

Rund um die Antenne

Praxisorientierte Antennenkunde für Funkamateure

**Teil 4:
Antennen-Theorie, Antennensimulation**

Max Rügger, HB9ACC

Allen Freunden des Selbstbaus gewidmet

Rund um die Antenne
Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
4	Rund um die Antenne, Teil 4	
	Vorwort	5
4.1	5 goldene Regeln zum Antennenbau	7
4.1.1	Regel 1: Viel Draht	7
4.1.2	Regel 2: Möglichst hoch	7
4.1.3	Regel 3: Strom strahlt	8
4.1.4	Regel 4: Freie Ende = Spannungsbauch	9
4.1.5	Regel 5: Drahtlänge + 5 %	10
4.2	Allgemein gültige Regeln für Antennen	10
4.2.1	Jede elektrisch leitende Gebilde kann als Antenne benützt werden	10
4.2.2	Es ist der Strom der strahlt	11
4.2.3	Freie Ende = Spannungsbauch	11
4.2.4	Am Punkt des Erdübergangs liegt immer ein Strombauch	12
4.2.5	Bei Schleifenantennen tritt am Punkt der halben Drahtlänge ein Strombauch auf	13
4.2.6	Es gibt keine „einbeinigen“ Antennen	13
4.2.7	Eine Antenne kann an einem beliebigen Punkt eingespeist werden	14
4.2.8	Nichtresonante Antennen	15
4.2.9	Die Bandbreite einer Antenne	18
4.2.10	Die Richtwirkung einer Antenne	20
4.3	Formeln	20
4.4	Graphische Darstellung der Strom- und Spannungsverteilung auf einer Antenne	23
4.5	Antennen-Simulations-Software	27

Rund um die Antenne
Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Vorwort

Die erste Version dieses Dokumentes, damals unter dem Namen „Drahtantennen Praktikum“, ist zu dem Zeitpunkt entstanden als allen YL's und OM's deren Funkverkehr sich bisher auf Frequenzen oberhalb 30 MHz beschränkt hat damals neu den Zugang zur Kurzwelle erhalten haben.

Ich habe das Dokument damals meinen Freunden und Amateurfunker-Kollegen zur Verfügung gestellt. Das grosse Echo, das dadurch ausgelöst wurde hat, hat mich bewogen das Dokument laufend zu überarbeiten und weitere Erfahrungen einfließen zu lassen.

Einige Bemerkungen zum Dokument:

- Dieses Dokument ersetzt kein Antennenbuch und es enthält keine Kochrezepte. Mein Ziel war es die Materie von der praktischen Seite her anzugehen. Überdies ist es ein Ziel von mir das Verständnis für Antennen im allgemeinen und Drahtantennen im speziellen zu wecken. Die dazugehörigen Formeln, die es einem erlauben die Drahtlängen zu berechnen, findet man in jedem Antennenbuch. In jedem Antennenbuch finden sich auch jede Menge Formeln deren Herleitung wohl nur für wenige von uns nachvollziehbar ist. Ich versuche mit Betrachtungen über den Spannungs- und Stromverlauf auf Antennen das Verständnis für Probleme der Anpassung, SWR etc. zu wecken.
- Das Dokument enthält auch Information rund um die Antenne, also Materialkunde, Informationen über Speiseleitungen, Baluns, nützliche Messgeräte etc.
- Das Dokument befasst sich nicht mit Mehrelementantennen, wie Yagis, Mehrelement Quads, etc. Es beschränkt sich weitgehend auf Antennenformen die vom „ganz normalen OM“ im Selbstbau erstellt werden können.
- Dieses Dokument enthält wahrscheinlich nichts was man nicht auch anderswo nachlesen könnte.
- Dieses Dokument hat keinen kommerziellen Hintergrund. Ich habe mir deshalb gestattet für gewisse Darstellungen auf vorhandene Schemas, Zeichnung, Skizzen etc. zurückzugreifen.
- Ich verwende im Text häufig den Ausdruck OM. Damit sind natürlich auch alle YL's und XYL's gemeint. Der Ausdruck OM hat einfach meine Schreibe vereinfacht. Man verzeihe mir das.

Auch wenn dieser Beitrag zum Thema Antennen nicht vor mathematischen Formeln und algebraischen Abhandlungen strotzt, ich persönlich habe als Fernmelde-Ingenieur keine Berührungssängste mit der Theorie und der Mathematik. Ganz im Gegenteil. Ich selbst versuche immer wieder die Aussagen die ich mache mathematisch und von der Theorie her zu unterlegen.

Ich habe aber volles Verständnis für alle OM's die mit der Mathematik nicht unbedingt auf Du und Du sind und die sich lieber mit den praktischen Belangen auseinandersetzen. Wer einmal die grundlegenden Elemente der Antennentechnik verstanden hat, der ist in der Lage irgendwo auf der Welt, ohne grosse Hilfsmittel, lediglich mit einem Metermass in der Hand Antennen zu erstellen die funktionieren.

Es ist mir wichtig Erklärungen und Anregungen zu geben die den Freunden des Selbstbaus weiterhelfen.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Das Dokument ist in 7 Teil-Dokumente aufgegliedert:

- **Teil 1**
 - allgemeine Hinweise
 - Materialkunde
 - Blitzschutz
 - Sicherheit
 - Masten

- **Teil 2**
 - Speisekabel
 - SWR

- **Teil 3**
 - Antennenkoppler
 - SWR-Meter
 - Instrumente
 - Baluns

- **Teil 4**
 - Antennen-Theorie
 - Antennen-Simulation

- **Teil 5**
 - Dipole
 - Windom-Antennen
 - Trap-Antennen
 - Langdraht-Antennen

- **Teil 6**
 - Ganzwellen-Dipol
 - L-Antennen
 - Sloper
 - Schleifenantennen
 - Vertikal-Antennen

- **Teil 7**
 - spannungsgespeiste resonante Antennen
 - verkürzte Antennen
 - Sonderformen verkürzter Antennen

Wichtiger Hinweis:

Die in dieser Dokumentation gemachten Angaben zu Schaltungen und Verfahren etc. werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschliesslich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden. Der Autor hat die Angaben mit grösster Sorgfalt und nach bestem Wissen und seinen Erfahrungen zusammengestellt. Der Autor weist darauf hin, dass er weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen die auf fehlerhafte Angaben oder Auslegung direkt oder indirekt zurückgehen übernehmen kann.

Ich wünsche allen OM's, YL's und XYL's viel Erfolg und Befriedigung mit unserem weltumspannenden schönen gemeinsamen Hobby Amateurfunk.

März 2007

73 de Max Rügger / HB9ACC

4.1 5 goldene Regeln zum Antennenbau

Wer bei der Planung und Ausführung seiner Antennenprojekte die 5 goldenen Regeln zum Antennenbau präsent hat und beherzt ist schon ein gutes Stück auf dem Weg zum Erfolg gegangen. Darin enthalten sind nämlich in Kurzform wichtige Weisheiten zum Thema Kurzwellenantennen. Wenn man einen Standort bezüglich der Realisierbarkeit von Antennen überprüft, dann hilft es wenn man alle Antennenideen die einem durch den Kopf gehen auf Übereinstimmung mit den 5 Regeln überprüft:

1) Viel Draht

2) Möglichst hoch

3) Strom strahlt

4) Freie Enden = Spannungsbauch

5) Drahtlänge + 5 %

Was meine ich damit ?

4.1.1 Regel 1: Viel Draht



- Erfahrungsgemäss bringt eine Antenne mit „viel Draht in der Luft“ die besten Ergebnisse.
- Einen Antennen-Standort soll man sorgfältig betrachten und sich überlegen wie man „viel Draht“ unterbringen kann.
- Es gibt auch noch andere Antennenformen als Dipole, z.B. Schleifenantennen, V-Antennen, Verticals, Zeppelin-Antennen, endgespeiste Antennen, und viele andere Antennenarten.

4.1.2 Regel 2: Möglichst hoch

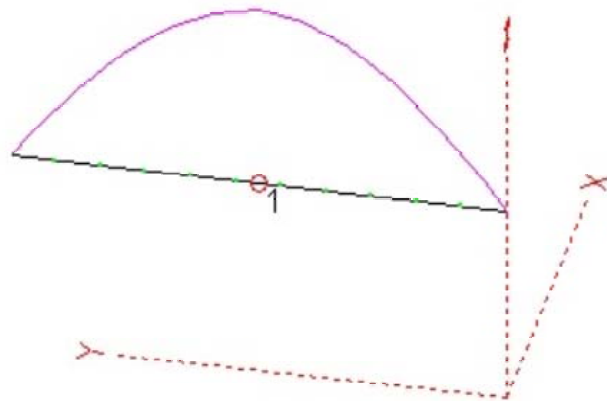


- Auch wenn wir glauben eine Antenne „hoch“ aufgehängt zu haben, hängt sie in Wirklichkeit doch immer noch relativ tief. Dies trifft vor allem für die „langwelligeren“ Bänder (160 m und 80 m) zu. Um eine Antenne nur schon in eine Höhe von $\frac{1}{4} \lambda$ zu bringen braucht man beim 160 m Band einen Befestigungspunkt in 40 m Höhe resp. in 20 m Höhe beim 80 m Band. Solche Höhen stehen nur in Ausnahmefällen zu Verfügung. Trotzdem, jeder Meter Höhengewinn wirkt sich positiv auf die Abstrahlung aus.
- Mit zunehmender Antennenhöhe können wir dem heute viele OM's zur Verzweiflung bringenden Störnebel (Man-made-noise) entrinnen oder doch zum mindestens die Empfangs-Situation erträglicher machen.

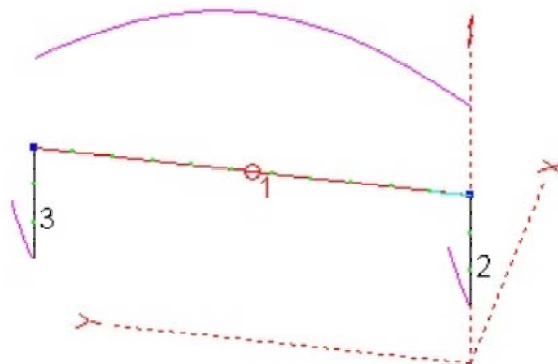
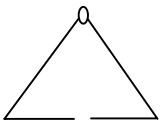
4.1.3 Regel 3: Strom strahlt



- Bei jeder Antenne liefert der „Strombauch“ den wesentlichen Anteil zur Abstrahlung. In der Praxis wird man also danach trachten denjenigen Teil der Antenne, der am meisten Strom führt, möglichst hoch und frei aufzuhängen. Die Enden einer Antenne tragen zwar zur korrekten Resonanz bei, sie sind jedoch nicht mehr nennenswert an der Abstrahlung beteiligt. Das untenstehende Bild zeigt die Stromverteilung auf einem resonanten Dipol. Die Einspeisung erfolgt in der Mitte, am Kreis-Symbol neben der Zahl 1. In diesem Punkt fließt der höchste Strom.



- Es ist ohne weiteres zulässig ab etwa $\frac{1}{2}$ einer Dipolhälfte die Enden abzuwinkeln bzw. um die Ecke herum zu führen. Speziell Antennen für das 160 m Band haben Dimensionen, die sich kaum in den realen Verhältnissen mit denen wir konfrontiert sind, unterbringen lassen. Ich selbst arbeite deshalb seit Jahren auf 160 m mit einem „umgebogenen Dipol“. Dieselbe Antenne wird übrigens für 80 m unten in der Mitte zusammengeschaltet und arbeitet dann als Ganzwellenschleife auf 3.5 MHz CW. Auf beiden Bändern macht DX Verkehr in CW viel Spass.



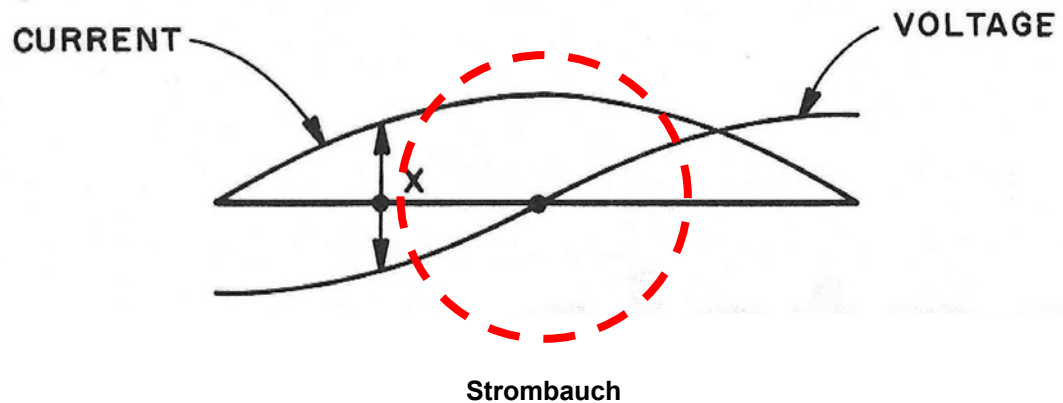
Bei der oben gezeigten Antenne wurden die Enden umgebogen und zwar hängen sie in diesem Falle einfach nach unten. Im gezeigten Falle wurde so die Länge des horizontalen Teils des Dipols auf $\frac{2}{3}$ der Originallänge verkürzt. Wenn man die Stromverteilung betrachtet, dann sieht man ganz klar, dass der grösste Teil des Stroms im horizontalen Teil fließt. Man sieht auch wie wenig Strom die beiden herabhängenden Teile noch zum Gesamtergebnis beitragen.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

- wenn wir eine Antenne elektrisch verlängern müssen, dann sollten wir die verlängernden Elemente (z.B. Verlängerungs-Spulen) nicht gerade dort einfügen wo am meisten Strom fließt.

