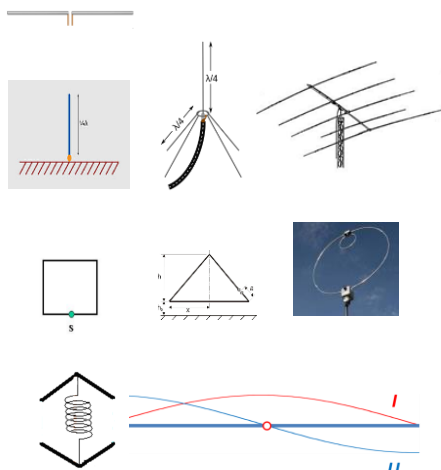


# KW-Antennen und deren Abstrahleigenschaften



K56 OV Bodenheim  
DK2FQ Wolfgang Beer

- Bodenwelle - Raumwelle
- Sprungdistanzen
- Maxwell-Gleichungen
- Was passiert auf und um den Antennendraht?
- $\lambda/2$ -Dipol
- Monopol
- Yagi
- Quad-Deltaoop
- Magnetloop
- Kapazitive Antenne
- Praktische Hinweise



57 Folien, viele aber einfache Bilder

## Ankündigungstext:

Nach ein paar Grundlagen werden die verschiedenen Antennenformen und deren Funktionsweise vorgestellt. Mit Hilfe eines Antennensimulationsprogramms wird z.B. untersucht: Was passiert, wenn man eine Yagiantenne 20 Grad nach unten neigt? Was ändert sich an der Abstrahlung einer Vertikalantenne, wenn man sie schräg stellt? Was ist besser, vergrabene Radials oder frei aufgehängte? Wie wichtig sind ein gutes Stehwellenverhältnis und viel HF-Leistung? Welchen Einfluss hat der Boden auf das Abstrahlverhalten? Auf diese Fragen gibt es Antworten. Weitere können gestellt werden.

Diesen Vortrag habe ich letztes Jahr im April in der HAM-Group „

Vorstellung **DK2FQ**, Amateurfunkzeugnis **seit 1967**, KW-Mobilbetrieb

Besonderes Interesse gilt den **Antennen**, die **PA des QRP-Amateurs**

Da zu Hause **kein Platz** für Antennen -> **Portabel**

**Einfache Formen, Materialien aus dem Baumarkt und Agrarhandel** unter Berücksichtigung der HF-Tauglichkeit, PVC ist nicht so gut -> PP oder PE ist besser

Simulation mit **MMANA**, gemessen mit **RigExpert AA600**.

So konstruieren, dass **möglichst** ohne weitere **Anpassung 50 Ohm** erreicht werden.

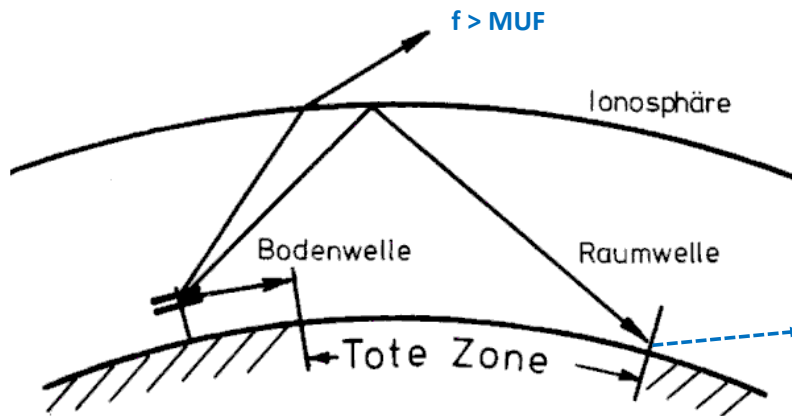
Ich verfolge deshalb die **Literatur und andere Veröffentlichungen zu Antennen**. Das erste Buch (1986) von Gerd Janzen (DF6SJ) „Kurze Antennen“ hatte mich schon fasziniert (enthält ein Kapitel über Koaxtransformatoren, -Baluns, -Ununs -> gehen nicht in die Sättigung, stehen nicht im Rothammel).

**Gerd Janzen** ist 1938 geboren, war bis 2003 Prof. für HF-Technik an der FH Kempten, hat u.a. auch an dem Standardwerk Meinke/Gundlach „Taschenbuch der HF-Technik“ mit geschrieben.

Aber sein **Buch Monopol und Vertikalantennen** (1999) habe ich ganz besonders genossen. Einige **Erkenntnisse** daraus habe ich **zusammengefasst** und in diesem Vortrag verarbeitet.

Eine Antenne ermöglicht die Anpassung der leitungsgebundenen Wellen an den Freiraumwiderstand von 377 Ohm.

## Bodenwelle - Raumwelle



<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-te/e09/>

2

Die **Ionosphäre** ist eine Luftschicht mit einem großen Anteil an **ionisierten Partikeln**. Sie erstreckt sich innerhalb der Erdatmosphäre über mehrere Stockwerke, beginnend in der Mesosphäre (etwa 60 km Höhe) über die Thermosphäre (etwa 200 km Höhe) bis zur Exosphäre (in etwa 2.000 km Höhe). Sie wird von der Magnetosphäre umschlossen, deren Feldlinien teilweise sogar bis über die Mondbahn hinausreichen. Die Ionosphäre ist auch als Kennelly-Heaviside-Schicht bekannt.

In der Ionosphäre unterscheidet man die **D-Schicht (in 60 bis 100 km Höhe)**, die **E-Schicht (in rund 100 bis 200 km Höhe)** sowie die **F1- und F2-Schicht (in 200 bis 400 und 400 bis 800 km Höhe)**, die auch unter der Bezeichnung Appleton-Schicht zusammengefasst werden. An den Schichten werden elektromagnetische **Langwellen, Mittel- und Kurzwellen reflektiert**, sie ermöglichen damit den Funkverkehr über weite Strecken durch teils mehrfache Wellenreflexion, Ultrakurzwellen können auch die Ionosphäre durchdringen.

Die Ionisation der Gaspartikel der Erdatmosphäre wird durch Ultraviolett- und Höhen(Teilchen-)strahlung hervorgerufen. Starke Sonneneruptionen können Magnetstürme hervorrufen, welche die genannten Ionosphärenschichten und damit den durch Reflexion an diesen Schichten ermöglichten Funkverkehr erheblich stören können. Die elektrisch geladene Teilchen des Sonnenwindes treten dabei mit den Gasparkeln in Wechselwirkung, wodurch u.a. auch Polarlichter entstehen. – bis hierher aus <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv3=101286&lv2=101224>

**Maximal Usable Frequency (MUF):** Die MUF ist die höchste Frequenz, bei der eine Reflexion an der Ionosphäre noch möglich ist. Die MUF ändert sich in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit. Weiterhin hat die Sonnenaktivität und der Sonnenfleckenzyklus einen starken Einfluss auf die MUF.  
Typisch: zwischen 2 – 16 MHz.

Die **Bodenwelle** reicht bei Mittelwelle ca. **250 Kilometer** und bei Langwelle ca. **1000 Kilometer**, bei Kurzwelle **30 – 100 km**.

Je höher die Frequenz, desto eher reicht die direkte Welle nur noch auf Sichtweite: Für einen Menschen direkt am Strand mit Augenhöhe 1,80 m ist der Horizont knapp 5 Kilometer entfernt. Steht dieser Mensch auf einer 20 Meter hohen Klippe, kann er schon 17 Kilometer weit blicken. Auf einem 100 Meter hohen Turm wäre der Horizont 36 Kilometer entfernt.

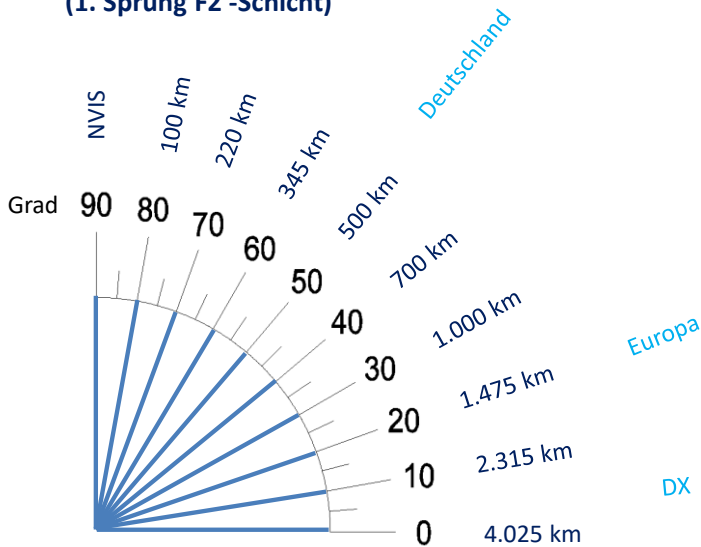
**Lowest Usable Frequency (LUF):** Wird diese Frequenz unterschritten, wird das Signal in den unteren Ionosphärenschichten zu stark gedämpft und kann an der Ionosphäre nicht mehr reflektiert werden. Die ionosphärische Dämpfung ist von der Elektronendichte abhängig. Somit ändert sich die LUF in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit. Weiterhin hat die Sonnenaktivität einen dominierenden Einfluss auf die Elektronendichte.

Mit Augenhöhe 1,80 m ist der **Horizont** knapp 5 Kilometer entfernt. In 20 Meter Höhe kann man 17 Kilometer weit blicken. Auf einem 100 Meter hohen Turm wäre der Horizont 36 Kilometer entfernt.

Die Abstrahlrichtung der Antenne hat damit großen Einfluss auf die Erreichbarkeit bzw. auf die Reichweite.

## Sprungdistanzen

(1. Sprung F2 -Schicht)



Zahlenwerte aus Rothammels Antennenbuch, 13. Auflage, S. 68

3

**NVIS** (Near Vertical Incidence Skywave) Damit bezeichnet man eine besondere Sendart auf der Mittel- und Kurzwelle, bei der die elektromagnetische Welle sehr steil (im Winkel von 80° bis 90°) in den Himmel gestrahlt wird, um Nahschwund-Effekte zu verringern und die Tote Zone zu unterdrücken. Die eingesetzte Frequenz liegt dabei unter der MUF (Maximum Usable Frequency) und über der LUF (Lowest Usable Frequency). Gut verwendbar ist dazu der Bereich um 5 MHz. Wird die LUF unterschritten, wird das Signal in den unteren Ionosphärenschichten zu stark gedämpft und kann an der Ionosphäre nicht mehr reflektiert werden. Die ionosphärische Dämpfung ist von der Elektronendichte abhängig. Somit ändert sich die LUF in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit. Weiterhin hat die Sonnenaktivität einen dominierenden Einfluss auf die Elektronendichte.

# Grundlage sind die 4 Maxwellschen-Gleichungen

## 1. Gaußsches Gesetz

ruhende Ladungsträger = Gleichspannung

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

## 2. Gaußsches Gesetz des Magnetismus

konstant bewegte Ladungsträger = Gleichstrom

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Verschiebungsstrom

## 3. Ampèresches Gesetz (erweitertes Durchflutungsgesetz)

beschleunigte Ladungsträger und  
beschleunigte elektrische Felder

= Wechselstrom und elektrische Wechselfelder

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

## 4. Faradaysches Induktionsgesetz (Induktionsgesetz)

beschleunigte magnetische Felder

= magnetische Wechselfelder

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

E = elektrische Feldstärke

B = magnetische Flußdichte

Wikipedia:

Im Jahr 1820 beobachtete Hans Christian Ørsted während einer Vorlesung die Ablenkung einer Kompassnadel durch einen stromdurchflossenen Draht und entdeckte somit die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes. Der sogenannte Elektromagnetismus.

