine genaue Feldberechnung würde den Rahmen dieses Artikels allerdings bei weitem sprengen.



Bei Antennen gilt als Faustregel, dass mechanisch größere Konstruktionen typischerweise den höheren Gewinn bringen.

Der Dipol benötigt gegebenfalls am oder im Antennenfuß ein Bauteil (Balun), das seinen Wellenwiderstand an die Leitung anpasst und gegebenenfalls für eine Symmetrierung sorgt, denn der Dipol ist ein symmetrischer, Koax aber ein unsymmetrischer Leiter. Einfacher ist in der Tat der Anschluss eines simplen Antennenstabs, dessen Gegenpol die Erde ist, die Physik hat netterweise dessen Fußimpedanz mit ungefähr 40 Ohm in die Nähe der Impedanz der üblicherweise verwendeten 50-Ohm-Kabel gelegt, wenn dieser Stab eine Länge von einem Viertel der Wellenlänge hat.

Eine weitere Möglichkeit, das WLAN-Signal in die Luft zu bekommen, sind Patch-Antennen. Dabei handelt es sich um eine geeignet gespeiste rechteckige Fläche, den Patch, die sich vor einer großen Massefläche befindet. Mindestens eine Kantenlänge des Patches entspricht dabei der halben Wellenlänge, wobei sich durch die Wahl eines geeigneten Dielektrikums zwischen Patch und Massefläche die Länge verkürzen lässt. Derartige Antennen eignen sich besonders gut für den Aufbau auf Leiterkarten.

Braucht man eine noch stärkere Richtwirkung, die eine Einzelantenne allein nicht schafft, kann man über Koppelglieder auch mehrere Patch-Antennen zu Gruppen zusammenschalten. Durch die Interferenz der Wellen im freien Raum bildet sich eine Hauptkeule, auf die sich die Abstrahlung konzentriert, allerdings sind Nebenkeulen unvermeidbar. Je größer die Anzahl der Einzelantennen ist, umso größer ist die Richtwirkung und damit der Antennengewinn. Bei einem Stacked Array liegen beispielsweise mehrere Stabantennen übereinander.

Die Zusammenschaltung muss nicht unbedingt per Kabel erfolgen: Bei der Yagi-Uda-Antenne reichen in Richtung der Ausstrahlung angeordnete Stäbe, die im Grunde kurzgeschlossene Einzeldipole repräsentieren, welche die Welle führen. Hinter dem eigentlichen Empfangsdipol befindet sich noch ein Reflektor-Stab oder sogar ein Maschennetz. Die Yagi kommt häufig noch auf Hausdächern als Empfangsantenne für terrestrisches Fernsehen vor, sie wird aber auch gern für WLAN genutzt, weil es ein breites Angebot mit passender Wellenlänge im Amateurfunkfachhandel gibt.

Die beste Antenne nützt allerdings nichts, wenn sich zwischen Sender und Empfänger große Hindernisse befinden. Noch immer gilt beim Funk mit Frequenzen über 100 MHz: Richtfunk ist Sichtfunk, das sogenannte Fresnel-Ellipsoid – ein gedachter Football-ähnlicher Raum zwischen Sender und Empfänger – sollte möglichst frei sein. Dabei stören kleinere Hindernisse in der Mitte der Funkstrecke, wo das Ellipsoid die größte Weite aufweist, weniger als solche unmittelbar vor der Antenne.

Wetterschutz

Eine Gefahr für Antennen sind die Naturgewalten. Patch-Antennen besitzen zumeist eine Kunststoffhülle (Radom), die bei Eisansatz einen Totalausfall infolge einer Verstimmung der Antenne vermeidet. Auch bei Selbstbauantennen sollte man auf den Wettereinfluss achten, also die Antennenelemente mit einem wetterfesten Klarlack versehen, der vor Korrosion schützt, bei geschlossenen Rohren (Kaffeedosenantennen) einen Kondenswasserablauf anbringen, Kabel generell nach unten herausführen (damit kein Wasser vom Kabel in den Stecker läuft), nach dem Aufbau die Steckverbinder mit Lack versiegeln und so weiter.

Ein Koaxialkabel, in das Feuchtigkeit eingezogen ist, verändert seine elektrischen Eigenschaften drastisch und ist normalerweise ein Totalschaden, da man es mit Hausmitteln nicht wieder trockenlegen kann. Wenn nur die ersten Meter betroffen sind, kann man das Ende großzügig abschneiden und eventuell den Rest retten.

WLAN funkt nur dann gut, wenn Sichtverbindung besteht. Die Fresnel-Zone, ein gedachter Football-förmiger Körper zwischen Sender und Empfänger, muss weitgehend hindernisfrei sein.

Von einem anderen Wetterphänomen, dem Blitz, sind alle draußen montierten Antennen betroffen. Dort sollte ein Fachmann einen äußeren Blitzschutz anbringen. Für den Schutz der Antennenzuleitung bietet der Fachhandel zwischenschaltbare Elemente an. Schließlich muss man bei der Montage großer Antennen an Masten auf die Windlast achten: Bei Sturm können sie starke Kräfte auf den Mast ausüben, die ihn im schlimmsten Fall umknicken.

Nach all dem Aufwand nun am Kabel zu sparen, rächt sich schnell: Schon wenige Meter billiges Kabel können leicht den gesamten Gewinn einer guten Antenne schlucken. Bei der Verbindung zwischen Antenne und WLAN-Karte etwas großzügiger zu sein, ist gut angelegtes Geld, denn es wäre schade, wenn die guten Ideen, die hinter den vielfältigen **Antennenkonstruktionen[8]** stecken, auf dem Weg zum WLAN-Gerät verloren gingen.