Generelle Darstellung:

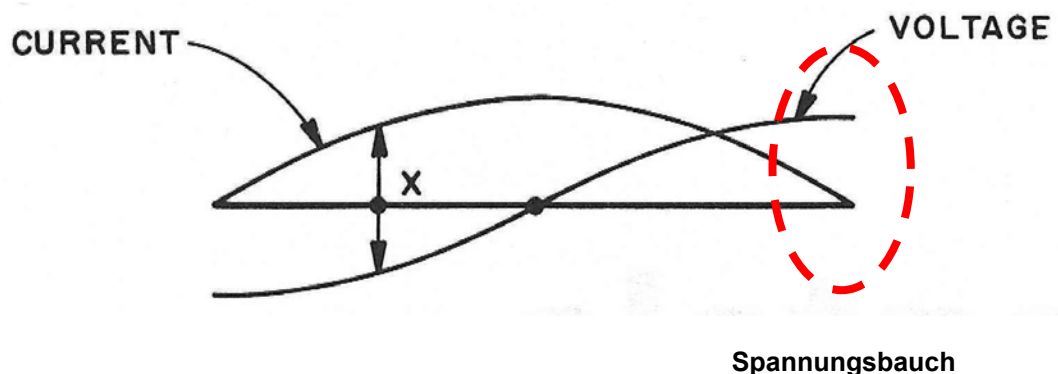


4.1.4 Regel 4: Freie Enden = Spannungsbauch

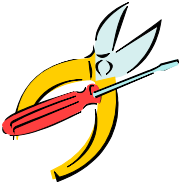


„freie Enden = Spannungsbauch“ soll daran erinnern, dass

- freie Enden einer Antenne (also Enden die nichts mit der Speisung zu tun haben) per Definition immer im Maximum eines Spannungsbauches liegen.
- für die Impedanz einer Antenne immer der Speisepunkt zuständig ist. Wenn man die Länge einer Antenne vom freien Ende her zum Speisepunkt kennt, dann kann man die zu erwartende Impedanz abschätzen (oder auch rechnen). Allfällige Impedanzanpassungen sind auf der Speiseseite vorzunehmen. Man kann eine Antenne auch in einem Spannungsbauch speisen, wie das z.B. traditionell mit der guten alten Zepp-Antenne im Multiband-Betrieb passiert. Allerdings ist das kein Fall für moderne Antennenanpassgeräte. Man braucht dann schon spezielle Koppler für Spannungskopplung oder man erinnert sich wieder einmal des „Fuchs-Kreises“. Wer Langdrahtantennen verwenden will und einen der heutigen gängigen unsymmetrischen Koppler einsetzt (automatisch oder manuell) der tut gut daran Drahtlängen zu vermeiden die auf einem der Bänder am Speisepunkt einen Spannungsbauch ergeben.



4.1.5 Regel 5: Drahtlänge + 5 %



- Es einfacher ist eine Antenne zu verkürzen als zu verlängern. Man baue also nie eine Antenne sklavisch nach. Wenn man den Draht genau nach den in der Beschreibung gemachten Längenangaben zuschneidet darf man sich nicht über ein „Aha-Erlebnis“ wundern. Ich persönlich bin überzeugt davon, dass alle in Antennenbeschreibungen gemachten Längenangaben beim jeweiligen OM, der darüber rapportiert hat, genau richtig waren. Das heisst aber noch lange nicht, dass das auch für den eigenen Standort zutrifft. Die Erfahrung zeigt, dass es immer wieder Einflüsse gibt die man nicht im voraus bestimmen kann. Deshalb beginne ich beim Antennenbau immer mit einer Drahtlänge die ca. 5 % über der errechneten oder angegebenen Drahtlänge liegt. Die Antenne ist dann in der Regel etwas zu lang, aber wie jeder weiss, Draht abschneiden geht einfacher als ansetzen.

4.2 Allgemein gültige Regeln für Antennen

Auch wenn es als Wiederholung des soeben gesagten verstanden wird, es gibt gewisse Regeln der Physik die auf alle Antennen zutreffen. Dies unabhängig von der Antennenlänge, der verwendeten Frequenz oder was auch immer.



Man glaube mir eines:

Die Regeln der Physik gelten für alle, ohne Ausnahme!

Wer diese Regeln die in der Physik verankert sind kennt, der hat bereits eine wichtige Hürde auf dem Weg zum erfolgreichen Selbstbau von Antennen genommen.

4.2.1 Jedes elektrisch leitende Gebilde kann als Antenne benützt werden



Diese Aussage wird bei manchem OM kopfschütteln auslösen. Trotzdem ist die Aussage korrekt.

Wir haben zwar in der Vorbereitung zur Amateurfunkprüfung gelernt, dass ein Dipol eine gewisse Länge haben muss, die in einer bestimmten Relation zur verwendeten Wellenlänge steht. Dies hängt aber mehr damit zusammen, dass wir uns gewohnt sind eine Antenne mit Koax-Kabel zu speisen, das eine niederohmige Impedanz aufweist.

Grundsätzlich aber ist es so, dass jeder Draht (oder ein anderes leitendes Gebilde) beliebiger Länge als Antenne benützt werden kann und zwar für jede beliebige Frequenz. Es ist lediglich eine Frage der Impedanzanpassung an den Senderausgang und des Wirkungsgrades. Die Impedanzanpassung lässt sich mittels einem Anpass-Netzwerk (Antennenkoppeler) bewerkstelligen. Wenn es um die Frage des Wirkungsgrades geht, dann muss man sich vor Augen halten, dass eine Antenne die kurz ist im Vergleich mit der verwendeten Wellenlänge einen schlechten Wirkungsgrad aufweist. Ist die Antenne im Verhältnis zur Wellenlänge lang, z.B. 1λ und mehr, dann weist die Antenne plötzlich eine mehr oder weniger ausgeprägte Richtwirkung auf. Diese Eigenschaft kann erwünscht sein oder auch nicht.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

In Amateurfunkkreisen ist man auch häufig der Ansicht eine Antenne müsse resonant sein um wirkungsvoll Energie abstrahlen zu können. Die Behauptung wonach eine resonante Antenne die Sendeenergie wirkungsvoll abstrahlt ist zwar nicht falsch, aber auch nicht alleinseligmachend. Nicht resonante Antennen können ebenso gut Energie abstrahlen und zwar mit einem Wirkungsgrad der sich vom Wirkungsgrad resonanter Antennen kaum unterscheidet. In der kommerziellen Funkübertragung auf Kurzwelle werden häufig Antennen verwendet die auf den verwendeten Frequenzen keinerlei Resonanz aufweisen.

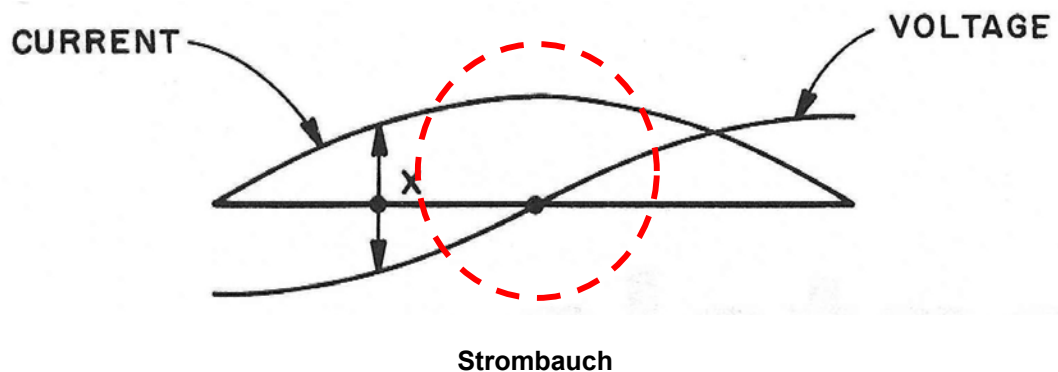
Zusammenfassung:



- jedes elektrisch leitende Gebilde kann als Antenne verwendet werden
- Voraussetzung ist die Impedanzanpassung an den Senderausgang
- im Verhältnis zur Wellenlänge kurze Antennen haben einen tiefen Wirkungsgrad
- im Verhältnis zur Wellenlänge lange Antennen weisen Richtwirkung auf
- um Energie abzustrahlen muss eine Antenne nicht zwingend resonant sein

4.2.2 Es ist der Strom der strahlt

Wie bereits unter 4.1.3 erklärt ist es der Strom der strahlt. Wenn wir es fertig bringen bei unseren Antennen diejenigen Teilstücke des Antennendrahtes so aufzuhängen, dass sie möglichst hoch und frei hängen, dann haben wir bereits viel erreicht. Bei einem resonanten Dipol fließt der grösste Strom in der Gegend des Einspeisepunktes in der Mitte der Antenne. Bei anderen Antennentypen sitzt der Einspeisepunkt nicht unbedingt am Punkt des grössten Stromes. Dann gilt es auf Grund der Drahtlänge und der verwendeten Wellenlänge λ (Lambda = Symbol für die Wellenlänge) auszurechnen oder abzuschätzen auf welchem Teil der Antenne der grösste Strom auftritt. Dann sollte man danach trachten diesen Teil der Antenne bevorzugt zu behandeln und möglichst hoch und frei aufzuhängen.



4.2.3 Freie Enden = Spannungsbauch

Wie bereits unter 4.1.4 erklärt liegt an freien Enden einer Antenne immer ein Spannungsbauch. Unter freien Enden einer Antenne verstehen wir Leiter die an einem bestimmten Punkt enden und von dort nicht mehr weitergehen. An der Antenne sind das typisch die Punkte wo ein Isolator eingefügt ist.

Achtung:

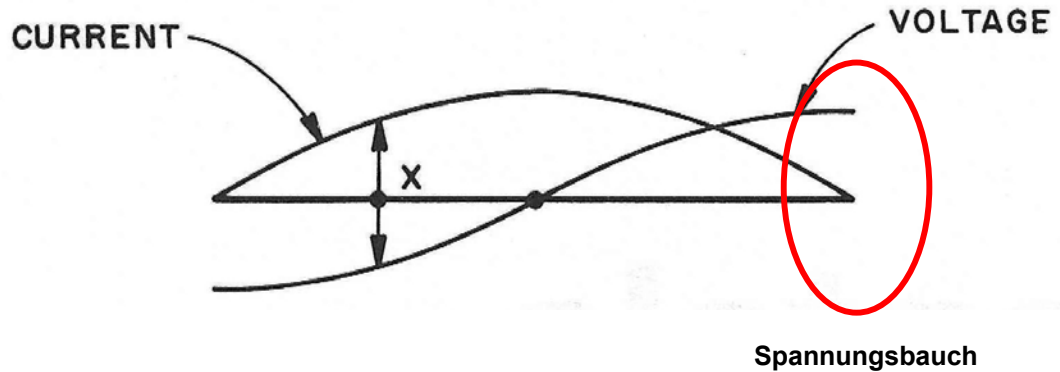
Auch an einem Speisepunkt kann ein Isolator eingefügt sein. Da dort ein Speisekabel

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

angeschlossen ist, ist dieser Punkt KEIN „freies Ende“.

Warum liegt an einem freien Ende immer ein Spannungsbauch ?

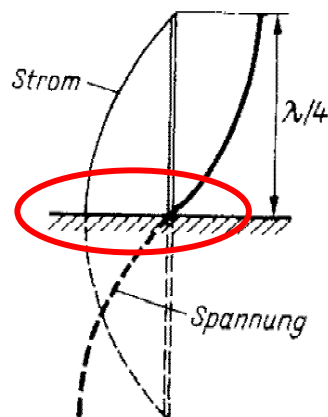


Gemäss den Gesetzen der Elektrotechnik kann an einem Leiter der aufhört kein Strom fließen, es kann nur noch eine Spannung anliegen.

Wir können dies mit einer Netzsteckdose vergleichen. Solange wir an der Steckdose nichts angeschlossen haben fließt dort kein Strom. Es liegt aber immer eine Spannung an.

4.2.4 Am Punkt des Erdübergangs liegt immer ein Strombauch

Wenn eine Antenne an **einem Punkt mit der Erde verbunden** ist, dann tritt am Punkt des Überganges des Antennendrahtes in die Erde ein „**Strombauch**“ auf.



Diese Eigenschaft ist elektrisch damit erklärbar, dass die Erde ein guter Leiter darstellt. Für den Antennenstrom stellt die Erde gewissermassen einen Kurzschluss dar. Am Punkt eines Kurzschlusses kann nur Strom fließen, es kann sich dort aber keine Spannung aufbauen.