Luigi Aloisio Galvani (\* 9. September 1737 in Bologna; † 4. Dezember 1798 ebenda)[1] war ein italienischer Arzt, Anatom und Naturforscher. Ein Zufall führte ihn am 6. November 1780 zur Entdeckung des nach ihm benannten Galvanismus. Bekannt ist er für seine verschiedenen Froschschenkel-Experimente in Verbindung mit der damals noch weitgehend unerforschten (tierischen) Elektrizität.

Gauß, Ampere, und Faraday hatten einzelne elektrische, bzw. magnetische Phänomene bereits vor Maxwell in Form von Gleichungen beschrieben. Maxwell hatte erkannt, dass diese Gesetze Sonderfälle von ein und demselben Phänomen sind: dem Elektromagnetismus. Als er die Gesetze im Zusammenhang betrachtet hatte, fiel ihm auf, dass der sog. Verschiebungsstrom noch fehlte. As er den mit hinzunahm, gingen die Gesetze ineinander auf und bilden auch heute noch die Grundlage für alle theoretischen Betrachtungen zum Elektromagnetismus.

James Clerk Maxwell (1831- 1879): schottischer Physiker

Johann Friedrich Gauß (1777 - 1855) : deutscher Mathematiker, Statistiker, Astronom, Geodät, Elektrotechniker und Physiker

André-Marie Ampère (1775 - 1836): französischer Physiker und Mathematiker

Michael Faraday (1791 - 1867): englischer Naturforscher, der als einer der bedeutendsten Experimentalphysiker

Heinrich Hertz hatte erst 1888 elektromagnetische Wellen experimentell nachgewiesen.

Maxwells Leistung war, die vier Gesetze im Zusammenhang zu sehen. Er erkannte, dass die einzelnen Gesetze jeweils Sonderfälle des Phänomens Elektromagnetismus beschreiben. Dabei fiel ihm auf dass ein Term fehlte, nämlich der Verschiebungsstrom.

Wikipedia: Der Verschiebungsstrom entspricht Änderungen der elektrischen Flussdichte, die aus zwei Beiträgen besteht: der Bildung oder Ausrichtung elektrischer Dipole in Materie, (siehe dielektrische Polarisierung), und der elektrischen Feldstärke multipliziert mit der elektrischen Feldkonstante. Durch einen Kondensator fließt kein Strom, aber das elektrische Feld und damit der elektrische Fluss \*) ändert sich beim Aufladen des Kondensators (es ist das elektrische Feld D ohne Einflüsse durch dielektrische Materie gemeint; in der Grafik mit E bezeichnet). Maxwell definierte einen Verschiebungsstrom nun als die Änderung des elektrischen Flusses durch die gegebene Oberfläche. Der Verschiebungsstrom ist daher kein Strom, bei dem Ladung transportiert wird. Vielmehr ist es eine anschauliche Bezeichnung für ebendiese Änderung des elektrischen Flusses, da sie offenbar die gleiche Wirkung hat wie ein richtiger Strom.

\*) Der elektrische Fluss oder auch Verschiebungsfluss ist eine physikalische Größe aus der Elektrostatik und Elektrodynamik. Obwohl der elektrische Fluss mathematische Eigenschaften hat, die denen einer realen Strömung in einem Strömungsfeld ähneln, transportiert er nichts Materielles wie etwa Ladungsträger, sondern überträgt lediglich die Wirkung des zugrundeliegenden Kraftfeldes von einem Punkt zu einem anderen.

Die Änderung des elektrischen Flusses hat offenbar die gleiche Wirkung wie ein richtiger Strom.

Der elektrische Fluss hat zwar eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Strom im Strömungsfeld, jedoch fließt bei dem elektrischen Fluss nichts materielles wie Ladungsträger, sondern lediglich die Wechselwirkung des Kraftfeldes wird von einem Punkt zu einem anderen Punkt übertragen. Einheit: Coulomb pro Quadratmeter (C/m<sup>2</sup>).

**1.: Gaußsches Gesetz:** Eine ruhende elektrische Ladung  $Q$  erzeugt um sich herum ein elektrisches Feld, die Feldlinien entstehen und münden in einer Ladung -> elektrisches **Quellenfeld**.

**2.: Gaußsches Gesetz des Magnetismus:** Magnetfelder sind quellenfrei, es gibt nur **magnetische Wirbelfelder**, es gibt keine magn. Monopole, keine magn. Ladungen und keine magn. Ströme. Magnetische und elektrische Erscheinungen sind nicht symmetrisch.

**3.: Ampèresches Gesetz:** zeitlich veränderte Ströme/ elektrische Felder („echter“ Strom + Verschiebestrom) sind ebenso von zeitlich veränderten magnetischen Wirbelfeldern umgeben.

**4.: Faradaysches Induktionsgesetz:** Zeitlich veränderte Magnetfelder sind von **elektrischen Wirbelfeldern** umgeben (diese gleichzeitig von zeitlich veränderten Magnetfeldern, usw.).

Poyntingvektor  $\leftarrow \dots$   
 $v_{\text{Licht}}$

Elektromagnetische Welle

Beschleunigte Ladung

5

Elektrische und magnetische Felder sind Kraftfelder.

Zusammen mit der **Lorentzkraft** erklären die 4 Maxwell'schen Gleichungen alle Phänomene der klassischen **Elektrodynamik**. Sie bilden daher auch die theoretische Grundlage der **Optik** und der **Elektrotechnik**. Die Gleichungen sind nach dem schottischen Physiker James Clerk Maxwell benannt, der sie von 1861 bis 1864 erarbeitet hat. Er kombinierte dabei das **Durchflutungsgesetz** und das **gaußsche Gesetz** mit dem **Induktionsgesetz** und führte zusätzlich, um die **Kontinuitätsgleichung** nicht zu verletzen, den ebenfalls nach ihm benannten **Verschiebungsstrom** ein.

**Zu 1.: Gaußsches Gesetz:** Probeladungen bewegen sich im elektrischen Feld längs bestimmter Linien, den Feldlinien. Die Richtung der Feldlinien gibt die Krafrichtung auf eine positive Probeladung an. Beim statischen elektrischen Feld beginnen die Feldlinien bei der positiven felderzeugenden Ladung und enden bei der negativen Ladung. Die Struktur der Feldlinienbilder hängt stark von der Form und der Aufladungen der felderzeugenden geladenen Körper ab.

**Zu 2.: Gaußsches Gesetz des Magnetismus:** Magnetische Feldlinien haben keinen Anfang und kein Ende, sie sind immer geschlossen. Bei einem Stabmagneten treten sie am Nordpol aus und im Südpol wieder ein und verlaufen innerhalb des Magneten weiter sodass sie geschlossen sind. Feldlinien sind gedachte Linien, die die von einem **Feld** auf einen Probekörper ausgeübte **Kraft** veranschaulichen. Die an eine Feldlinie gelegte **Tangente** gibt die Krafrichtung im jeweiligen Berührungspunkt an; die Dichte der Feldlinien gibt die **Stärke des Feldes** an. Es gibt keinen magnetischen Strom. Dem elektrischen Strom entspricht der magnetische Fluss. Er ist die Folge der magnetischen Spannung durch einen magnetischen Widerstand.

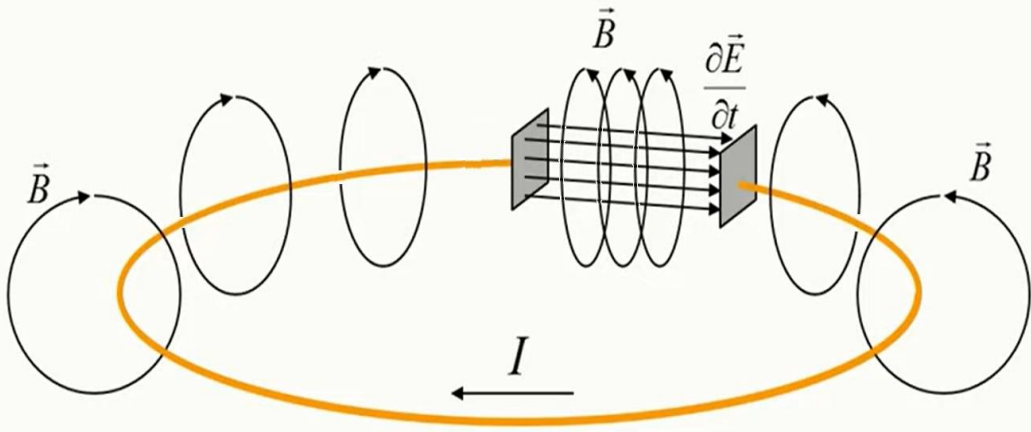
**Das magnetische Moment stammt aus dem Eigen-Spin des Elektrons.**

**Poyntingvektor:** benannt nach T. Elford Poynting (1852 – 1914).

Er beschreibt die Intensität und Richtung des Energietransportes eines elektromagnetischen in  $W/m^2$ . Das ist die Leistungsdichte.

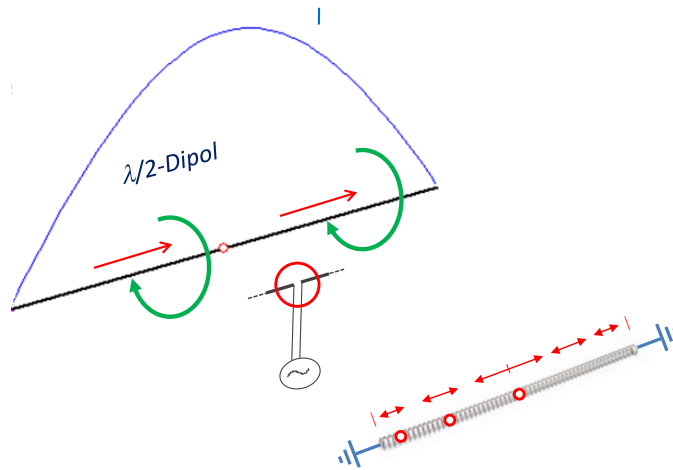
Die elektromagnetische Kraft ist  $10^{36}$  mal stärker als die Gravitation. Die Gravitation ist die schwächste Kraft im Universum.

## Verschiebungsstrom



Bildquelle aus Video von René Matzdorf (ab 0:16 Min.): <https://www.youtube.com/watch?v=drXWqfzCvU4>

## Was passiert auf dem Antennendraht?



7

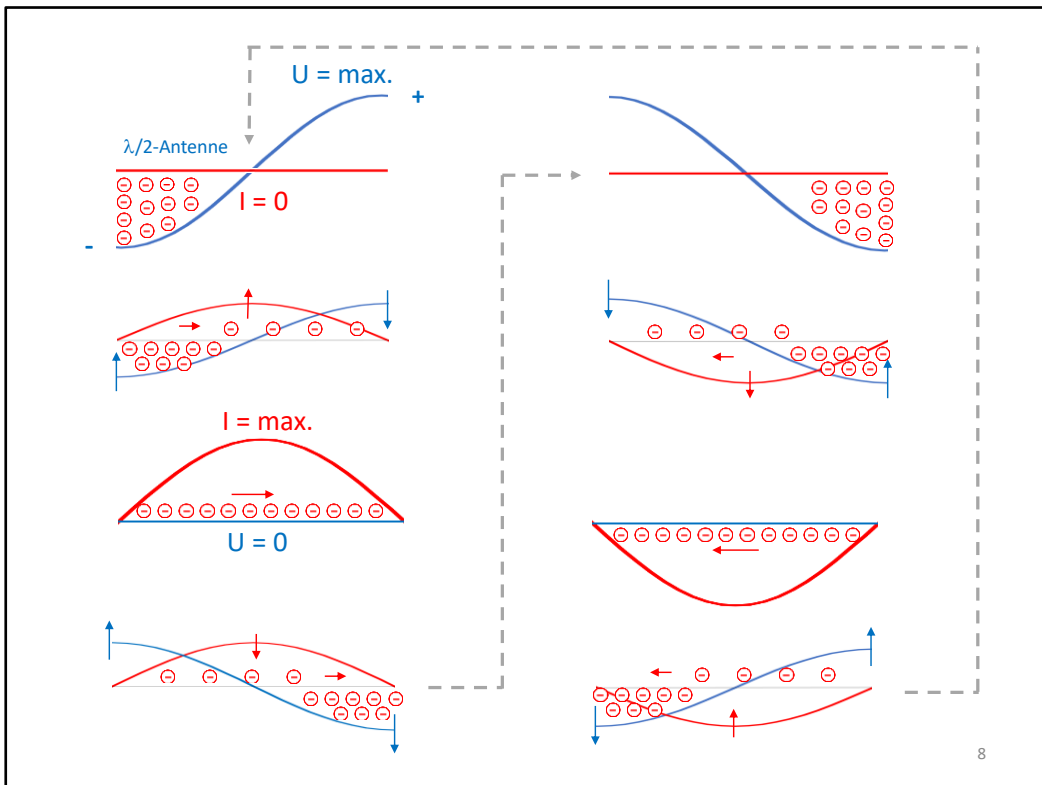
Eine **Antenne** wandelt leitungsgebundene elektromagnetische Wellen in Freiraumwellen um, oder umgekehrt als *Empfangsantenne* die als Freiraumwelle ankommenden elektromagnetischen Wellen zurück in leitungsgebundene elektromagnetische Wellen. Wesentlich dafür ist die Transformation des Wellenwiderstandes der Leitung durch die Antennenanordnung in den Wellenwiderstand des Vakuums. Dabei entsteht eine elektromagnetische Freiraumwelle erst im Fernfeld. Anordnungen für Frequenzen unterhalb der Schumann-Resonanzen von etwa 16 Hz können aufgrund der großen Wellenlänge auf der Erde keine Freiraumwelle erzeugen. (Wikipedia)