Selbstbau

Eine gewöhnliche Konservendose funkt besser als die im Internet bekannt gewordene Pringles-Antenne.

Eine einfache, aber wirksame 2,4-GHz-Antenne lässt sich schon aus drei Bauteilen fertigen: Man braucht eine Konservendose mit 10 cm Durchmesser und mindestens 17 cm Länge, eine N-Buchse sowie ein 30 mm langes Drähtchen, vorzugsweise aus versilbertem Kupferdraht. Das Drähtchen lötet man senkrecht an den Stift der N-Buchse und kürzt das Gebilde mit einem Seitenschneider so weit, dass es insgesamt 31 mm über den Buchsenkörper hinausragt. Das Befestigungsloch für die N-Buchse bohrt man so in die Dosenwand, dass das Strahlerstäbchen 44 mm vor der Rückwand steht. Passende N-Buchsen und Stecker sowie Kabel gibt es im Fachhandel.

Solch ein **Selbstbau-Wellenfänger[9]** funktioniert als Hohlleiter erstaunlich gut. Bei einem anderen Dosen-Durchmesser oder anderen Frequenzen muss man die Abstände neu berechnen. Wichtig ist, genau zu arbeiten. Ein Problem ist freilich, dass eine messtechnische Prüfung nur mit hohem Aufwand möglich ist. Alternativ empfiehlt sich der Vergleich mit einer Industrieantenne unter Verwendung der Feldstärkeanzeige der WLAN-Karte.

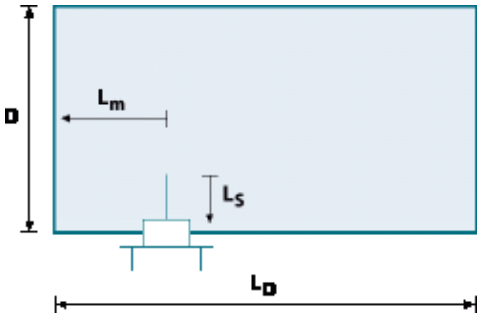
Bei einer Vollblechdose **maßen[10]** wir einen Gewinn von rund 9,5 dBi, der zu den Bandgrenzen hin nur wenig abfiel. Auch die unerwünschte Reflexion war gering, die Dose konnte es mit Industrieprodukten aufnehmen. Bei den Messungen wurden interessehalber auch die Pegel bei den Abstrahlwinkeln ±30° überprüft. Dabei zeigte sich, dass die Dose erwartungsgemäß mit etwa 15° leicht nach oben schielt, wenn der Kabelanschluss nach unten weist. Bei einer Dose aus beschichteter Pappe war das Reflexionsverhalten messbar schlechter. Der Gewinn lag trotzdem noch bei gut 9,5 dBi, wenn auch mit etwas mehr Abstrichen zu den Bandgrenzen hin.

Chips-Verstopfung

Die anno 2001 vorgeschlagene **Pringles-Antenne[11]** ist nicht nur kompliziert im Aufbau, sondern versagte auch kläglich bei der messtechnischen Prüfung. Das verwundert nicht, denn die Chips-Röhre hat mit 73 mm Innendurchmesser einen zu kleinen Querschnitt für 2,4-GHz-Wellen. Mit dem Durchmesser müsste die Dose mindestens einen halben Meter lang sein, um überhaupt als Hohlleiter in der oberen Hälfte des WLAN-Bandes zu funktionieren. Die Reflexionsmessung mit einem kompromissweise 65 mm vom Dosenboden montierten λ/4-Strahler zeigte eine viel zu hohe Resonanzfrequenz. In der Mitte des WLAN-Bandes wurden über 85 % der Leistung zum Sender zurückgeworfen. Statt eines Antennengewinns zeigte das Muster über weite Bereiche einen Verlust. Daran ändern auch irgendwelche Einbauten mit Unterlegscheiben nichts. (**ea[12]**)

Für 2,4-GHz-WLAN genügt ein 31 mm langer Lambda/4-Strahler aus versilbertem Kupferdraht.

Antennenrechner: Maße für die Dosenantenne



Eingabegrößen

Betriebsfrequenz f in GHz: 2,45

Dosendurchmesser D in mm: 100

Ergebnis

Mindest-Dosenlänge Ld in mm: **132**
Strahlerlänge Ls in mm: **31**
Montagepunkt vor Rückwand Lm in mm: **44**

URL dieses Artikels:
http://www.heise.de/netze/artikel/87157

Links in diesem Artikel:
[1] http://www.zhwin.ch/~gys/HFf/Antennenf/Antennen.pdf
[2] http://www.steckerprofi.de/kabeldat.htm
[3] http://www.steckerprofi.de/montage.htm
[4] http://www.antenne.wimo.de/wlan_cn_d.htm
[5] http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys_elektr/node173.html
[6] http://de.wikipedia.org/wiki/Hohlleiter#Ausbreitungs-Moden
[7] http://www.antennenbuch.de/
[8] http://www.informationsarchiv.net/statisch/wlan/workshop-bauanleitung-antenne.html
[9] http://www.saunalahti.fi/elepal/antenna2.html
[10] http://www.heise.de/kiosk/archiv/ct/2003/9/180
[11] http://www.oreillynet.com/pub/wlg/448
[12] mailto:ea@heise-netze.de

Copyright © 2007 Heise Zeitschriften Verlag