Bei gewissen Antennentypen, wie z.B. bei der Marconi Antenne ist dies augenscheinlich. Bei anderen Antennentypen sieht man weniger gut was sich abspielt.

Trotzdem ist es ein allgemein gültiges physikalisches Gesetz, dass am Punkte des Übergangs einer Antenne in die Erde dort ein Strombauch auftritt, und zwar unabhängig von Drahtlänge oder Frequenz.

Puristen werden mich nun korrigieren und darauf aufmerksam machen, dass in der Praxis am Punkt des Übergangs der Antenne in die Erde noch ein Erdübergangswiderstand auftritt, der je nach Grösse den Strombauch etwas verschieben kann. Das ist absolut korrekt. Man negiere den Erdübergangswiderstand nicht.

In der Praxis kommt so manche schöne breitbandige SWR Kurve nur Dank der gütigen

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Mithilfe des Erdübergangswiderstandes zu Stande.

Überdies muss sich jeder OM im Klaren sein:

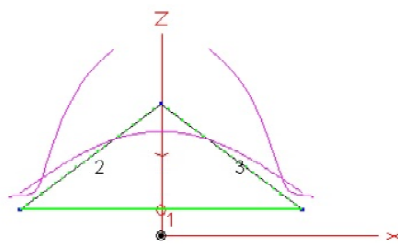
Der Erdübergangswiderstand ist keine Fiktion die in den gelehrten Stuben irgendwelcher Theoretiker entstanden ist. Der Erdübergangswiderstand ist real. An ihm und in ihm wird kostbare Sendeenergie vernichtet und in Wärme umgesetzt.

4.2.5 Bei Schleifenantennen tritt am Punkt der halben Drahtlänge ein Strombauch auf

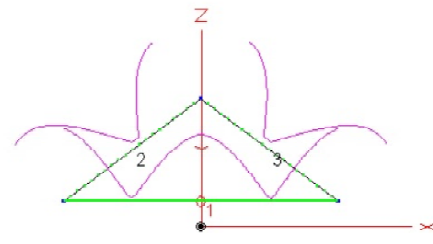


Beim Spezialfall der Schleifenantennen tritt **am Punkt der halben Drahtlänge** (üblicherweise der dem Speisepunkt gegenüberliegende Punkt) ein „**Strombauch**“ auf. Auch dies ist ein physikalisches Gesetz. Der Effekt tritt unabhängig von der Schleifenlänge und unabhängig von der verwendeten Sendefrequenz auf.

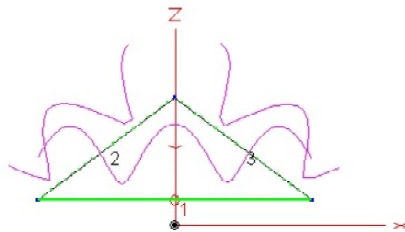
Die nachstehenden Bilder zeigen einige Praxisbeispiele und zwar auf eine Delta-Loop Antenne bezogen. Die Regel gilt aber für alle Schleifenantennen unabhängig von ihrer Form.



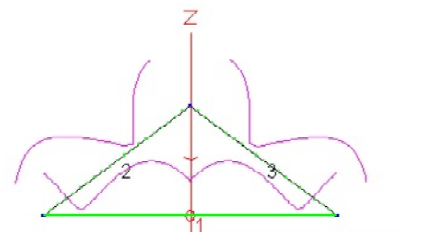
Stromverteilung bei f_{res}



Stromverteilung bei $2 f_{res}$



Stromverteilung bei $3 f_{res}$



Stromverteilung bei irgendeiner Frequenz (keine Resonanz oder Oberwellenresonanz)

4.2.6 Es gibt keine „einbeinigen“ Antennen



Um es vorweg zu nehmen: Es gibt keine Regel ohne Ausnahme. Das ist auch hier so, es gibt eine einzige Ausnahme. Auf die Ausnahme komme ich noch zurück.

Unter „einbeinigen“ Antenne verstehe ich Antennen die nur aus einem einzigen ununterbrochenen Draht bestehen. Jede Antenne benötigt irgendwo eine Einspeisung. Dort wird der Antennendraht unterbrochen um die Speiseleitung anzuschliessen. Wenn man einer Antenne kein zweites Bein gibt, dann sucht sich die HF immer einen Ausweg. Dieser von der HF selbst gewählte Ausweg ist dann häufig der Grund für TVI und BCI Störungen. Es

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

kann dann vorkommen, dass eine Erdleitung, die man als „neutrale“ Erdleitung und nicht als Teil des Antennensystems betrachtet, als Gegengewicht (= zweites Bein) funktioniert und frischfröhlich Energie abstrahlt. Es kann auch sein, dass diese Aufgabe vom Mantel des Speisekabels übernommen wird.

Die einzige Antennenart die man „einbeinig“ betreibt ist die **resonante spannungsgespeiste Antenne**. Bei dieser Art Antenne beträgt die Länge des Antennendrahtes genau $\lambda/2$ oder ein Vielfaches davon. Diese Bedingung erfüllt die Regel nach 4.3.2 „freies Ende = Spannungsbauch“. Man kann nun an einem Ende der Antenne mittels spezieller Ankoppelschaltungen die Sendeenergie hochohmig einspeisen. Dieser Art Antenne ist ein besonderes Kapitel gewidmet.

4.2.7 Eine Antenne kann an einem beliebigen Punkt eingespeist werden

Als Funkamateure denken wir bei einer Antenne immer an einen Dipol und wir sind uns gewohnt, dass ein Dipol in der Mitte die Einspeisung aufweist. Als Abweichung dazu können wir uns im besten Falle noch eine Windom Antenne vorstellen, die bei ca. 1/3 der Gesamtlänge eingespeist wird. Andere Einspeisestellen kennt der Durchschnittsamateur nicht.



Rein von den physikalischen Gesetzen her kann eine Antenne an jedem beliebigen Punkt gespeist werden. Alles ist lediglich eine Frage der Anpassung der Impedanz am Antennenspeisepunkt an die Impedanz der Speiseleitung.

In der Praxis haben sich aber gewisse Vorzugs-Speisepunkte herauskristallisiert.

- **Speisung in der Mitte**
Diese Art der Speisung hat den Vorteil, dass die Antenne weitgehend symmetrisch aufgebaut ist. Bei einer Drahtlänge von $\lambda/2$ oder ungeraden Vielfachen davon wird der Einspeisepunkt niederohmig. Dies ist eine gute Voraussetzung zur Einspeisung mit Koax-Kabel.
- **Speisung bei 1/3 der Drahtlänge**
Dabei handelt es sich um die bewährte Windom-Antenne, die als Mehrband Antenne bei vielen OM's gute Dienste leistet. Infolge der Unsymmetrie der beiden Antennenäste sind bei dieser Antennenart Mantelwellen auf dem Speisekabel mehr oder weniger vorprogrammiert.
- **Speisung am Ende**
Hier sind 2 Fälle zu unterscheiden:

Resonante spannungsgespeiste Antenne

Sofern es sich dabei um eine resonante spannungsgespeiste Antenne handelt deren Drahtlänge eine $\lambda/2$ -Resonanz aufweist (oder Vielfache davon), dann ist die Welt in Ordnung.

Nichtresonanter Antennendraht irgendwelcher Länge

Solche Gebilde werden häufig als Langdrahtantennen bezeichnet. Hier tritt genau das ein was unter 4.2.6 beschrieben ist. Um zu funktionieren benötigt diese Art Antenne zwingend ein zweites Bein. Wenn kein definiertes zweites Bein vorhanden ist, dann sucht sich die HF immer einen Ausweg. Erdleitungen, der Mantel des Speisekabels oder benachbarte Leitungen werden ungewollt zum Gegengewicht und werden so zu einem Teil des Antennensystem. Sie strahlen Energie ab, was häufig zu BCI / TVI und Ärger mit den Nachbarn führt.

- **Speisung „irgendwo“**

Dies ist nicht unbedingt ein „Vorzugs-Speisepunkt“. Diese Art der Speisung sei aber trotzdem erwähnt. Es gibt in der Praxis Fälle wo eine Antenne bei symmetrischer Speisung in der Mitte eine Impedanz aufweist die weit weg von der Kabelimpedanz von 50Ω liegt. Man kann nun durch praktische Experimente oder durch Verwendung eines Antennen-Simulations-Programms versuchen einen Punkt auf der Antenne zu finden, wo sich eine Impedanz einstellt die in der Nähe von 50Ω liegt. Bei der Einspeisung an diesem Punkt werden sich aber mit fast an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit Mantelwellen auf dem Speisekabel einstellen. Am Speisepunkt muss deshalb zwingend eine wirkungsvolle Mantelwellensperre eingebaut werden. Dieser Art Einspeisung findet man am ehesten bei verkürzten Antennen.

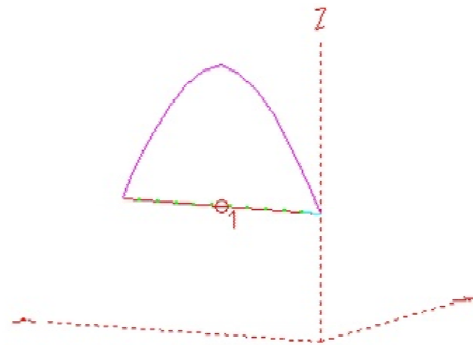
4.2.8 Nichtresonante Antennen



Wie bereits an anderer Stelle vermerkt:

Um wirkungsvoll Energie abstrahlen zu können muss eine Antenne nicht zwingend resonant sein.

Was passiert aber in der Praxis wenn wir eine Antenne ausserhalb ihrer Resonanzfrequenz betreiben ?



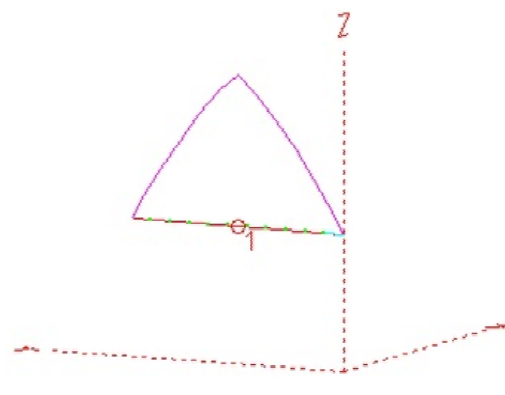
Dipolantenne:
Sendefrequenz = Resonanzfrequenz

Die Einspeisung erfolgt in einem Strombauch.

Am Einspeisepunkt tritt eine Impedanz in der Grössenordnung $50 \dots 75 \Omega$. Dies ist ein günstiger Wert für Speisung mit Koax-Kabel.

Achtung:

Dies oben gezeigte Antenne ist eine resonante Antenne und dient lediglich als Vergleich.



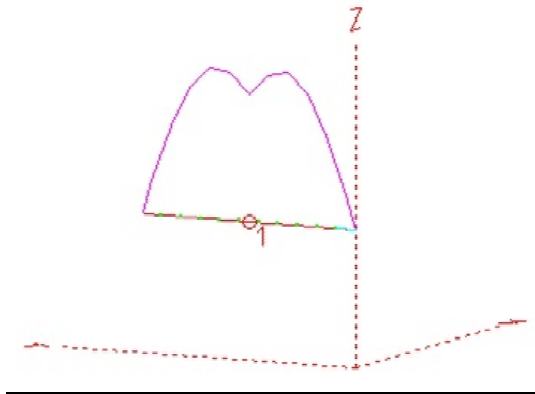
Dipolantenne:
Sendefrequenz < Resonanzfrequenz

Die Sendefrequenz liegt tiefer als die Resonanzfrequenz. Es ist nicht genügend Platz auf dem Antennendraht um eine ganze Halbwelle unterzubringen.

Am Einspeisepunkt tritt irgendeine Impedanz auf die von 50Ω abweicht. Diese Abweichung ist der Grund dafür, dass wir auf der Speiseleitung ein $SWR > 1:1$ feststellen.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

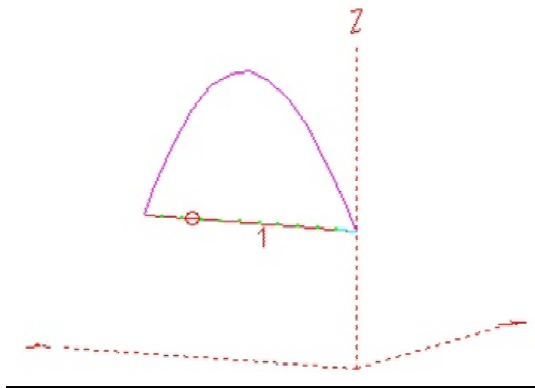


Dipolantenne: Sendefrequenz > Resonanzfrequenz

Die Sendefrequenz liegt höher als die Resonanzfrequenz. Auf dem Antennendraht ist nun Platz um mehr als eine Halbwelle unterzubringen.

Am Einspeisepunkt tritt irgendeine Impedanz auf die von 50Ω abweicht. Diese Abweichung ist der Grund dafür, dass wir auf der Speiseleitung ein $\text{SWR} > 1:1$ feststellen.

In der Praxis werden auch immer wieder Antennen gebaut die irgendwo eingespeist werden und deren 2 Beine nicht gleich lang sind. Was passiert bei solchen Antennen ?