Der Freiraumwellenwiderstand beträgt ca. 377 Ohm. Genau: ist er die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  mal der Lichtgeschwindigkeit.

Der **Strahlerstrom teilt sich** auf beide Radials auf.

Interessant ist, dass es durch die zwei in nur einer Ebene angeordneten Radials **keine Richtwirkung** ergibt. Daran erkennt man auch, dass die **Radials** (wenn rechtwinklig zum Strahler) **selbst nicht strahlen**. Obwohl die Radials horizontal angebracht sind zeigt das Antennendiagramm nur eine vertikale Komponente. Die Radials fungieren nur als **Blindleistungsspeicher**. Sind die Radials, wie bei der Groundplane abgewinkelt, so ergibt sich ein zusätzlicher vertikaler Strahlungsanteil an Vertikalstrahlung. Ist der Strom auf den Radials nicht symmetrisch verteilt, bewirkt der Differenzstrom einen auf die resultierende Radialachse bezogenen Strahlungsanteil, der in das Fernfeld wirksam wird. Ist nur *ein* Radial vorhanden, dann wirkt die Antenne wie ein abgeknickter Dipol. Dann spricht man auch nicht mehr von einem Radial, sondern von der zweiten Strahlerhälfte.





Die folgenden Bilder zeigen die Strom- und Spannungsverteilung auf einem  $\lambda/2$ -Dipol:

Bild oben links: Die Ladungsträger sind auf der linken Seite angelangt. Es fließt in diesem Moment kein Strom. Die Spannung auf dem Dipol ist über den Enden gemessen maximal.

Bild darunter: Die Ladungsträger beginnen zur rechten Seite zu fließen. Der Strom steigt an. Die Spannung sinkt entsprechend ab.

Bild darunter: Alle Ladungsträger sind gleichmäßig über den Dipol verteilt. Damit ist kein Spannungsunterschied mehr auf dem Antennendraht vorhanden. Die Spannung ist in diesem Moment Null. Der Strom ist auf dem Antennendraht maximal.

Bild unten links: Die Bewegungsenergie treibt die Ladungsträger weiter in die rechte Dipolhälfte. Damit baut sich über dem Antennendraht wieder ein Spannungsunterschied mit umgekehrtem Vorzeichen auf. Der Strom nimmt dabei ab.

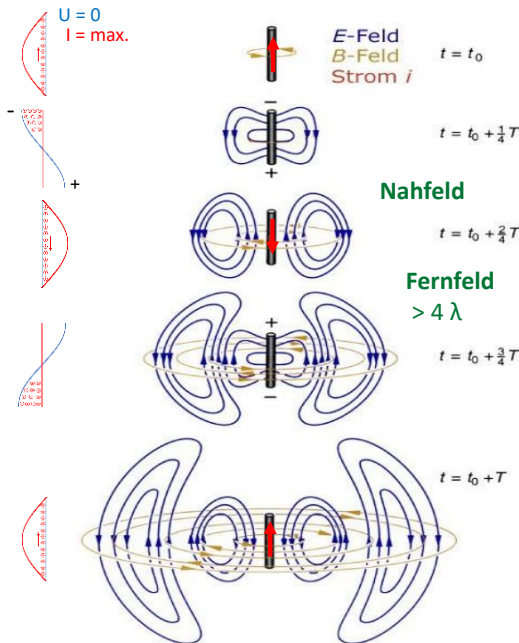
Bild rechts oben: Alle Ladungsträger sind auf der rechten Dipolhälfte angekommen. Die Spannung ist jetzt maximal, allerdings mit anderem Vorzeichen.

Bild darunter: Die Ladungsträger bewegen sich jetzt wieder zurück. Der Strom nimmt zu, die Spannung wieder ab.

Bild darunter: Alle Ladungsträger sind jetzt gleichmäßig auf dem Antennendraht verteilt. Der Strom ist maximal. Die Spannung ist Null.

Bild unten rechts: Die Ladungsträger sammeln sich aufgrund ihrer Bewegungsenergie auf der linken Seite des Dipols. Damit steigt die Spannung und der Strom nimmt ab. Jetzt geht es wieder von vorne los.

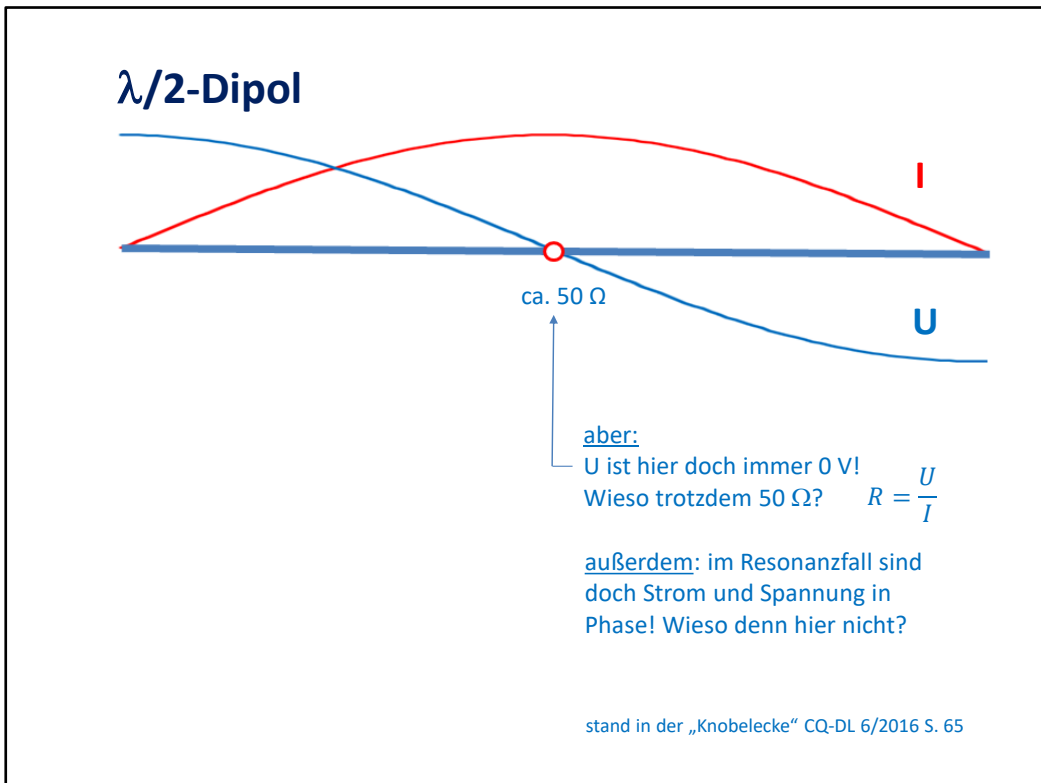
## Was passiert um den Antennendraht?



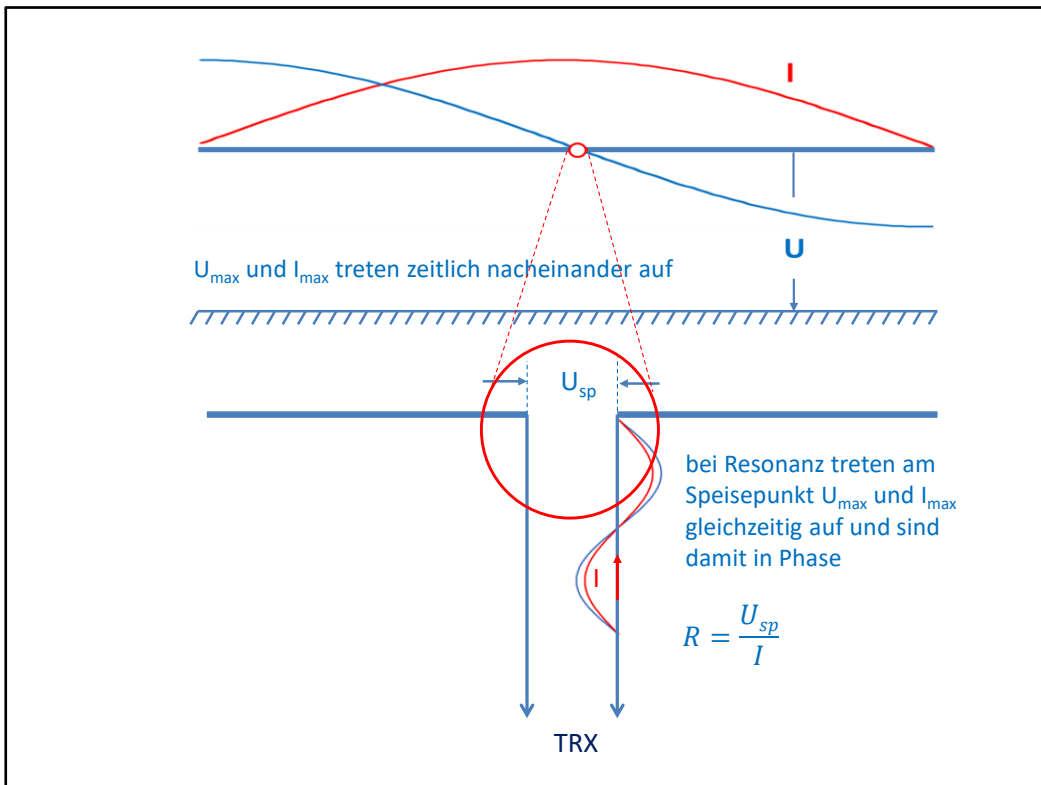
Beim Strommaximum entsteht ein Magnetfeld um den Draht herum, dass mit Lichtgeschwindigkeit sich in den Raum ausbreitet.