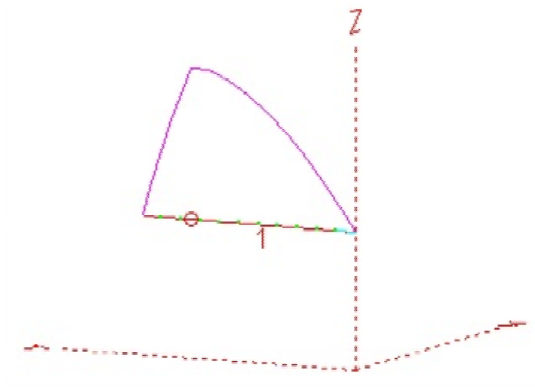


Unsymmetrische Antenne: Sendefrequenz = Resonanzfrequenz

Die Länge des Antennendrahtes ist so, dass genau eine halbe Wellenlänge Platz hat. Da die Einspeisung ausserhalb des Mittelpunktes erfolgt tritt am Einspeisepunkt eine Impedanz auf die von 50Ω abweicht. Diese Abweichung ist der Grund dafür, dass wir auf der Speiseleitung ein $\text{SWR} > 1:1$ feststellen. Überdies sind die beiden Antennenhälften nicht symmetrisch, was zu Mantelwellen auf dem Speisekabel führt.

Achtung:

Dies oben gezeigte Antenne ist eine resonante Antenne und dient lediglich als Vergleich. Das Bild zeigt auch die Probleme die entstehen wenn man eine an sich resonante Antenne aussermittig einspeist.

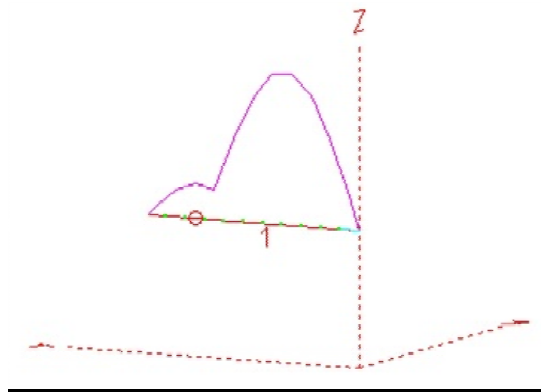


Unsymmetrische Antenne: Sendefrequenz < Resonanzfrequenz

Die Sendefrequenz liegt tiefer als die Resonanzfrequenz. Es ist nicht genügend Platz auf dem Antennendraht um eine ganze Halbwelle unterzubringen. Am Einspeisepunkt tritt irgendeine Impedanz auf die von 50Ω abweicht. Diese Abweichung ist der Grund dafür, dass wir auf der Speiseleitung ein $\text{SWR} > 1:1$ feststellen. Überdies sind die beiden Antennenhälften nicht symmetrisch was zu Mantelwellen auf dem Speisekabel führt.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Unsymmetrische Antenne: Sendefrequenz > Resonanzfrequenz

Die Sendefrequenz liegt höher als die Resonanzfrequenz. Auf dem Antennendraht ist nun Platz um mehr als eine Halbwelle unterzubringen. Am Einspeisepunkt tritt irgendeine Impedanz auf die von 50Ω abweicht. Diese Abweichung ist der Grund dafür, dass wir auf der Speiseleitung ein $\text{SWR} > 1:1$ feststellen. Überdies sind die beiden Antennenhälften nicht symmetrisch was zu Mantelwellen auf dem Speisekabel führt.

Alle diese Antennen haben eines gemeinsam: **Sie strahlen Energie ab!**

Grundsätzlich gilt:



- Nicht resonante Antennen sind ebenso gut wie resonante Antennen in der Lage die Sendeenergie wirkungsvoll abzustrahlen.
- Der Knatsch entsteht am Antennenspeisepunkt. Dort tritt eine Impedanz auf die von den gewünschten 50Ω (Impedanz des Koax-Kabels) mehr oder weniger stark abweicht.
- Der Wirkungsgrad von nicht-resonanten Antennen hängt in erster Linie vom Verhältnis der Länge der Antenne zur Sendefrequenz ab. Nur um ein Beispiel zu geben: Eine Antenne mit einer Gesamtlänge von sagen wir mal 13 m wird auf dem 160 m Band nur noch einen bescheidenen Wirkungsgrad aufweisen. Die 13 m sind dann im Vergleich zu den 80 m, die für einen ausgewachsenen Halbwelldipol notwendig sind, doch etwas mickrig. Das heißt aber noch lange nicht, dass man mit einer solchen Antenne keine QSO's fahren kann.

Was die Impedanzverhältnisse am Speisepunkt anbelangt so sehen wir, dass bei Antennen die nicht resonant sind oder deren Speisepunkt nicht symmetrisch in der Mitte liegt, am Speisepunkt eine Impedanz anliegt, die nicht mit den 50Ω übereinstimmt die das Koax-Kabel gerne sehen würde.

Um solche Antennen trotzdem betreiben zu können haben wir diverse Möglichkeiten:

- Wir hängen unser Koax-Kabel dran und schauen uns im Shack das SWR an. Wir überlegen uns, welche Zusatzverluste durch das SWR verursacht werden. Dabei erinnern wir uns an die alte Weisheit $\rightarrow 6 \text{ dB} = 1 \text{ S-Stufe}$. Selten einmal, von Pile-up's verursacht durch seltene DX-Stationen abgesehen, hat ein QSO nicht stattgefunden bloss weil unser Signal bei der Gegenstation um 1 S-Stufe weniger ankam. Wir verwenden einen Antennekoppler und erfreuen uns an den schönen QSO's.

Diese Regel gilt für Drahtantennen „ohne was drin“. Sollten wir eine Antenne haben die mit Traps versehen ist, dann lassen wir den Versuch lieber bleiben oder beschränken uns auf QRP. Gewisse Traps nehmen es einem Übel wenn man weit ab von der Resonanzfrequenz sendet. Im Extremfall gibt eine malträtierte Trap sogar „indianische Rauchzeichen“ von sich.

- Wir speisen die Antenne mit einer Hühnerleiter. Das SWR auf der Speiseleitung werden wir zwar dadurch nicht los. Eine gute symmetrische Speiseleitung (Hühnerleiter), z.B. Wireman 450Ω , hat aber so kleine Verluste, dass wir das SWR glatt

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

vergessen können.

- Wir bauen ein Anpassglied ein, das die Impedanz am Antennenfußpunkt auf $50\ \Omega$ transformiert. Dies ist eine eher unbeliebte Version. Anpassglieder haben die un-schöne Eigenschaft nur bei einer bestimmten Frequenz ihre Aufgabe korrekt zu erfüllen.
- Wir bauen am Antennenfußpunkt einen Antennenkoppler ein. Seit es automatische Antennenkoppler zu vernünftigen Preisen zu kaufen gibt ist das eine sehr gute und beliebte Lösung.
-

4.2.9 Die Bandbreite einer Antenne

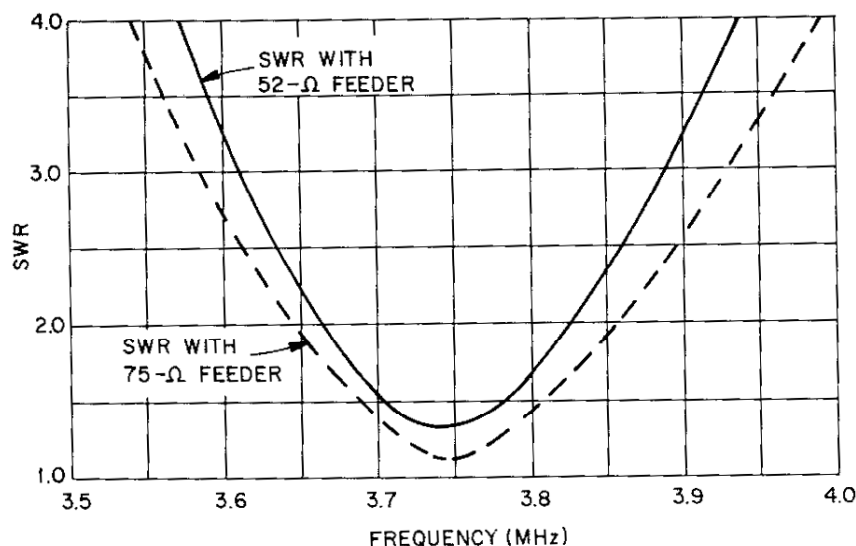
Rein theoretisch betrachtet hat eine Antenne eigentlich keine Bandbreite. Jede beliebige Antenne lässt sich unter Verwendung von Koppelnetzwerken auf jeder beliebigen Frequenz verwenden.

Wenn man im Amateurfunk von der Bandbreite einer Antenne spricht, dann hat das ganz praktische Gründe.

- Unsere heutigen Transceiver haben einen Antennenausgang der für eine Impedanz von $50\ \Omega$ ausgelegt ist.
- Die meisten modernen Transceiver lassen beim Senden ein SWR von max. 1:2 zu bevor eine Schutzschaltung die Leistung zurückregelt.

Somit hat es sich eingebürgert die Bandbreite einer Antenne so zu definieren:

Die Bandbreite einer Antenne ist derjenige Frequenzbereich innerhalb dem das SWR den Wert von 1:2 nicht überschreitet.



Das obige Bild zeigt die typische SWR Kurve eines „full-size“-Dipols für das 80m Band. Daraus ersieht man die Faustregel:

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Ein Dipol hat eine SWR 1:2 Bandbreite von ca. 5 % der fres

Welche Bandbreiten weisen denn unsere Bänder auf, bezogen auf die untere Bandgrenze?

- 160 m 10.5 %
- 80 m 8.5 %
- 40 m 2.9 %
- 30 m 0.5 %
- 20 m 2.5 %
- 17 m 0.6 %
- 15 m 2.2 %
- 12 m 0.4 %
- 10 m 6.1 %

Daraus geht hervor, dass eigentlich nur auf den Bändern 160 m und 80 m und evtl. noch auf dem 10 m Band mit einem auf Bandmitte abgestimmten Dipol die SWR 1:2 Bandbreite an den Bandenden überschritten wird. Dies bezieht sich auf „full-size“-Dipole. Verkürzte Dipole haben schmalere Bandbreiten. Je höher die Verkürzung getrieben wird umso enger wird die nutzbare Bandbreite.

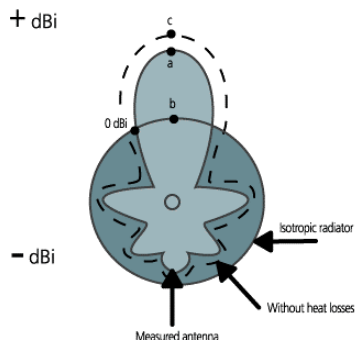
Man geht bei dieser Betrachtung auch immer davon aus, dass die Antenne über ein Koax-Kabel gespeist wird und dass wir das SWR auf dem Koax-Kabel messen.

Wenn wir bei einer mit Koax-Kabel gespeisten Antenne eine SWR 1:2 Bandbreite von ca. 5 % der Betriebsfrequenz finden, dann können wir davon ausgehen, dass die Antenne soweit i.O. ist.

Finden wir aber eine SWR 1:2 Bandbreite die über die genannten 5 % der Betriebsfrequenz hinausgeht, also breitbandiger ist, dann sollten wir uns Gedanken darüber wie dieses Wunder zustande kommt. Manche schöne breitbandige SWR Kurve ist nur Dank der gütigen Hilfe von irgendwelchen Verlustwiderständen zustande gekommen. Es könnte z.B. auch durch einen nicht über jeden Zweifel erhabenen Balun verursacht werden. Wie gesagt, wenn sich die Antenne über die 5 % hinaus „breitbandig“ präsentiert, dann ist etwas faul. Dann wird ein Teil der Sendeenergie irgendwo verheizt anstatt über die Antenne abgestrahlt.

Sobald Antennen über eine symmetrische Speiseleitung (Hühnerleiter) angeschlossen sind erübrigt sich ein Nachdenken über „Bandbreite“.

4.2.10 Die Richtwirkung einer Antenne



Das nebenstehende Bild zeigt sehr gut was wir unter „Richtwirkung“ einer Antenne verstehen. Wir können uns dabei auf den fiktiven und in der realen Welt nicht existierenden isotropen Strahler berufen. Dies wäre eine Antenne bei der die Sendeenergie kugelförmig und gleichmässig nach allen Seiten abgestrahlt wird.

Sobald die Antenne eine Richtwirkung aufweist, dann wird ein Teil der Energie in eine bestimmte Vorzugsrichtung gebündelt. Die betreffende „Mehr-Energie“ die nun in die

Vorzugsrichtung abgestrahlt wird fehlt nun zur Abstrahlung in eine andere Richtung. Es ist nun einmal so:

- Wir haben lediglich unsere „Sendeenergie“ zur Verfügung, es gibt keine wunder-same Energievermehrung.
- Diese Sendeenergie verteilen wir so, dass eine bestimmte Richtung bevorzugt wird.
- Die Mehr-Energie, die wir in die Vorzugsrichtung leiten, fehlt nun zur Abstrahlung in andere Richtungen.

Ganz einfach ... oder ??

4.3 Formeln

Jedes Antennenbuch das etwas auf sich hält gibt zu jeder der beschriebenen Antennen die Formeln an mit denen sich die Drahtlängen in Relation zur Sendefrequenz berechnen lassen.

Wie bereits früher ausgeführt:



- Formeln sind ein gutes Hilfsmittel um die **ungefähren Drahtlängen** zu berechnen.
- In der Praxis wird jede Antenne durch örtliche Begebenheiten beeinflusst. Diese örtlichen Störfaktoren lassen sich kaum sauber erfassen und quantifizieren.
- Jeder Autor der eine Antenne beschreibt und Längen angibt hat sich grösste Mühe gegeben die bei ihm gültigen Längen zu bestimmen und zu nennen.
- Dies bedeutet aber noch lange nicht, dass diese Längen am eigenen Standort denn auch auf den Zentimeter genau stimmen.
- Deshalb der Rat: **gerechnete oder angegebene Drahtlänge + 5 %**.
Man erhält dann fürs erste eine Antenne deren Resonanzfrequenz etwas tiefer liegt als gewünscht.
- Dann geht's an trimmen und da gilt: **abschneiden ist einfacher als ansetzen**.

Es sind genau die oben genannten Gründe die mich veranlassen zu den beschriebenen Antennen keine Massangaben oder Formeln anzugeben. Es geht mir in erster Linie darum das Verständnis zu wecken wie man eine Antenne aufbaut und welche Eigenschaften man von ihr erwarten kann.

Mit etwas nachdenken und mit gesundem Menschenverstand lassen sich die zu erwartenden

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

den Drahtlängen relativ leicht bestimmen. Der Rest ist „fine tuning“. Da gilt es die Antenne auf Grund von Messungen, die wirklich den Einsatzort repräsentieren, so hinzutrimmen, dass sich die gewünschte Resonanzfrequenz und andere Eigenschaften einstellen.

Trotzdem gibt es einige Formeln die man im Kopf behalten sollte:

Die wichtigste Formel ist die Formel der Umrechnung von Frequenz in Wellenlänge und umgekehrt.

Wellenlänge:

$$\lambda \text{ (m)} = \frac{300'000}{f \text{ (kHz)}}$$

oder

$$f \text{ (kHz)} = \frac{300'000}{l \text{ (m)}}$$

wobei:

l = Länge in Meter
f = Frequenz in kHz

Eine gewisse Hilfe bietet auch die Formel zur Berechnung der Dipollängen. Und hier beginnen bereits die Probleme. In der Literatur findet man dazu diverse Formeln, die zwar alle in der gleichen Grössenordnung liegen, die aber voneinander leicht abweichen. Dies hängt ganz einfach damit zusammen, dass man die exakte Resonanzfrequenz eines Dipols an einem bestimmten Standort gar nicht mit hoher Präzision voraussagen kann. Abweichungen im Bereich von einigen Prozent sind normal.



Dipollänge:

$$l \text{ (m)} = \frac{142'000}{f \text{ (kHz)}}$$

Die obige Formel findet man häufig in europäischen Antennenbüchern. In der amerikanischen Literatur findet man durchwegs folgende Formel:

$$l \text{ (ft)} = \frac{468}{f \text{ (MHz)}}$$

wobei:

l = Länge in Fuss (1 Fuss = 0.3048 m)
f = Frequenz in MHz

Wenn man das in unsere gewohnte Form umrechnet, dann erhält man:

$$l \text{ (m)} = \frac{142'650}{f \text{ (kHz)}}$$

wobei:

l = Länge in Meter
f = Frequenz in kHz

Rund um die Antenne

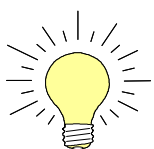
Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Bei genauer Betrachtung sieht man, dass für eine bestimmte Frequenz zwischen der Länge von $\lambda/2$ (halbe Wellenlänge) und der Länge für den Dipol unterschiede in der Grössenordnung von 5 % bestehen. Die Dipollänge gemäss Formel ist um ca. 5 % kürzer als die Länge für $\lambda/2$ gemäss der Formel für die Wellenlänge.

Da ich ein Verfechter des Prinzips „Drahtlänge + 5 %“ bin rechne ich immer mit der Formel für die Wellenlänge. In der Praxis bedeutet dies, dass die Resonanzfrequenz jeder Antenne die ich baue zuerst einmal etwas zu tief liegt. Eine Messung, die an der echten Antenne am echten Standort gemacht wird, zeigt mir um wie viel ich die Antenne kürzen muss um die optimale Drahtlänge an meinem eigenen Standort zu erhalten.

Einfach ... oder nicht ?

In der Praxis interessieren uns folgende Werte:



- Lambda (λ) = Wellenlänge
- Lambda Halbe ($\lambda/2$) = Halbwelle
- Lambda Viertel ($\lambda/4$) = Viertelwelle

Als Hilfsmittel zur Bestimmung dieser Werte für die einzelnen Amateurfunkbänder diene die nachstehende Tabelle:

Band (m)	Frequenz (kHz)	λ (m)	$\lambda/2$ (m)	$\lambda/4$ (m)
160	1'810	165.75	82.88	41.44
	2'000	150.00	75.00	37.50
80	3'500	85.70	42.86	21.43
	3'800	78.95	39.47	19.77
40	7'000	42.86	21.43	7.14
	7'200	41.66	20.83	10.42
30	10'100	29.70	14.85	7.43
	10'150	29.56	14.78	7.39
20	14'000	21.43	10.71	5.36
	14'350	20.91	10.45	5.23
17	18'068	16.60	8.30	4.15
	18'168	16.52	8.26	4.13
15	21'000	14.29	7.14	3.57
	21'450	13.98	6.99	3.50
12	24'890	12.05	6.03	3.01
	24'990	12.00	6.00	3.00
10	28'000	10.71	5.36	2.68
	29'700	10.10	5.05	2.53

4.4 Graphische Darstellung der Strom- und Spannungsverteilung auf einer Antenne

Um das Funktionieren einer Antenne wirklich zu verstehen kommt man nicht darum herum sich mit der Verteilung von Strom und Spannung auf der Antenne auseinander zu setzen. Jeder kennt die netten Diagramme die in den Antennenbüchern gezeigt werden. Wenn er diese Diagramme sieht, dann nickt jeder und sagt: „Jawohl, so ist es!“

Beim praktischen Antennenbau kommt es dann immer wieder vor, dass derselbe OM, der so schön genickt hat, einen Antennendraht aufhängt, und zwar vollkommen unbelastet von all diesen Weisheiten wie sie in den Antennenbüchern stehen.

Fazit:

Die Antenne lässt sich auf allen oder auch nur auf gewissen Bändern nicht abstimmen, das SWR stinkt zum Himmel, wenn man den Transceiver berührt dann „schmiert es einem einen“, etc.

Kommentar: **... es ist halt eine schlechte Antenne !**

Wie schon früher ausgeführt, von der Theorie her lässt sich jeder beliebige Draht auf jeder Frequenz als Antenne benützen, alles ist nur eine Frage der Anpassung.

In der Praxis geht es darum die Speisepunktimpedanz zu kennen oder zum mindestens einigermaßen die Größenordnung der Speisepunktimpedanz abschätzen zu können.

Es gibt ja eine alte Weisheit die besagt: **Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.**

Es hilft sehr wenn man gewisse Dinge die einem nicht ganz klar sind mit einer graphischen Methode darzustellen versucht, also „**sich ein Bild davon macht**“.

Um mir ein Bild von den Vorgängen auf dem Antennendraht zu machen verwende ich eine Primitiv-Methode:

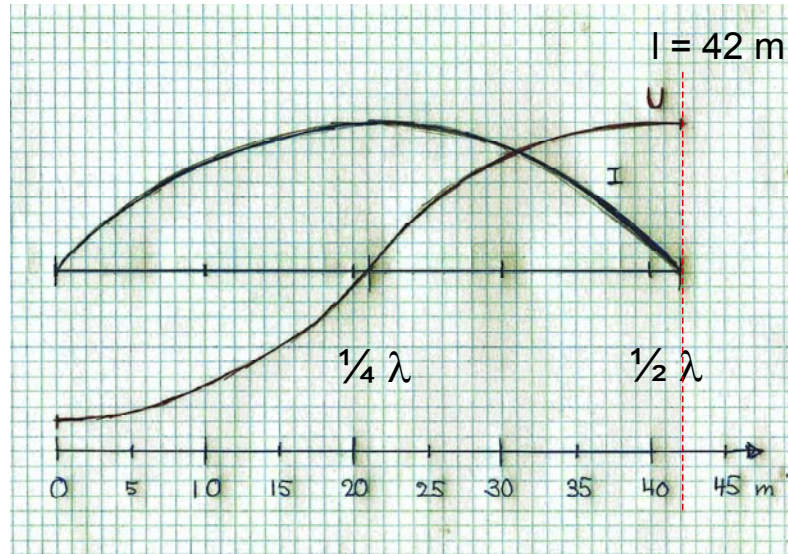
- Man nehme einen Zeichenblock, z.B. 4 mm kariert
- Man zeichne einen Massstab ein, z.B. in m
- Man zeichne massstäblich eine halbe Wellenlänge ($\lambda/2$) ein
- Man zeichne nun innerhalb des Bereiches von $\lambda/2$ den Stromverlauf ein
- Man zeichne nun innerhalb des Bereiches von $\lambda/2$ den Spannungsverlauf ein

- Bei Antennenlängen von $> \lambda/2$ zeichnet man einfach die gesamte Antennenlänge und verlängert die Sinuskurven für Strom und Spannung entsprechend.

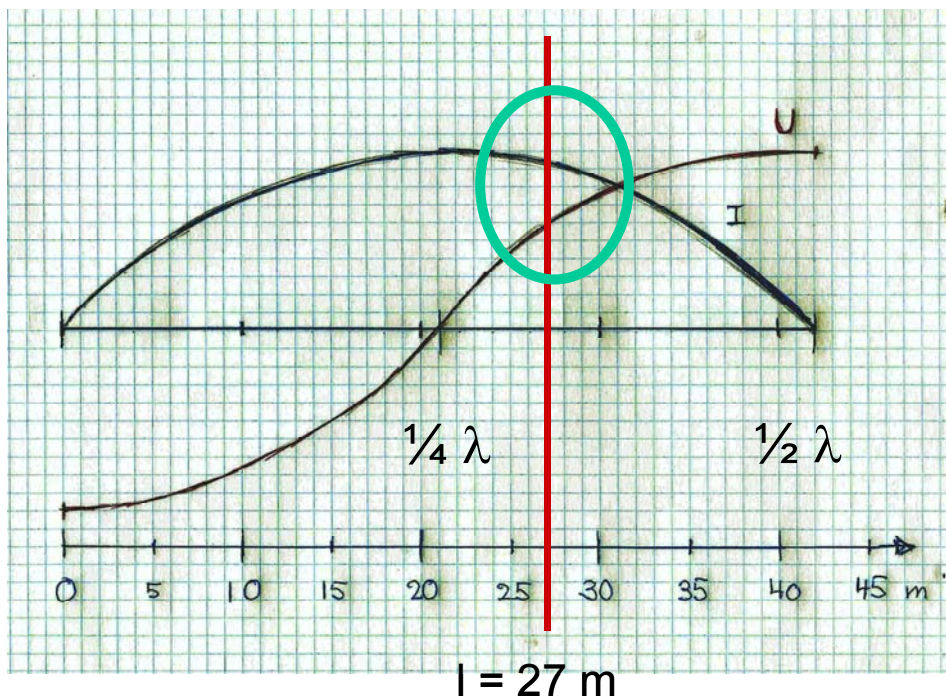
Das sieht dann für einen 80 m Dipol etwa so aus:

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Als Übung soll es nun darum gehen die Speisepunktimpedanz einer 27 m langen Drahtantenne auf dem 80 m Band abzuschätzen.



Ich zeichne also bei 27 m einen Strich. Dort wo der Strich die Sinuskurven für U und I kreuzt sehe ich in etwa welche Speisepunktimpedanz zu erwarten ist.

Pro Memoria:

- | | |
|--------------------------------|---|
| Viel Strom und wenig Spannung | → niederohmig (gut für Anpassung an Koax-Kabel) |
| Viel Spannung und wenig Strom | → hochohmig (ein Fall für die Hühnerleiter) |
| Etwas Strom und etwas Spannung | → irgendetwas dazwischen (ein Fall für den Antennenkoppler) |

Im vorliegenden Fall ersehen wir, dass die Speisepunktimpedanz zwar im hochohmigen Bereich liegt, wir aber immer noch weit entfernt sind von reiner Spannungsspeisung. Wir

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

haben also gute Chancen, dass wir diese Antenne gegen Erde mit einem 1:9 Balun ($50 \Omega / 450 \Omega$) oder einem automatischen Antennenkoppler am Antennenspeisepunkt vernünftig anpassen können. Was wir hier noch nicht kennen ist der Einfluss des Erddrahtes, der ja bei dieser Antennenkonfiguration auch an der Strahlung beteiligt ist.