Sind die Ladungsträger am anderen Ende angekommen, wird der Strom zu Null. Das Magnetfeld bricht zusammen. Die Magnetfeldanteile, die noch in Reichweite des Drahtes sind, induzieren beim Zusammenbrechen in den Draht einen Strom, der so gerichtet ist, wie der der dieses Magnetfeld erzeugt hatte. Damit werden die Ladungsträger zusätzlich getrieben. Der Teil des Magnetfeldes, der schon zu weit vom Antennendraht weg ist, breitet sich weiter in den Raum aus. Das Bild darunter zeigt den Zustand, wenn alle Ladungsträger oben am Antennendraht angekommen sind. Jetzt ist das elektrische Feld maximal aufgebaut. Bei 100 Watt HF-Leistung kann die Spannung an den Enden des Dipols durchaus 400 - 500 V betragen, während am Speisepunkt bei 50 Ohm nur 70 V herrschen. Wenn im nächsten Bild die Ladungsträger wieder in die entgegengesetzte Richtung fließen, baut sich das elektrische Feld ab, der Strom nimmt zu, das magnetische Feld baut sich in Gegenrichtung auf, bis das elektrische Feld komplett abgebaut ist. Jetzt hat das elektrische Feld zwischen den Dipolen die Spannung Null und die elektrischen Feldlinien treffen sich mit diesem Potenzial in der Mitte, verbinden sich und lösen sich so von dem Antennendraht. Dadurch wandelt sich das elektrische Quellenfeld jetzt zu einem Wirbelfeld und verschwindet gemeinsam mit dem magnetischen Wirbelfeld in den Raum. Der Bereich, in dem das magnetische Feld noch auf dem Antennendraht zusammenbricht, nennt man Nahfeld. Man unterscheidet noch das sog. **reaktive Nahfeld** und das **abstrahlende Nahfeld**. Im reaktiven Nahfeld sind das elektrische und magnetische Feld noch unabhängig voneinander und an den Antennendraht gebunden. Erst im abstrahlenden Nahfeld beginnen sie sich zum elektromagnetischen Feld zu vereinigen. Hier haben beide aber noch eine Phasenverschiebung zueinander (Blindleistung!). Ab  $4 \lambda$  Lambda beginnt das Fernfeld. Ab hier haben sich die elektromagnetischen Wellen vollständig ausgebildet und wandern mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum. **Erst im Fernfeld sind beide Felder in Phase** und stehen senkrecht aufeinander.

Das Formelzeichen geht zurück auf den schottischen Physiker James Clerk Maxwell, der in seinen Aufzeichnungen die Buchstaben **B**, C und D für das magnetische und **E**, F und G für das elektrische Feld verwendete.

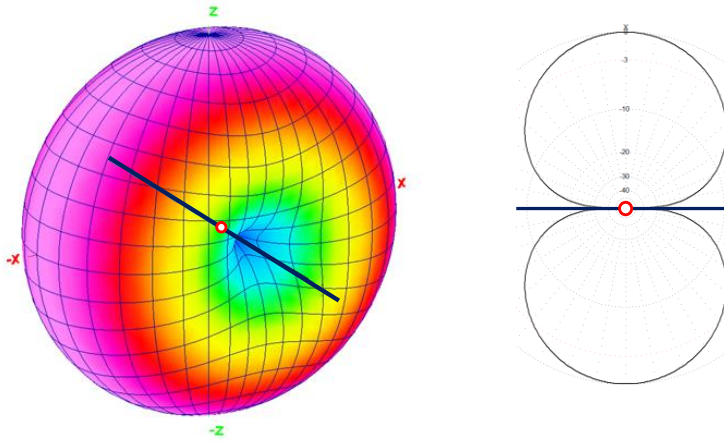


Das ohmsche Gesetz lautet  $R = U/I$ . Wenn aber  $U = 0 \text{ V}$  ist, kann  $R$  nicht  $50 \Omega$  sein!  
 Die Lösung ist: Die klassische Darstellung bezieht sich auf die Betrachtung von außen: Wenn wir Strom auf dem Antennendraht an den unterschiedlichen Stellen messen würden und auch die Spannung gegen Erde, dann sähe man den hier abgebildeten Verlauf. Die Spannung im Speisepunkt wird nicht gegen Erde gemessen, sondern ist die, die beim Senden den Strom in der Antenne erzeugt. Bei Resonanz sind der Antennenstrom und die Spannung über dem Einspeisepunkt in Phase. Die Leistung, die die Antenne durch Abstrahlung abgibt, wird hier ersetzt.



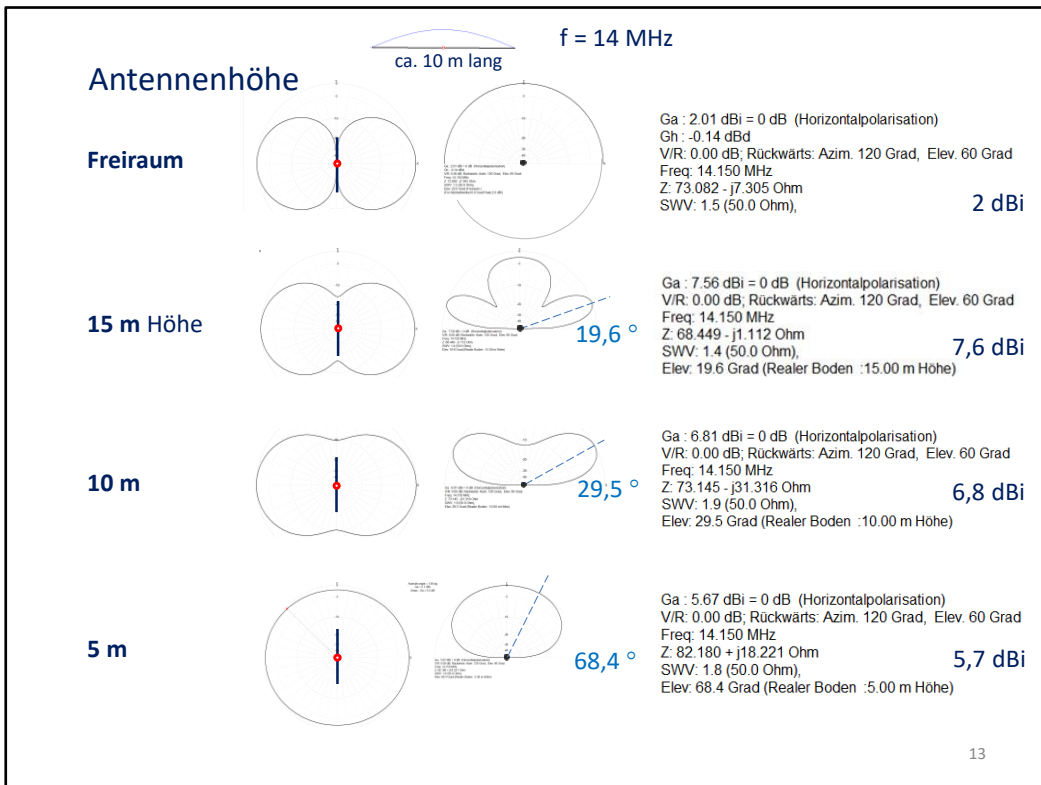
Das ohmsche Gesetz lautet  $R = U/I$ . Wenn aber  $U = 0 \text{ V}$  ist, kann  $R$  niemals  $50 \text{ } \Omega$  sein!  
 Die klassische Darstellung bezieht sich auf die Betrachtung von außen: Wenn wir Strom auf dem Antennendraht an den unterschiedlichen Stellen messen würden und auch die Spannung gegen Erde, dann sähe man den hier abgebildeten Verlauf. Die Spannung im Speisepunkt wird nicht gegen Erde gemessen, sondern ist die, die beim Senden den Strom in der Antenne erzeugt. Bei Resonanz sind der Antennenstrom und die Spannung über dem Einspeisepunkt in Phase. Die Leistung, die die Antenne durch Abstrahlung abgibt, wird hier ersetzt.

## Strahlungsdiagramm eines Dipols im Freiraum



12

Im Freiraum hat der Dipol ein donatförmiges Fernfeld.

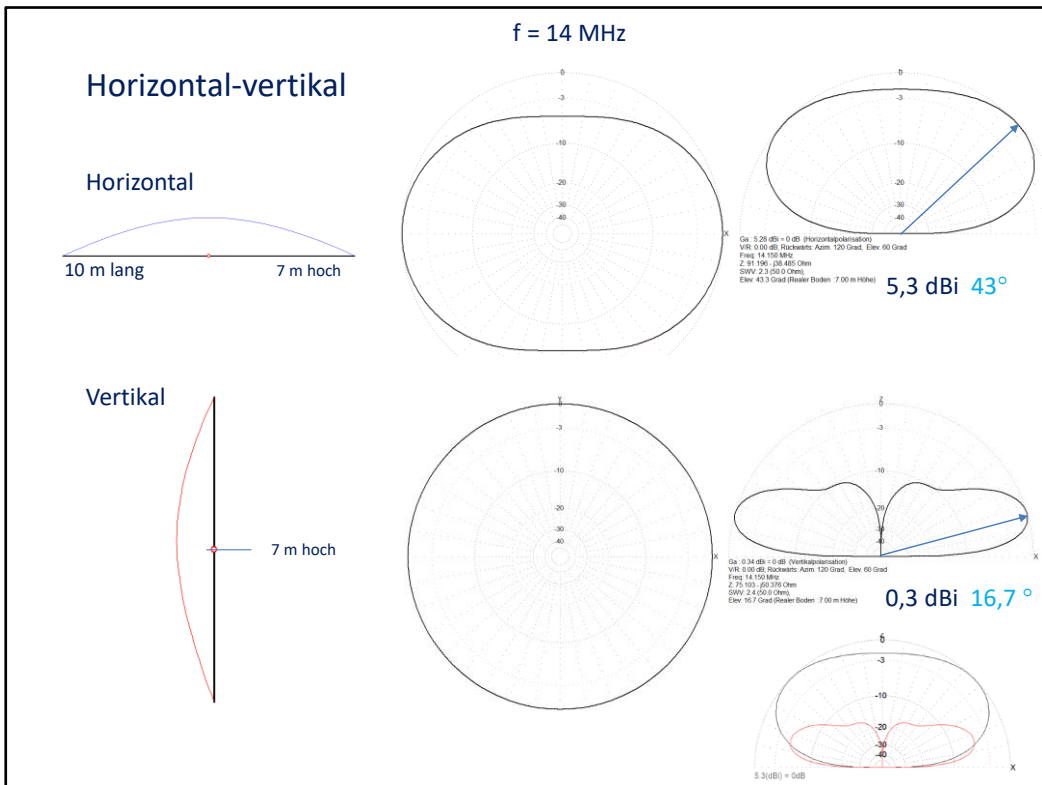


Wird die Antenne über einer HF-Erde betrieben, werden die Feldanteile in Richtung Boden mit nach oben reflektiert. Dieser Strahlungsanteil ergänzt den direkt abgestrahlten. Das ergibt eine Verdopplung der Feldstärke und damit einen zusätzlichen Gewinn bis zu 6 dB (Abhängigkeit vom Boden, ideal wäre eine Kupferplatte).