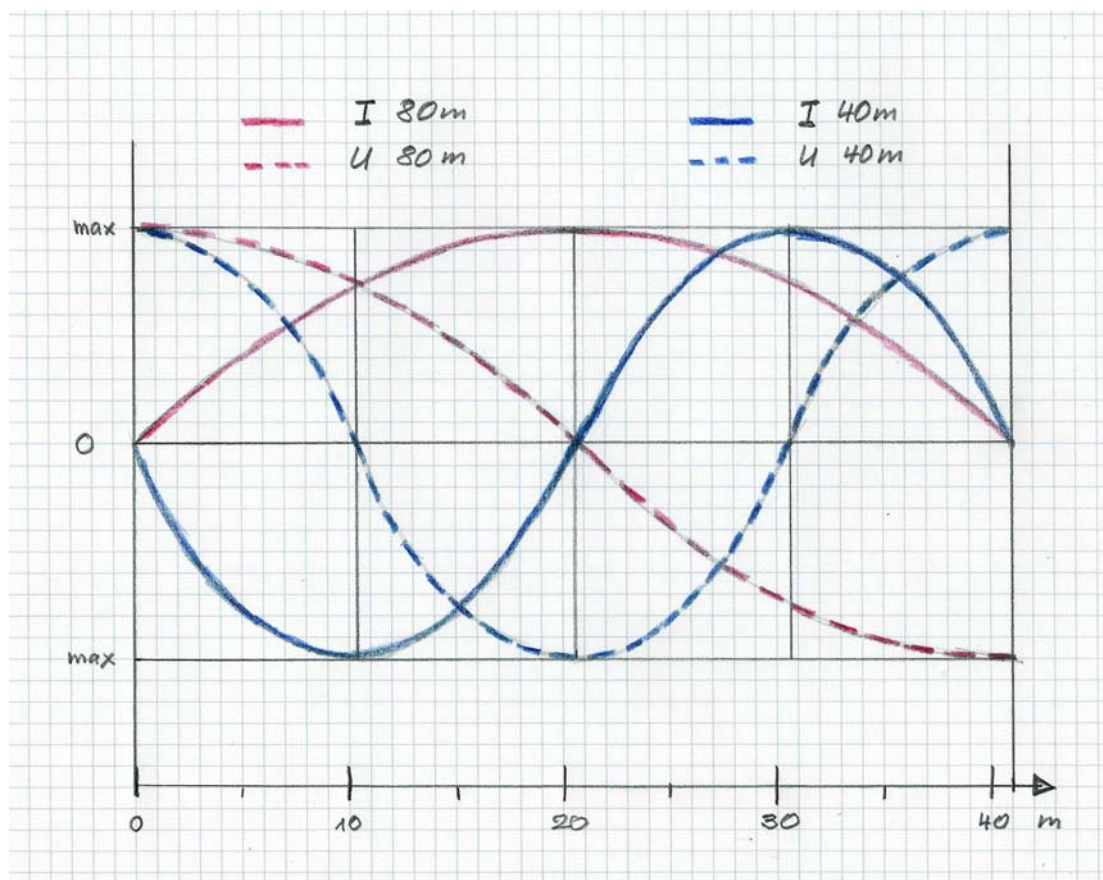
Ab und zu taucht auch die Frage auf:

Kann ich einen 80 m Dipol auch für das 40 m Band verwenden ?

Auch hier hilft die Primitiv-Methode weiter.

Ich zeichne ganz einfach die Sinuskurven für Strom und Spannung sowohl für das 80 m Band wie auch das 40 m Band massstäblich ein.

Als Resultat erhalte ich das nachstehende Bild:



Was zeigt uns diese Zeichnung:

- Auf dem 80 m Band herrscht am Speisepunkt ein Strombauch
Auf dem 40 m Band herrscht am Speisepunkt ein Spannungsbauch

Fazit:

- Die Antenne lässt sich zwar auf dem 80 m mittels einem Koaxialkabel 50Ω speisen.
- Auf dem 40 m Band liegt reine Spannungsspeisung vor. Somit ist Speisung mittels einem Koaxialkabel nicht möglich und auch der Antennenkoppler würde diese Impedanz nicht verdauen. Ein Betrieb auf dem 40 m Band wäre höchstens mittels einer Hühnerleiter (symmetrisches Speisekabel) und einem speziellen symmetrischen Antennenkoppler möglich.

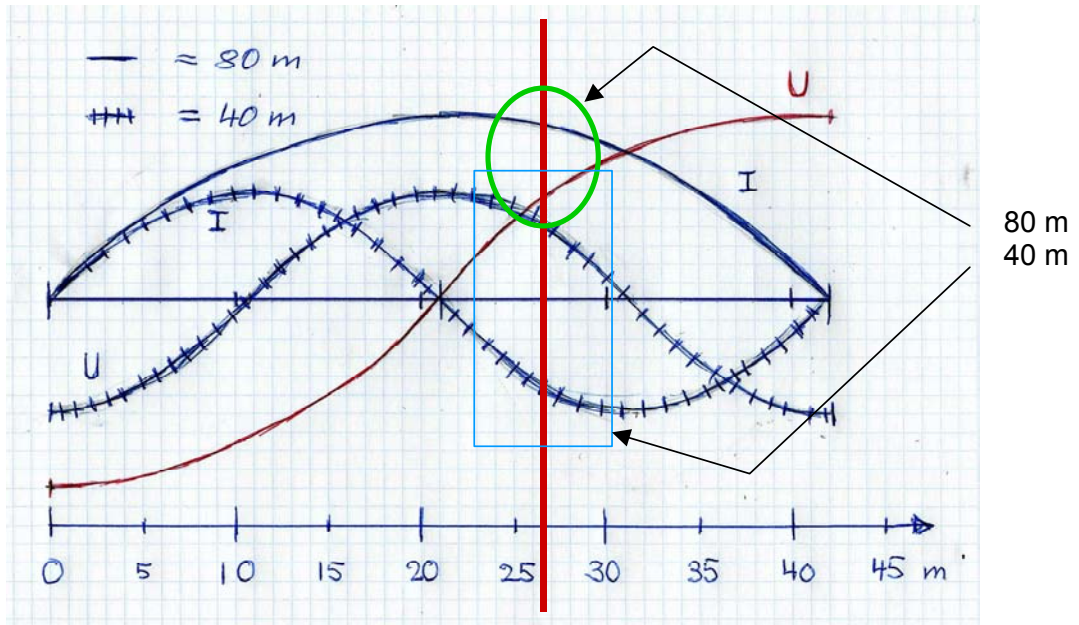
Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Wir lassen nun unsere Gedanken wieder zum 27 m Draht zurückschweifen.

Wie verhält sich dieser Draht auf dem 40 m Band ?

- Auch hier zeichnen wir wieder die Sinuskurven für Strom und Spannung massstäblich für beide Bänder ein. Wir zeichnen auch wieder den vertikalen Strich bei 27 m



Was zeigt uns diese Zeichnung:

- Auf dem 80 m Band finden wir eine Speisepunktimpedanz im hochohmigen Bereich.
- Auf dem 40 m Band finden wir ebenfalls eine Speisepunktimpedanz im hochohmigen Bereich.
- Der 27 m lange Draht müsste sich sowohl auf dem 80 m Band wie auch auf dem 40 m Band gegen Erde mit einem 1:9 Balun ($50\ \Omega / 450\ \Omega$) oder einem automatischen Antennenkoppler vernünftig anpassen lassen. Was wir hier noch nicht kennen ist der Einfluss des Erddrahtes, der ja bei dieser Antennenkonfiguration auch an der Strahlung beteiligt ist. Wir könnten die Zeichnung natürlich noch entsprechend ergänzen.

Die geschilderte Primitiv-Methode hat den Vorteil, dass man abgesehen von einem Zeichnungsblock sowie einem Bleistift über keinerlei Hilfsmittel (PC etc.) verfügen muss. Man kann im Notfall auf der grünen Wiese oder wo auch immer eine kleine Skizze anfertigen. Daraus ersieht man dann was auf der Antenne passiert und die Grössenordnung der Speisepunktimpedanz die einem erwartet lässt sich abschätzen.

4.5 Antennen-Simulations-Software

In den letzten Jahren sind sehr gute Antennen-Simulations Programme auf den Markt gekommen, die es einem erlauben die grundsätzlichen Eigenschaften einer Antenne vorauszusagen.

Allen diesen SW-Packages ist eines gemeinsam



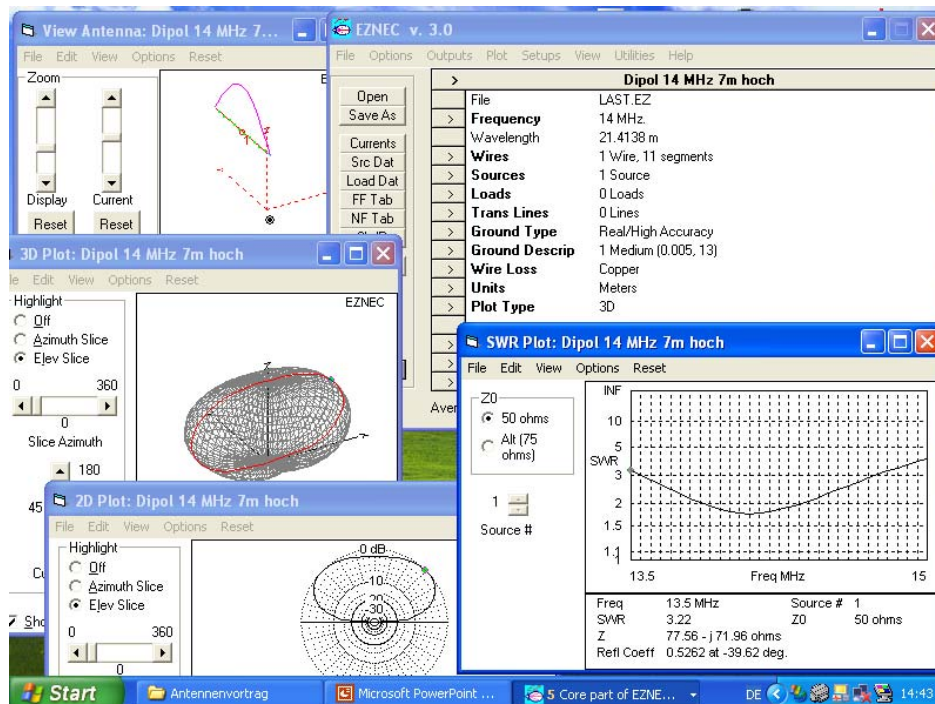
- Sie sind ausgereift
- Sie bringen sehr gute Resultate
- Sie rechnen immer mit den Vorgaben die man ihnen eingibt
- Sie rechnen mit einem Standort „auf der grünen Wiese“

... **ABER** ...

- Wer kennt schon alle Parameter und Störfaktoren seines Antennenstandortes

Bei mir ist das Programm EZNEC von Roy Lewallen, W7EL, in Gebrauch. Viele Zeichnungen zu den verschiedenen Antennenformen die behandelt werden stammen von Simulationen die ich mit Hilfe des EZNEC Programms durchgeführt habe.

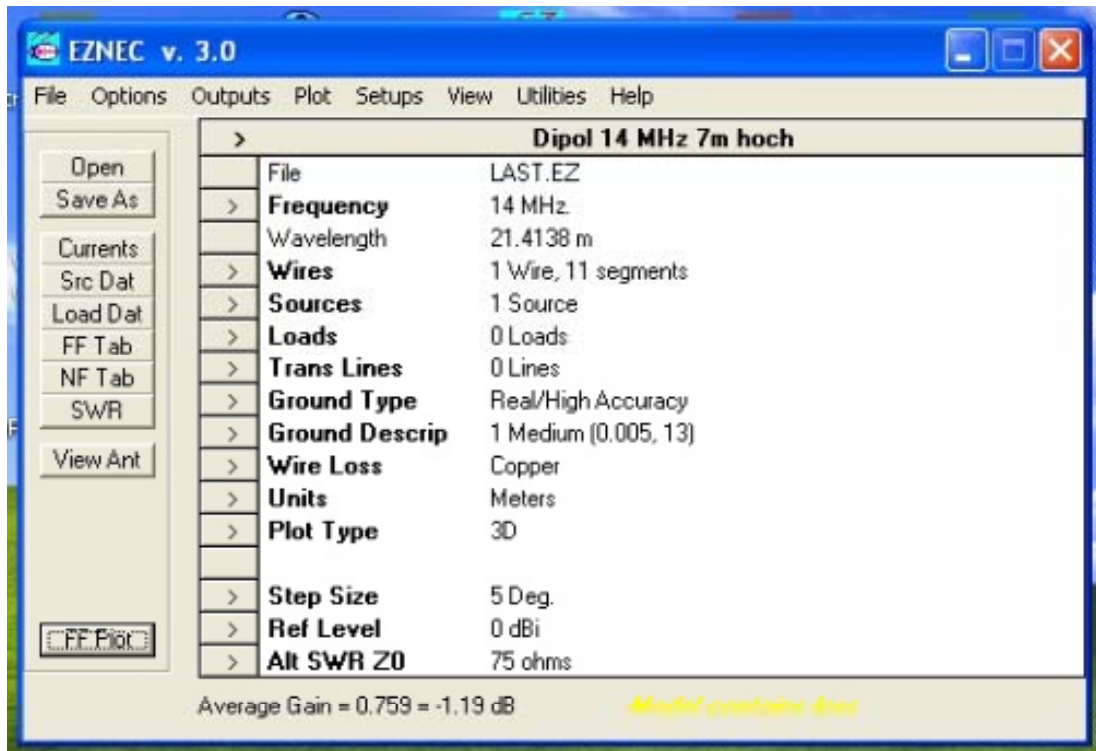
Deshalb einige Angaben zu diesem Programm:



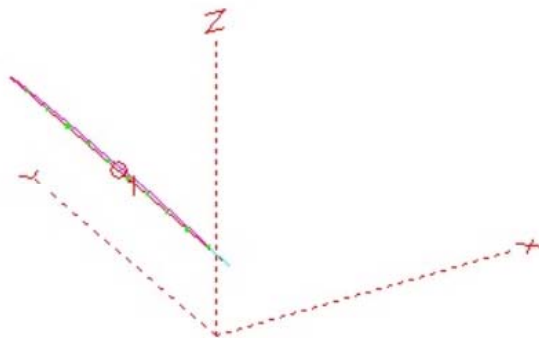
Hier eine kleine Übersicht über die vielfältigen Bildschirm-Darstellungen.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Die Basis-Ansicht. Hier können alle Parameter verändert und definiert werden.



Diese Darstellung zeigt einen Dipol, der aus einem Draht (1) besteht. Der Speisepunkt sitzt in der Mitte. Er ist durch den kleinen Kreis in der Mitte des Drahtes symbolisiert.

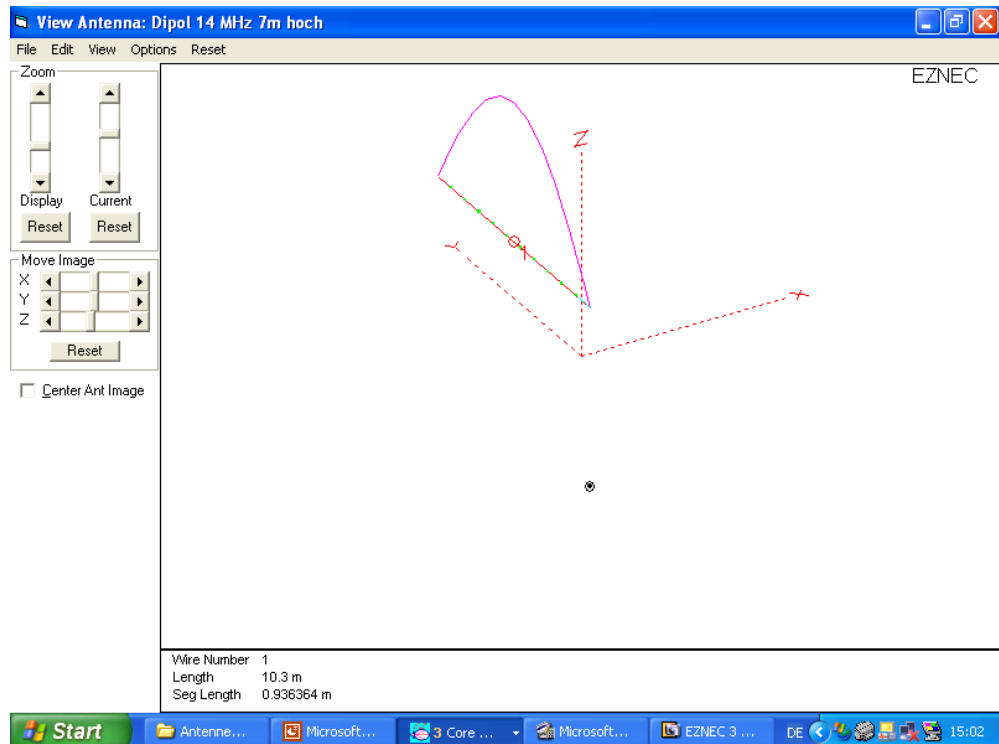
The 'Wires' window shows the following table:

No.	End 1			Conn	End 2			Diameter (mm)	Segs
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)		
1	0	0	7		0	10.3	7	1	11

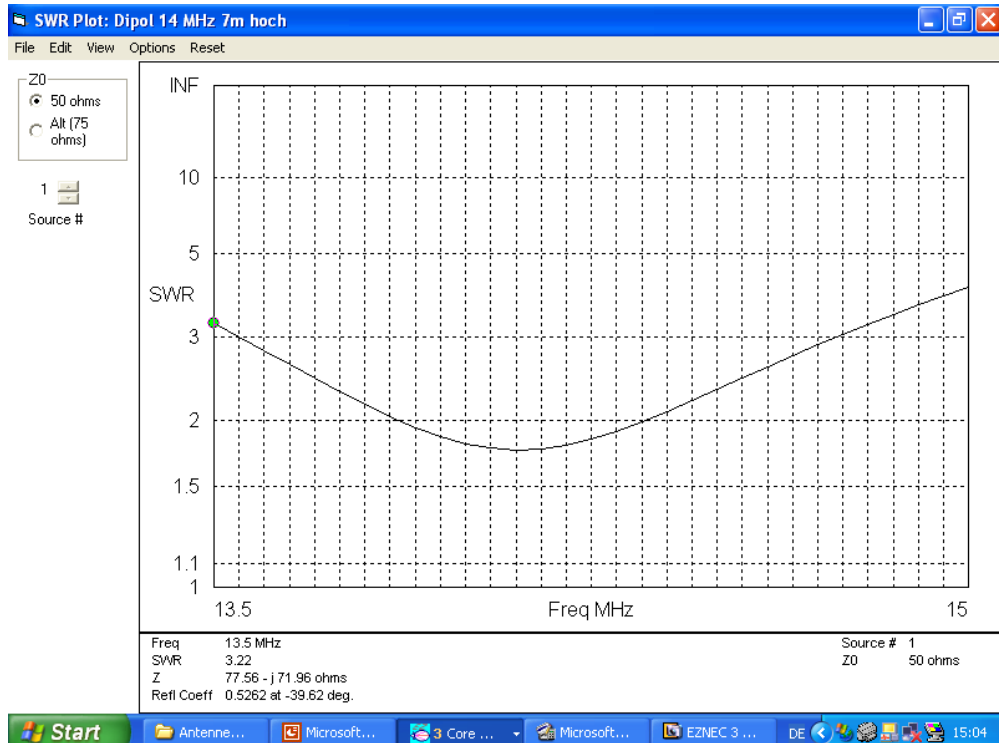
Die Endpunkte der Drähte werden in dieser Liste in Form von X, Y, Z – Koordinaten im Raum definiert.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



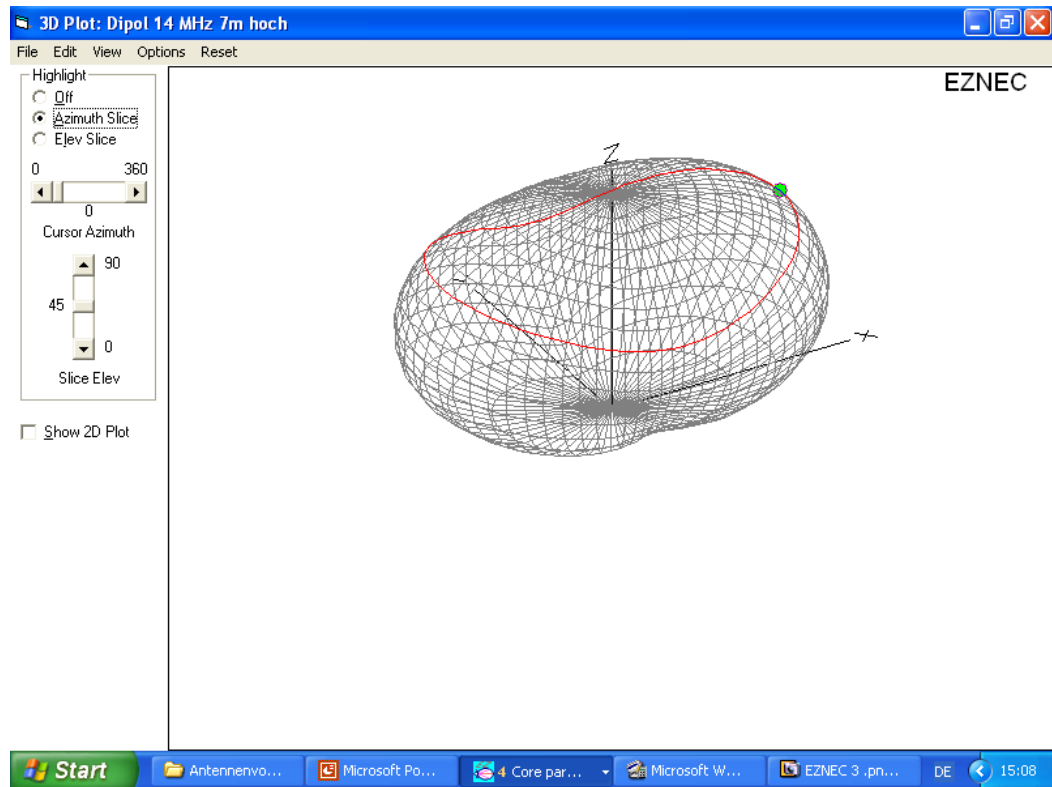
Hier derselbe Dipol nochmals im X, Y, Z – Koordinatenfeld dargestellt. Zusätzlich ist noch die Stromverteilung auf dem Dipol eingezeichnet.



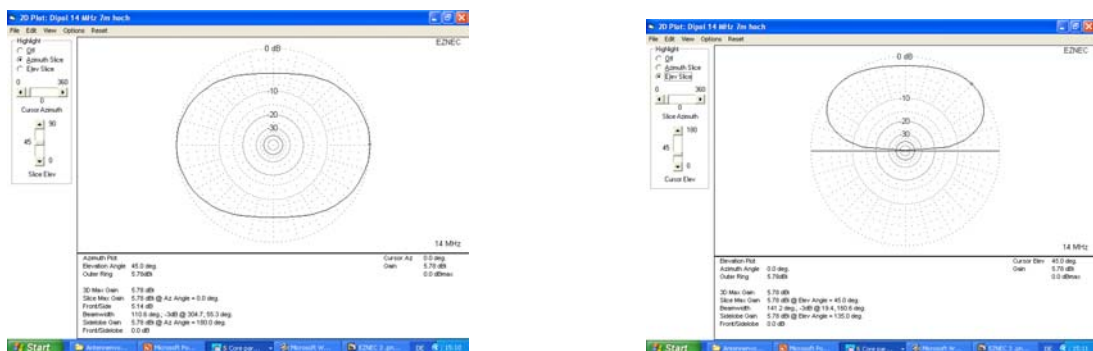
Hier die Darstellung der SWR Kurve.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Hier die Richtcharakteristik der Antenne in 3-D-Form.



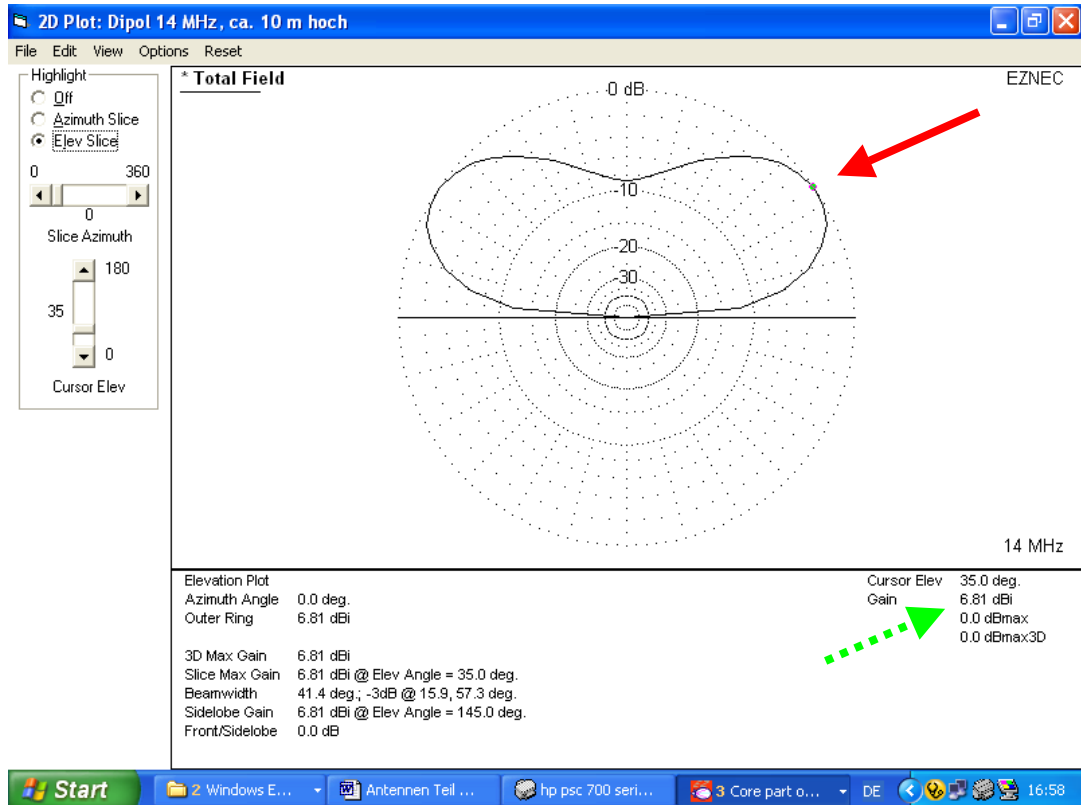
Die 3-D-Darstellung lässt sich noch aufteilen in ein Horizontal-Diagramm (Azimuth-Diagramm) und in ein Vertikal-Diagramm (Elevations-Diagramm).