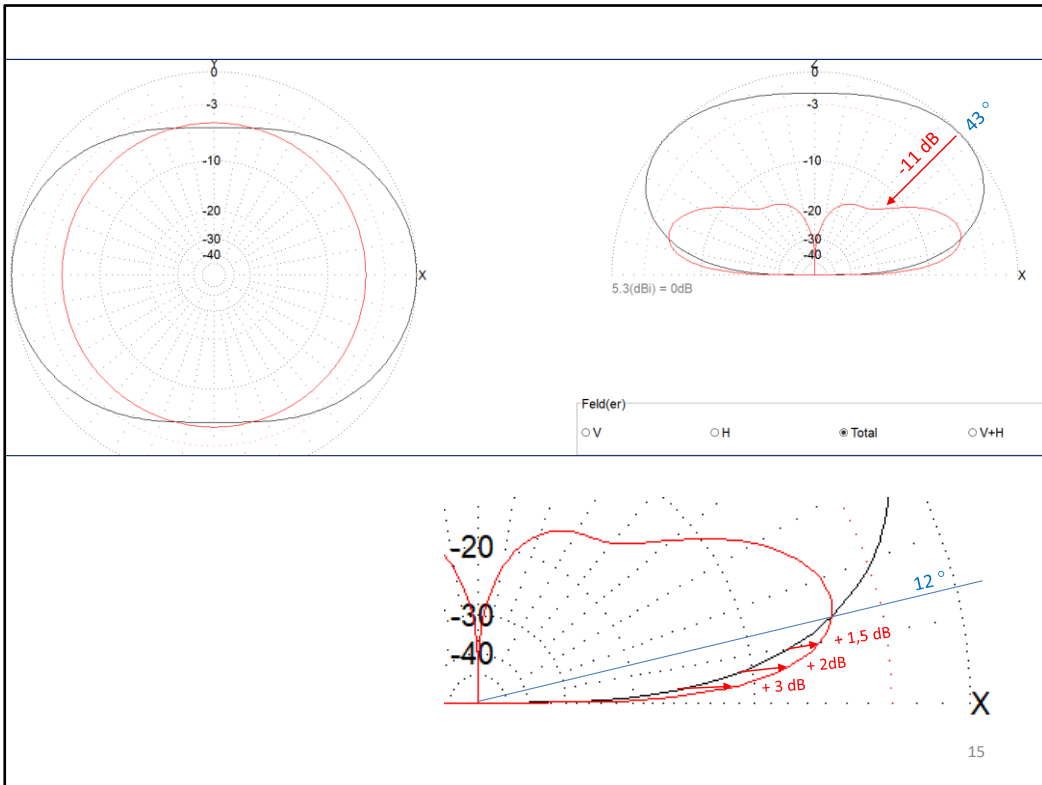
Mit abnehmender Antennenhöhe wird die Antenne mehr und mehr zum Steilstrahler. Der Gewinn lässt nach, weil in Bodennähe die Bodenverluste ins Spiel kommen. Je näher man dem Boden kommt, desto niedriger wird auch der Strahlungswiderstand.

Bei 1 m Höhe hat diese Antenne nur noch 7 minus 18 Ohm Impedanz und ein SWR von 8!

Gewinn Dipol im Freiraum theoretisch: 2,15 dBi

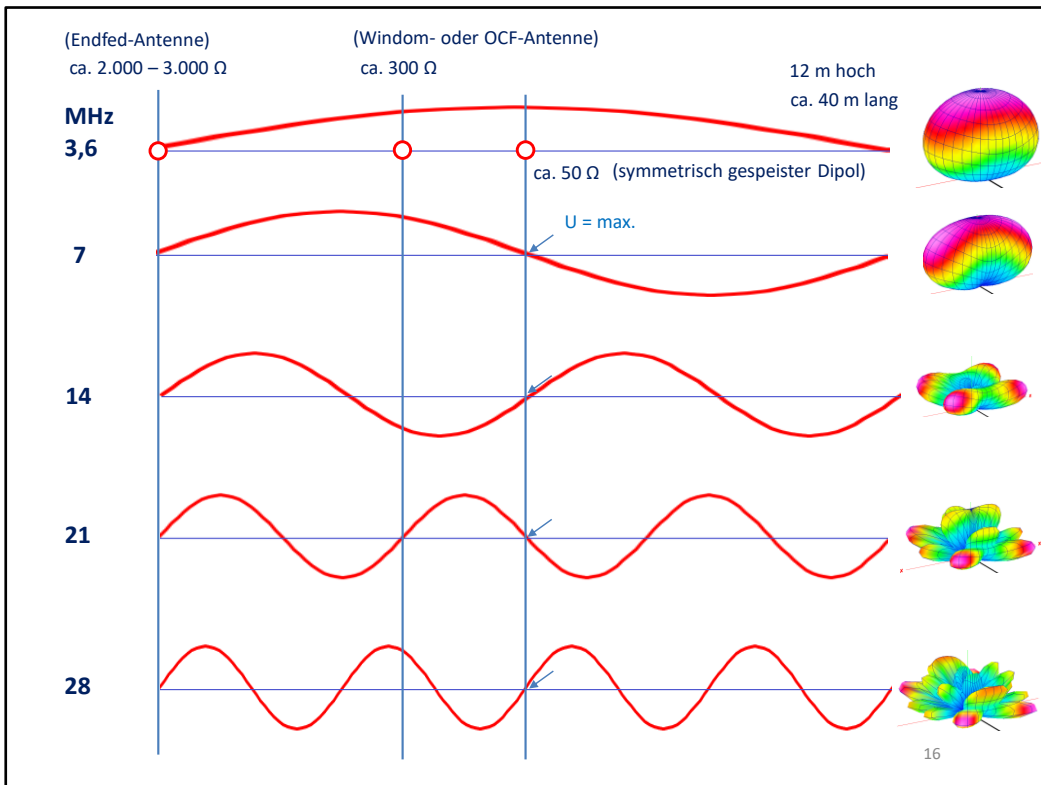


Dreht man die Antenne in der mittleren Höhe um 90 Grad, wird die Antenne zum Vertikalstrahler. Die Reflektion an der HF-Erde entfällt. Damit entfällt der zusätzliche Gewinn durch die Reflektion an der HF-Erde. Dafür strahlt sie flacher.



Vergleicht man beide Abstrahlcharakteristiken, so sieht man, dass unterhalb 12 Grad die vertikale Antenne im Vorteil ist und hier bis zu 3 dB (1/2 S-Stufe) besser ist als die horizontale Antenne. Dafür verliert man im Steilstrahlbereich (z.B. für Deutschlandbetrieb) ca. 15 d. (2,5 S-Stufen)



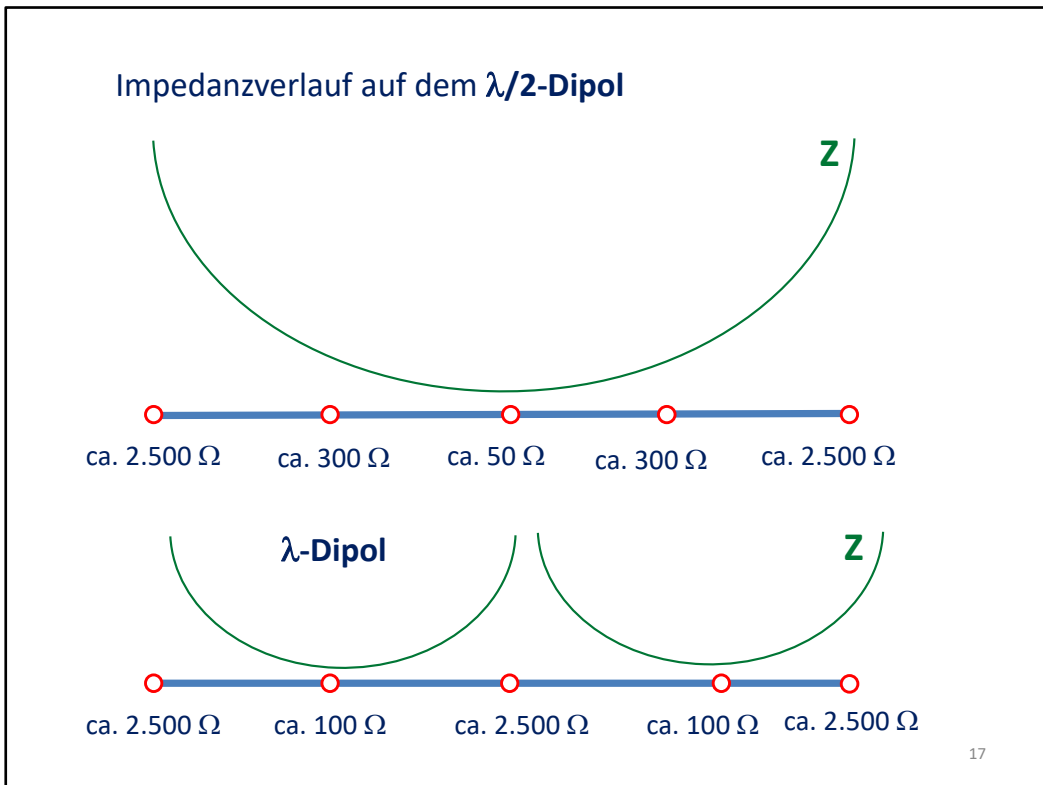


Benutzt man den mittengespeisten Dipol auf den höheren Bändern so wird die Speisepunktimpedanz hochohmig. Versetzt man die Einspeisestelle auf etwa 1/3 vom Ende, bekommt man einen höheren Speisepunktwiderstand, aber kann außer dem 15 m-Band auf den anderen Bänder arbeiten. Erst wenn man die Antenne am Ende einspeist, sind alle Bänder hochohmig. Mit einem (z.B. 1 : 49) Hf-Transformator kann man diese Impedanz auf 50 Ohm transformieren und so alle Bänder nutzen. Allerdings sind die Ausbreitungsdiagramme sehr unterschiedlich.

Windom-Antenne: ca. 100 bis 300 Ohm, je nach Band. Die Antenne ist nach dem **amerikanischen Funkamateurloren G. Windom – W8GZ** benannt. Sie ist in der Septemбераusgabe **1929** der QST vorgestellt worden. Windom führte einige Experimente durch und entdeckte, dass wenn der Speisepunkt des Dipols verschoben wird, die Amplitude der Ströme für die verschiedenen Bänder so war, dass die Möglichkeit einer Resonanz auf den geraden Oberwellen bestand. Die Firma Fritzell hat diese Antenne weiter entwickelt und vertreibt sie unter dem Namen FD-4.

OCF steht für Off-Center Fed.

Endfed-Trafo: z.B. 2 Windungen auf der 50 Ohm-Seite, 14 Windungen auf der hochohmigen Seite ergibt ein Übersetzungsverhältnis von 1:7, die Impedanz wird im Quadrat transformiert: aus 50 Ohm werden 2450 Ohm.



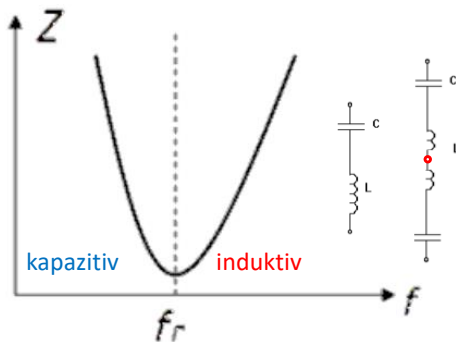
Zu den Enden des  $\lambda/2$ -Dipols wird die Impedanz hochohmiger. Bei einem  $\lambda$  langen Dipol gibt es in der Mitte ein Stromminimum. Dort entsteht entsprechend ein Spannungsmaximum, d.h. dieser Dipol wird an den Enden und in der Mitte hochohmig. Der niederohmige Speisepunkt hat etwa den doppelten Widerstand wie der einfache Dipol.

### Mittengespeister Dipol

Verhält sich wie ein Serienschwingkreis:

$f_{\text{Betrieb}} > f_r$  -> Antenne wird **induktiv**  
-> Antenne kürzen

$f_{\text{Betrieb}} < f_r$  -> Antenne wird **kapazitiv**  
-> Antenne verlängern



### Endgespeister Dipol

Verhält sich wie ein Parallelschwingkreis:

$f_{\text{Betrieb}} > f_r$  -> Antenne wird **kapazitiv**  
-> Antenne kürzen

$f_{\text{Betrieb}} < f_r$  -> Antenne wird **induktiv**  
-> Antenne verlängern

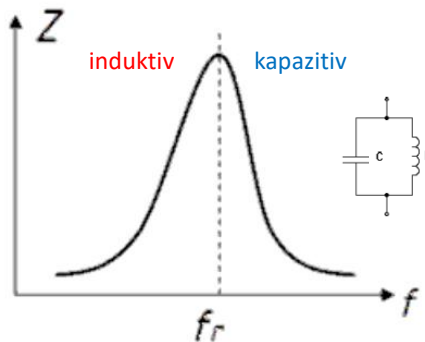


Bild-Quelle: <https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-te/e07/>

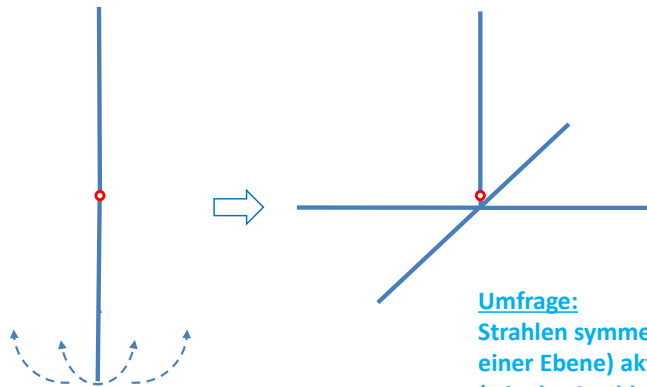
18

Wenn auf dem mittengespeisten Dipol die Resonanzfrequenz niedriger liegt als die Betriebsfrequenz wird die Impedanz induktiv.