Zum besseren Verständnis der Angaben die in diesen Horizontal- und Vertikal-Diagrammen enthalten sind betrachten wir einmal solche Diagramme in Grossformat und zwar für einen Dipol der für das 20 m Band (14 MHz) ausgelegt ist und ca. 10 m über Grund aufgehängt ist.

Zuerst betrachten wir das Vertikal-Diagramm, auch Elevations-Diagramm genannt. Dieses zeigt die Richtwirkung einer Antenne in Funktion des Abstrahlwinkels.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Der **rote Pfeil** weist auf ein kleines Pünktchen im Diagramm hin. Dies ist der 0 dB Punkt. Im Klartext heisst das: Unter diesem Abstrahlwinkel haben wir den grössten Antennengewinn.

Der **grüne gepunktete Pfeil** unten im Text zeigt uns eine wichtige Angabe. Er zeigt auf die Stelle an der der Gain, also der Antennengewinn, angegeben ist. Der Antennengewinn ist ausgedrückt in dBi, also in Referenz zum Isotropen Strahler.

Der 0 dB Punkt der Antenne ist also der Antennengewinn an dem Abstrahlwinkel und an dem Azimuth wo die höchste abgestrahlte Leistung auftritt. Alle anderen im Diagramm gezeigten Werte sind „minus dB-Werte“. Dies bedeutet, an der betreffenden Stelle minus so und so viel dB anliegen und zwar in Relation zum maximalen Antennengewinn.

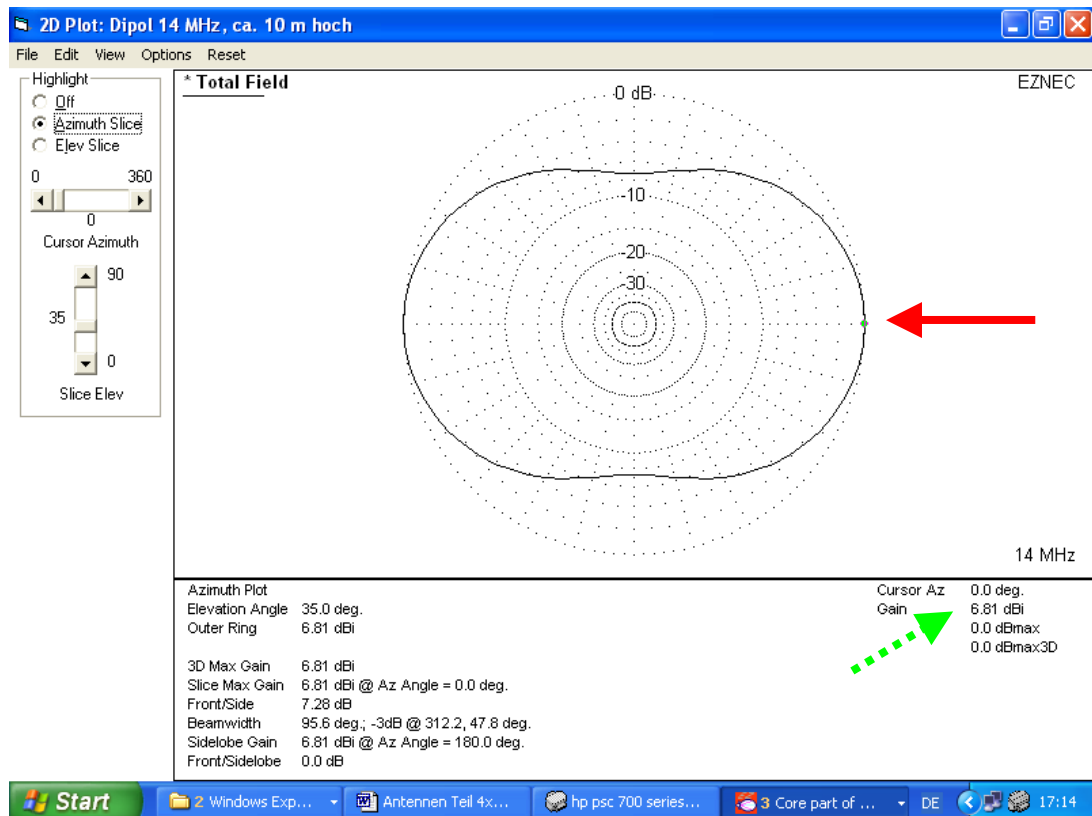
Wenn ich das EZNEC Programm auf meinem PC geöffnet habe und damit rechne, dann kann ich das kleine Pünktchen beliebig auf der Kurve verschieben und ich erhalte dann an der Stelle wo der grüne gepunktete Pfeil hinzeigt automatisch den Gain, d.h. den Gewinn unter diesem Abstrahlwinkel.

Im Text selbst werden noch viele andere nützliche Angaben gemacht. Diese alle zu beschreiben würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen.

Als nächstes betrachten wir das Horizontal-Diagramm, auch Azimuth-Diagramm genannt. Dieses zeigt die Richtwirkung einer Antenne in Funktion der Kompass-Rose.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation



Auch bei diesem Diagramm:

Der **rote Pfeil** weist auf ein kleines Pünktchen im Diagramm hin. Dies ist der 0 dB Punkt. Im Klartext heisst das: Unter diesem Winkel in der Kompass-Rose haben wir den grössten Antennengewinn.

Der **grüne gepunktete Pfeil** unten im Text zeigt uns eine wichtige Angabe. Er zeigt auf die Stelle an der der Gain, also der Antennengewinn, angegeben ist. Der Antennengewinn ist ausgedrückt in dBi, also in Referenz zum Isotropen Strahler.

Der 0 dB Punkt der Antenne ist also der Antennengewinn an dem Azimuth und an dem Abstrahlwinkel wo die höchste abgestrahlte Leistung auftritt. Alle anderen im Diagramm gezeigten Werte sind „minus dB-Werte“. Dies bedeutet, an der betreffenden Stelle minus so und so viel dB anliegen und zwar in Relation zum maximalen Antennengewinn.

Was bei diesen Diagrammen auffällt ist weniger die Richtwirkung des gewählten Dipols sondern die Zahl für den Gain, d.h. den Antennengewinn. EZNEC weist für diese Antenne einen max. Gewinn von 6.81 dBi aus. Wenn wir bei der Vorbereitung auf die Amateurfunkprüfung unter dem Thema Antennentechnik aufgepasst haben, dann wissen wir:

- Ein isotroper Strahler (= Kugelstrahler) hat einen Gewinn von 0 dBi.
- Ein Dipol weist einen Gewinn von 2.15 dBi auf

Dies sind Werte wie sie in jedem Lehrbuch nachzulesen sind, und was im Lehrbuch steht kann ja nicht falsch sein, ... oder etwa doch ?

Des Rätsels Lösung liegt darin wie man eine Antenne definiert. Der Dipol weist tatsächlich einen Gewinn von 2.15 dBi auf, allerdings nur im Freiraum und nur bei einem verlustlosen Leiter. Wer aber hängt schon seinen Dipol im Freiraum, d.h. irgendwo im Weltraum auf.

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

Unser Dipol hängt in der real existierenden Welt und zwar in einer Höhe von ca. 10 m. Hier kommt nun die Bodenreflexion ins Spiel. Ein Teil der abgestrahlten Energie wird nämlich vom Boden reflektiert und trägt ebenfalls zur Abstrahlung bei. In der EZNEC Software besteht die Möglichkeit die Bodenleitfähigkeit vorzugeben. Ich rechne im allgemeinen mit einer Leitfähigkeit von 0.005 S/m (Siemens pro Meter) und einer Dielektrizitätskonstante von 13. Dies entspricht einer durchschnittlichen Bodenleitfähigkeit in ländlichen Gebieten, ohne allzu viel Grundwasser an der Oberfläche.

Wie genau die Bodenleitfähigkeit am eigenen Standort ist weiss man eigentlich nie genau. Aus Erfahrung wissen wir alle:

- Wenn eine Antenne über Grundwasser steht (Grundwasserspiegel möglichst an der Oberfläche), dann ist die Abstrahlung super. Dies ist das Geheimnis der starken Signale unserer Kollegen aus Belgien, Holland, Deutschland an der Küste, Skandinavien und dem Baltikum. Die meisten dieser OM's sitzen förmlich auf dem Grundwasser und stellen mit ihren Stationen Signale hin, dass uns hören und sehen vergeht.
- Die besten Abstrahleigenschaften hat eine Antenne über Salzwasser, also bei „.../mm“-Betrieb von einem Ozeandampfer aus.
- In der Schweiz und generell in Mitteleuropa haben wir im allgemeinen eine mittelmässige Bodenleitfähigkeiten aufzuweisen.
- Eine Antenne die auf reinem Fels steht zeigt im allgemeinen nur dürftige Resultate.

Wenn wir uns einer Analyse-SW bedienen, dann können wir verschiedene Antennentypen miteinander vergleichen. Solange wir uns bei der Simulation derselben Randbedingungen bedienen, also z.B. immer mit derselben Bodenleitfähigkeit rechnen, dann ist der Vergleich in Ordnung. Die Gewinnzahlen in dBi mögen vermutlich nur in den seltensten Fällen exakt mit der Realität übereinstimmen, im Vergleich sind sie trotzdem richtig.

- Die generellen Eigenschaften einer Antenne werden korrekt wiedergegeben.
- Im Vergleich sehen wir ganz klar, welche Antenne unter welchen Betriebsbedingungen die Nase vorn hat.

Damit ist ja der Zweck des Vergleichs bereits erreicht.

Noch einige Tipps zum Thema Antennen Simulation:

Grundsätzlich gilt bei mir die Parole:

... und EZNEC hat doch Recht !

Wenn man eine real existierende oder eine real aufzubauende Antenne simulieren will, dann besteht die Schwierigkeit eigentlich nur darin alle Parameter richtig einzugeben. Für alles was man nicht speziell definiert, wird ein Default-Wert eingesetzt, der idealisierend wirkt.

Wenn man also z.B. als Antennen-Draht den robusten Swiss-Army Felddraht verwendet, dann sollte man tunlichst bei der Rubrik „Wire Loss“ den Drahttyp „Zinc“ wählen. So wird der höhere ohmsche Widerstand des Drahtes auch einigermassen korrekt berücksichtigt.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin die Umgebung, soweit sie störend auf die Antenne einwirken kann, mit zu simulieren. Im allgemeinen sind das Leitungen (Strom, Telefon) aber auch Blitzableiterdrähte, Eisengeländer etc. ja sogar das Armieren im Beton kann die Abstrahlung beeinträchtigen.

Ein anderes Thema ist die bereits angesprochene Leitfähigkeit des Bodens (Ground Type). Wer hier nichts definiert simuliert seine Antennen im „free space“ oder im besten Falle unter

Rund um die Antenne

Teil 4: Antennen-Theorie, Antennensimulation

„perfect ground“. Ich arbeite meistens mit der Einstellung „Ground type = Real, Untergruppe = MININEC“ oder mit „Ground type = Real, Untergruppe = high accuracy“.

Ein weiterer bereits angeschnittener Punkt sind die angegebenen „Gain“-Werte, also die Gewinn-Werte. Diese sind immer auf „dbi“ bezogen, also auf einen isotropen Strahler. Verglichen mit dem isotropen Strahler weist ein „full-size“ Halbwellendipol einen Gewinn von 2.15 db auf. Aber, auch dies ist ein rein theoretischer Wert der nur in Freiraum stimmt, d.h. wenn man die Antenne irgendwo im Weltraum aufbaut.

Dies gilt es zu berücksichtigen. Ich selbst nehme die Gewinn-Angaben nicht allzu ernst, ich verwende sie aber gerne als Vergleichsbasis für verschiedene Antennenversionen, die alle unter den gleichen Randbedingungen gerechnet werden.

Ich habe es schon erlebt, dass sich eine von mir aufgebaute Antenne anders verhalten hat als es die Voraussagen von EZNEC erwarten liessen. Ich habe es dann nicht einfach dabei bewenden lassen, sondern ich habe mich bemüht herauszufinden woher die Unterschiede kamen. Ich habe einen möglichen Störfaktor nach dem anderen im EZNEC eingetragen. Das begann beim Material des Antennendrahtes (z.B. Swiss-Army Felddraht anstatt Cu-Draht), ging weiter über Elektrizitäts- und Telefonzuleitungen, Blitzableiteranlage am Haus, benachbarte Antennen etc. Am Schluss hatte ich ein recht gutes Bild darüber warum sich bei dieser Antenne die vorausgesagten „guten Eigenschaften“ nur andeutungsweise einstellten.

Deshalb sage ich: ... **und EZNEC hat doch Recht !**