Beim endgespeisten Dipol ist das genau umgekehrt. Ist hier die Resonanzfrequenz niedriger als die Betriebsfrequenz, wird die Impedanz kapazitiv.

## Monopolantenne

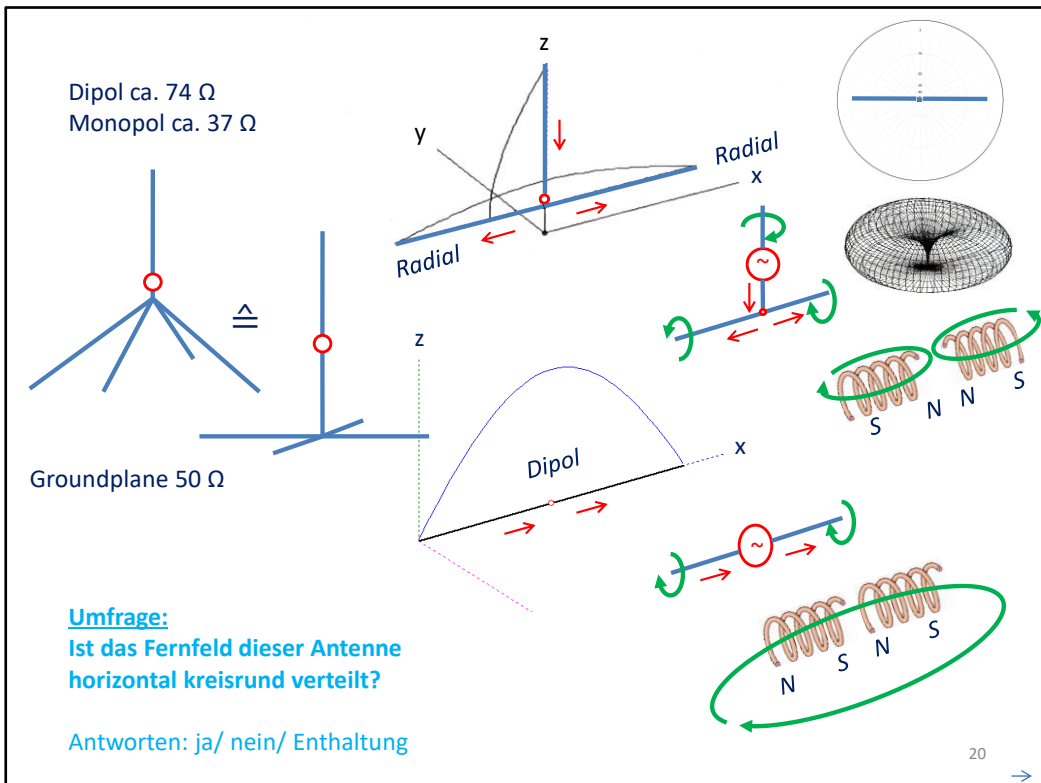
Prinzip: **Senkrecht gestellter Dipol** bei dem die untere Hälfte zu einem Radialsystem aufgefächert ist.



Umfrage:  
Strahlen symmetrische Radials (in einer Ebene) aktiv ins Fernfeld ab (wie der Strahler)?

Antworten: ja/ nein/ Enthaltung <sup>19</sup>

Dadurch, dass das **Radialsystem** symmetrisch aufgebaut ist, **strahlt es nicht!** Das von jedem Radial ausgehende Feld wird durch das Feld des jeweils symmetrisch angeordneten Radials nach außen kompensiert. Das Radialsystem wirkt nur als Gegengewicht. **Ein Erdnetz strahlt auch nicht!** Dazu später mehr.

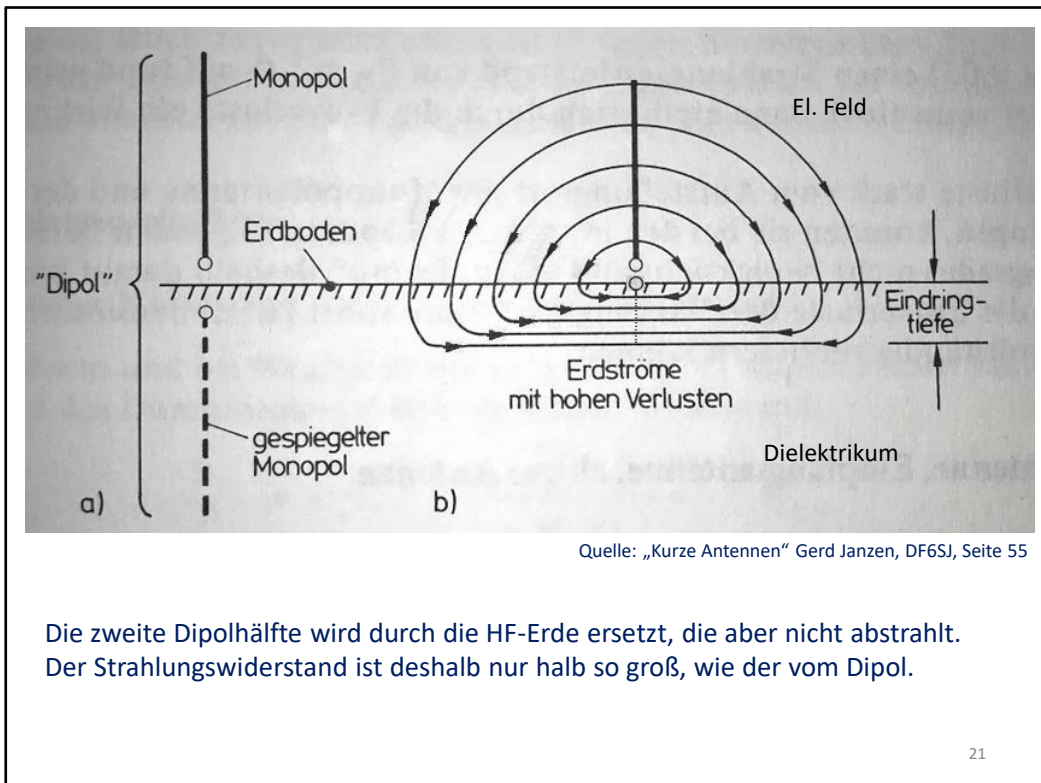


Bei einem Monopol strahlen die Radials nicht.

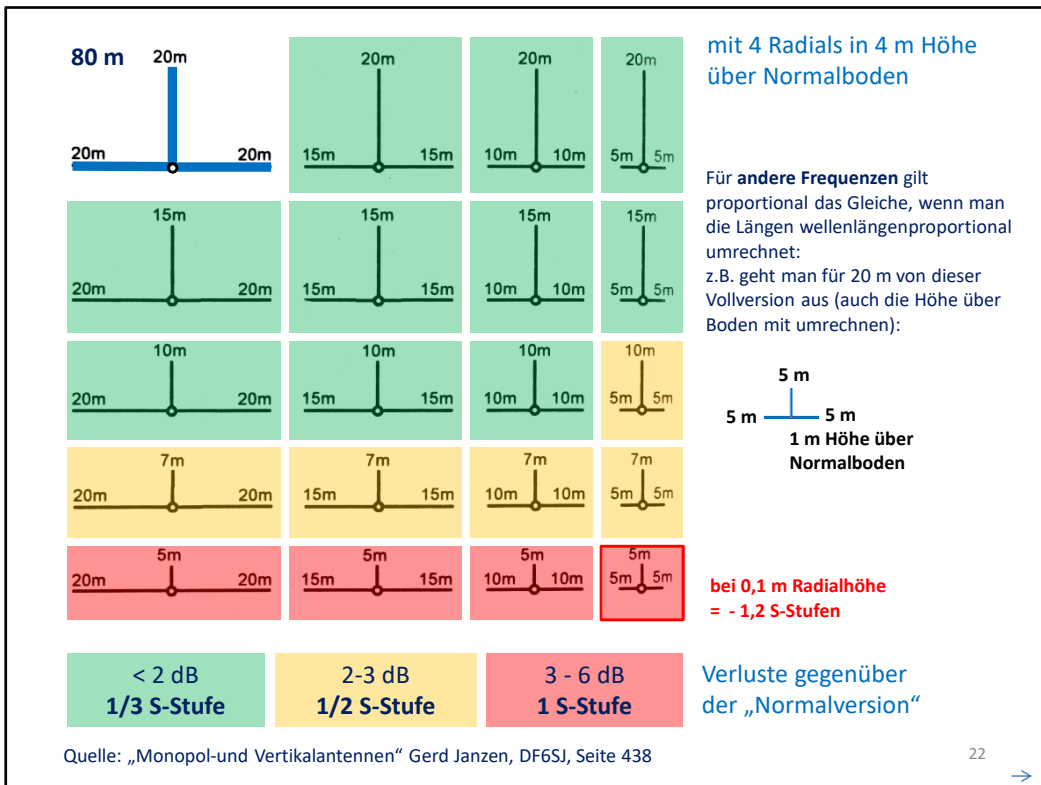
1. Hinweis: Aufgrund der gestreckten Ausdehnung müsste man erwarten, dass es eine Vorzugsrichtung quer zu den Radials gibt. Das Fernfelddiagramm zeigt aber eine eindeutige Rundcharakteristik.
2. Hinweis: Der Strahlungswiderstand der Monopolanterne ist nur halb so groß wie der des Dipols.

Der **Strahlerstrom teilt sich** auf beide Radials auf.

Interessant ist, dass es durch die zwei in nur einer Ebene angeordneten Radials **keine Richtwirkung** ergibt. Daran erkennt man auch, dass die **Radials** (wenn rechtwinklig zum Strahler) **selbst nicht strahlen**. Obwohl die Radials horizontal angebracht sind zeigt das Antennendiagramm nur eine vertikale Komponente. Die Radials fungieren nur als **Blindleistungsspeicher**. Sind die Radials, wie bei der Groundplane abgewinkelt, so ergibt sich ein zusätzlicher vertikaler Strahlungsanteil an Vertikalstrahlung. Ist der Strom auf den Radials nicht symmetrisch verteilt, bewirkt der Differenzstrom einen auf die resultierende Radialachse bezogenen Strahlungsanteil, der in das Fernfeld wirksam wird. Ist nur *ein* Radial vorhanden, dann wirkt die Antenne wie ein abgelenkter Dipol. Dann spricht man auch nicht mehr von einem Radial, sondern von der zweiten Strahlerhälfte.



Bei der vertikalen Antenne, die gegen Erde betrieben wird, entstehen Verluste durch den HF-Boden, die umso höher sind, desto größer die Eindringtiefe ist. Die Eindringtiefe nimmt mit steigender Frequenz ab.



20 m Monopol in 1,50 m Höhe:

mit 4 Radials:

Strahler 6,15 m  
 Radiallänge 2,62 m  
 50 Ohm

mit 2 Radials:

Strahler 6,14 m  
 Radiallänge 3,64 m  
 50 Ohm

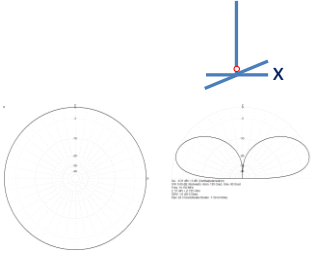
mit 1 „Radial“ (abgeknickter Dipol):

Strahler 6,01 m  
 Radiallänge 4,49 m  
 50 Ohm

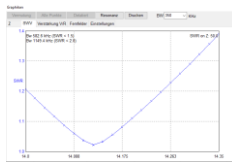
## Monopolantenne für 20 m in 1,50 m Höhe mit 1,6 mm Ø Draht:

### mit 4 Radials:

Strahler 6,15 m  
Radiallänge 2,62 m  
50 Ohm

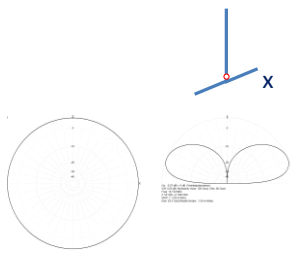


Ga: -0.31 dB = 0 dB (Vertikalarisation)  
VR: 0.00 dB Rückwärts: Azim: 120 Grad, Elev: 60 Grad  
Freq: 14.150 MHz  
Z: 51.445 + j1.725 Ohm  
SWV: 1.0 (50.0 Ohm)  
Elev: 22.3 Grad (Realer Boden : 1.50 m Höhe)

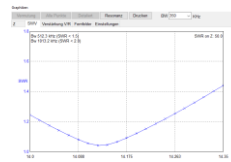


### mit 2 Radials:

Strahler 6,14 m  
Radiallänge 3,64 m  
50 Ohm

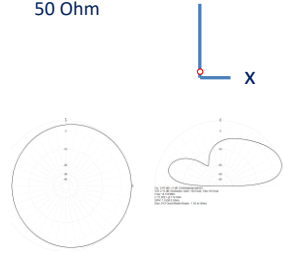


Ga: -0.27 dB = 0 dB (Vertikalarisation)  
VR: 0.00 dB Rückwärts: Azim: 120 Grad, Elev: 60 Grad  
Freq: 14.150 MHz  
Z: 52.348 + j1.599 Ohm  
SWV: 1.1 (50.0 Ohm)  
Elev: 22.5 Grad (Realer Boden : 1.50 m Höhe)

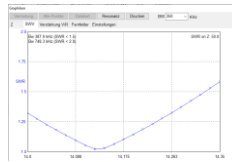


### mit 1 „Radial“

(abgeknickter Dipol):  
Strahler 6,01 m  
Radiallänge 4,49 m  
50 Ohm

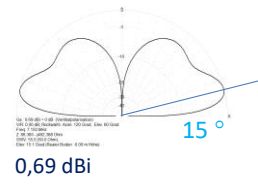
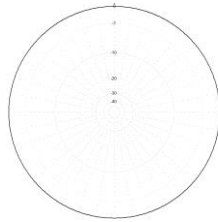
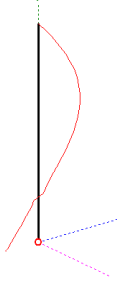
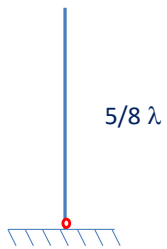
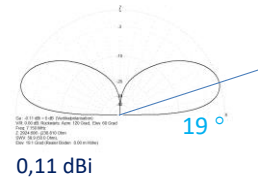
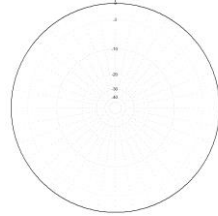
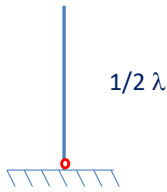
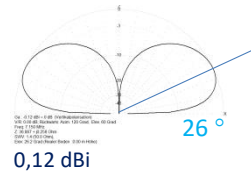
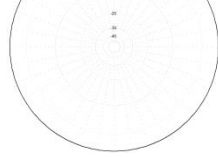
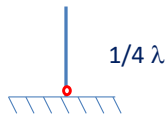


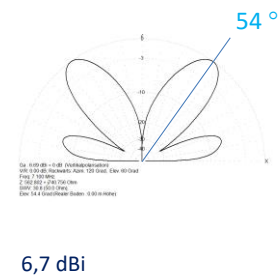
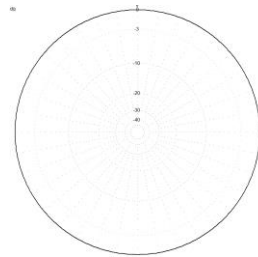
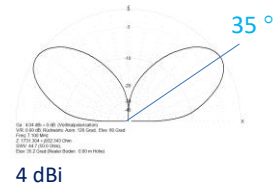
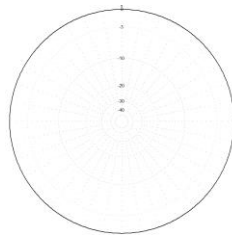
Ga: 0.97 dB = 0 dB (Vertikalarisation)  
VR: 2.13 dB Rückwärts: Azim: 120 Grad, Elev: 60 Grad  
Freq: 14.150 MHz  
Z: 51.202 + j2.114 Ohm  
SWV: 1.0 (50.0 Ohm)  
Elev: 24.2 Grad (Realer Boden : 1.50 m Höhe)





**Vergleich  $1/4 \lambda$  -  $1/2 \lambda$  -  $5/8 \lambda$  -  $1 \lambda$  -  $2 \lambda$ -Vertikal  
direkt über Normalboden**







## Vorteile vertikaler Monopolantennen/Rundstrahler

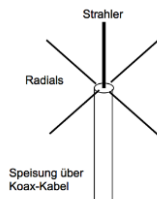
- **Flacher Abstrahlwinkel**, damit dx-fähig
- **Kaum Strahlung nach oben** (die sonst verloren ist)
- Wenig Bedarf an **Grundfläche**
- Bei Portabelbetrieb **schnell auf- und abgebaut**
- Für **Mobilbetrieb** gut geeignet

### Übrigens:

- Ein Monopol kann mit einem **Radialsystem** betrieben werden, einem **Erdsystem** oder einem anderen el. **Gegengewicht** (z. B. Auto)
- Je schlechter der HF-Boden, desto besser ist es, **kürzere Radials** zu wählen
- Bei einem Radialsystem sind **4 elevated Radials\***) gleichwertig zu 64 vergrabenen.

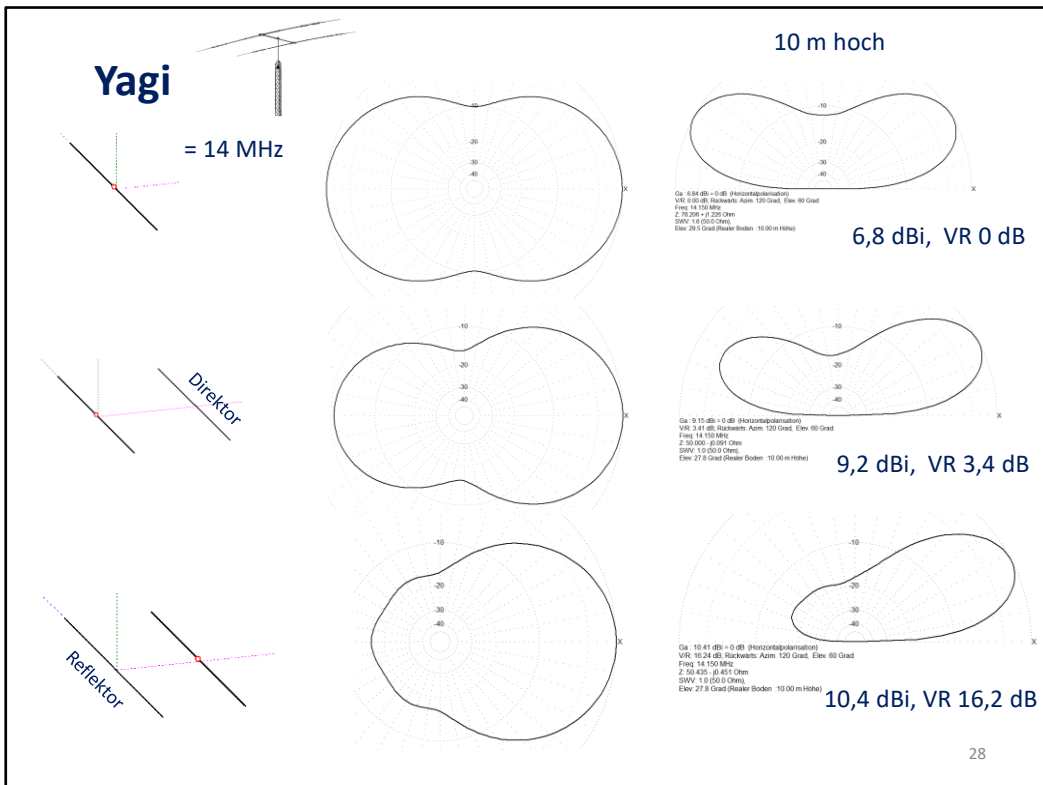
\*) für 80 m in 4 m Höhe,  
für 40 m in 2m Höhe, usw.

Bildquelle:  
<https://do7psi.de/vertical-vs-dipol-antenna/>

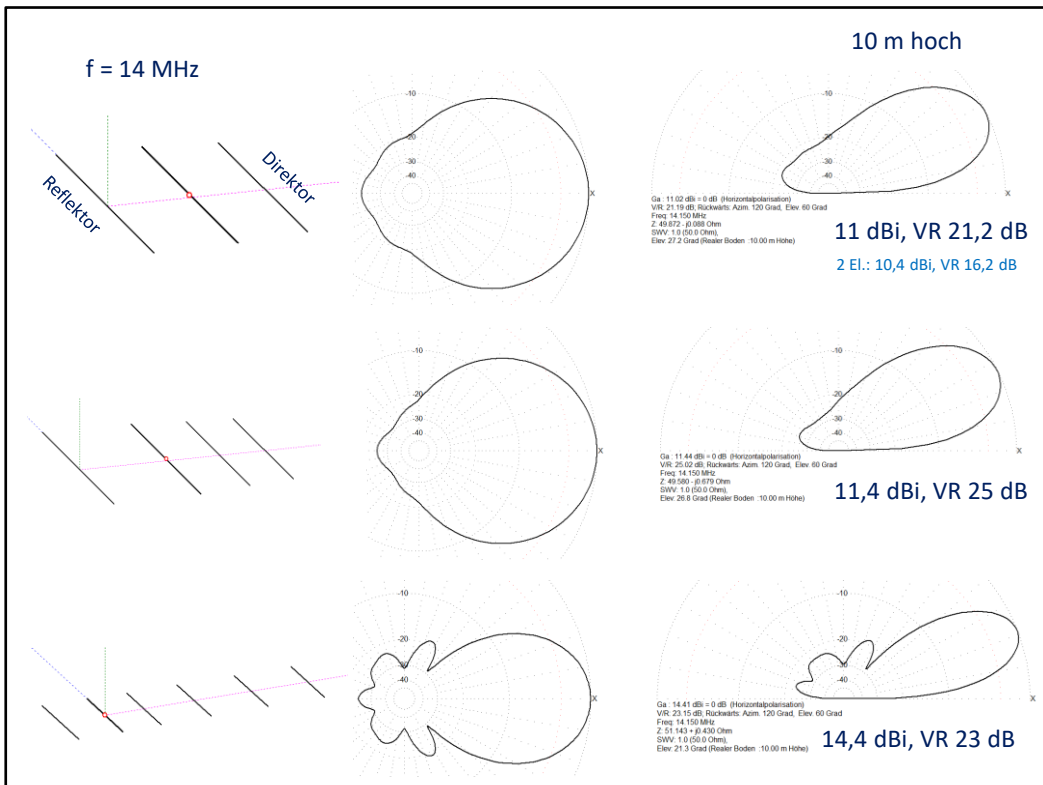


Bildquelle:  
[https://www.pinterest.de/pin/AaXYBFEzv98e6-19tHvj6yH2gF3cn3hcQCH4rD7VF\\_tlynt\\_VOzUnU/](https://www.pinterest.de/pin/AaXYBFEzv98e6-19tHvj6yH2gF3cn3hcQCH4rD7VF_tlynt_VOzUnU/)

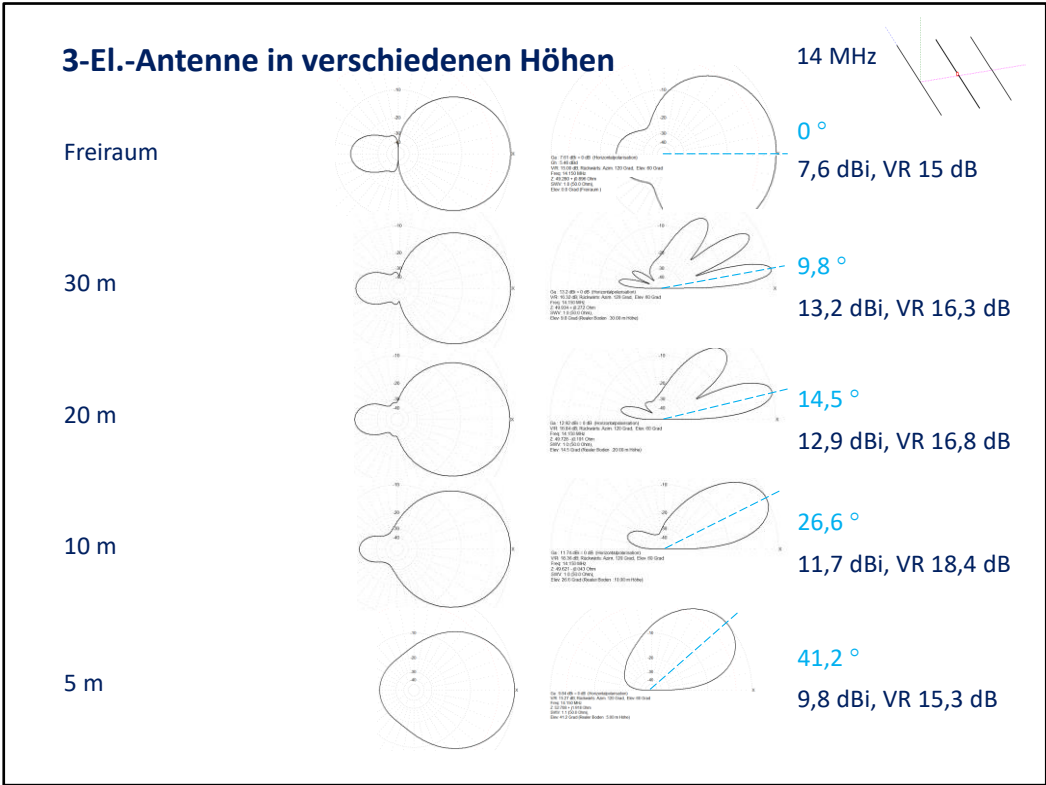
Bei 80 m in 4 m Höhe



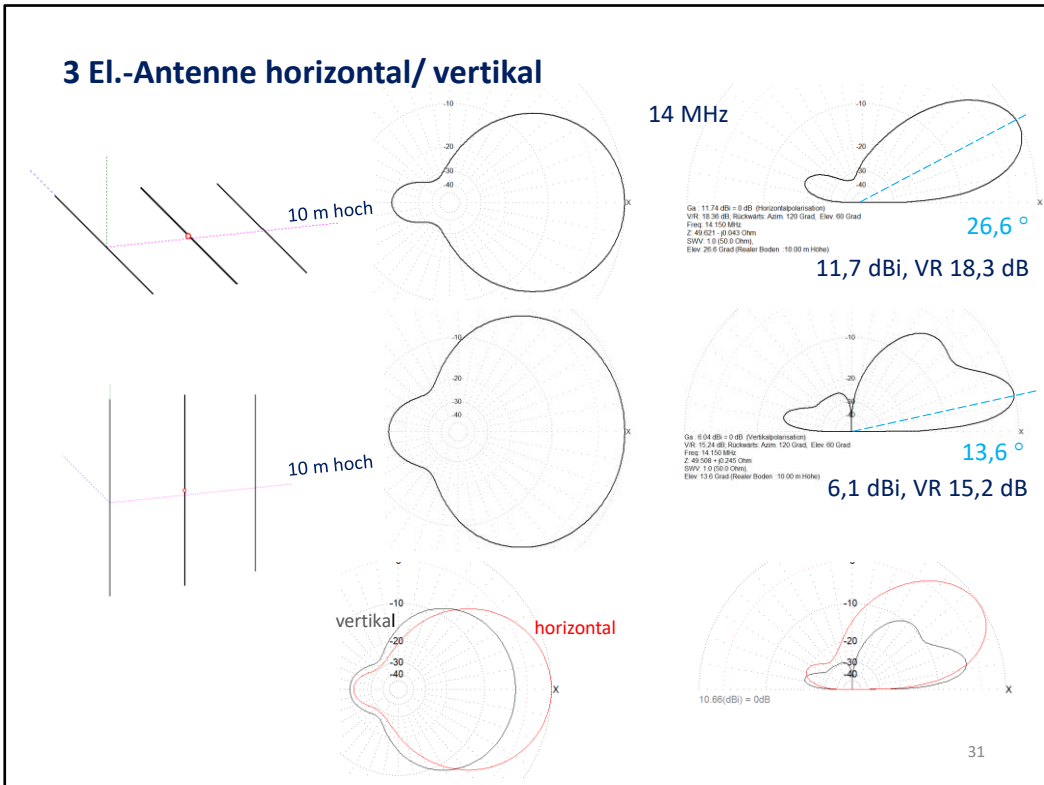
Die Herren Yagi und Uda (Japaner) erfanden 1926 diese Antennenform. Die zusätzlichen Elemente sind sog. parasitäre Elemente. Der Reflektor ist etwas länger als der Strahler und reflektiert so die Wellen. Der Direktor ist etwas kürzer als der Strahler und bündeln so die Wellen. Weitere Direktorelemente sind i.d.R. noch kürzer. Je mehr Direktorelemente, desto mehr bündelt die Antenne.



Mit zunehmender Elementanzahl bündelt die Antenne mehr. Auch das Vor-Rückverhältnis (VR) wird besser

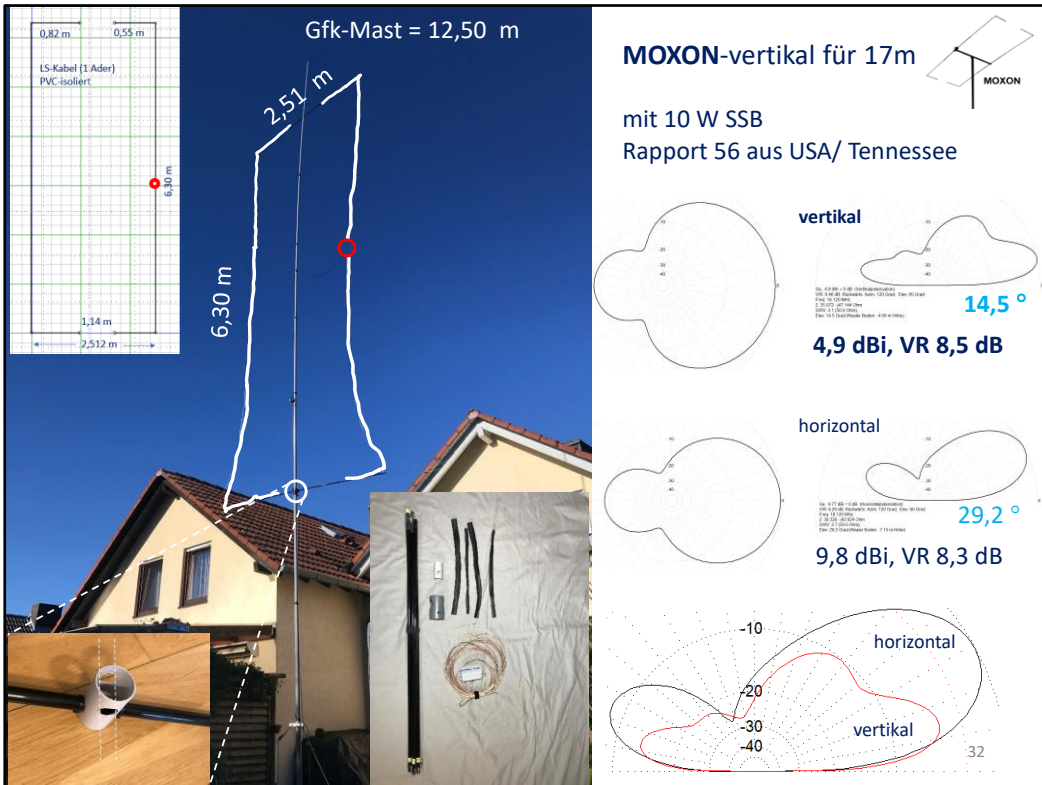


Je höher die Antenne betrieben wird, desto flacher ist der Abstrahlwinkel.

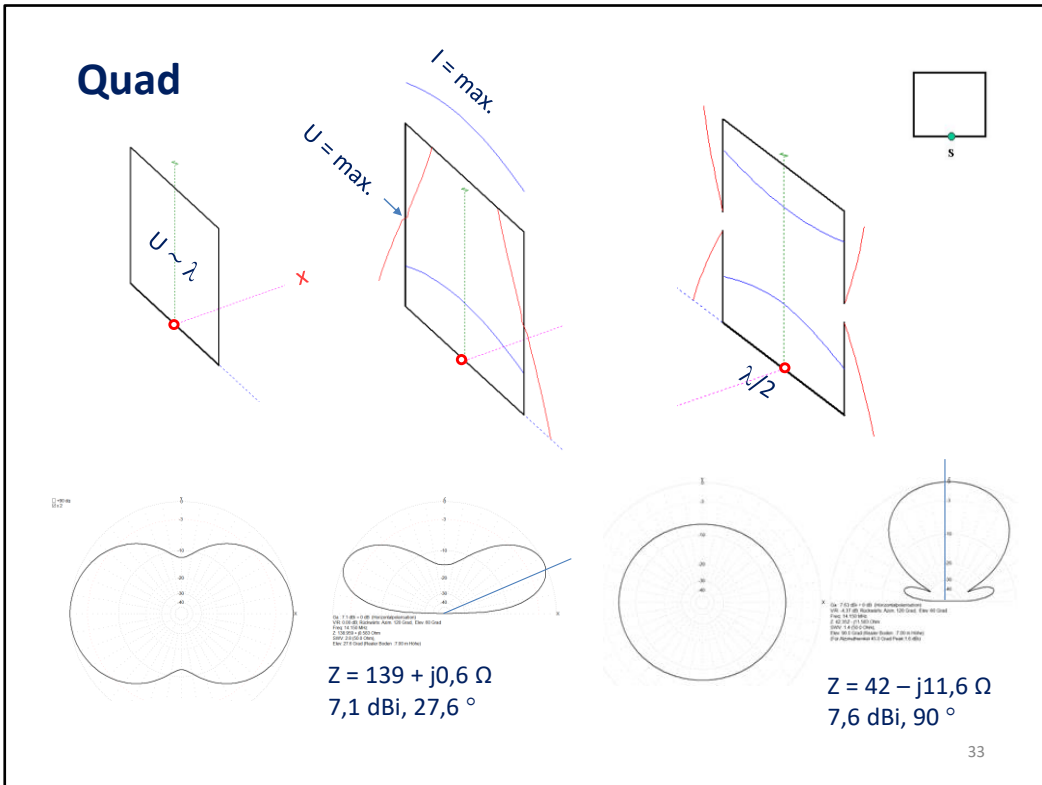


Dreht man die Antenne von horizontal auf vertikal, wird der Abstrahlwinkel etwas flacher. Dafür ist der steilere Anteil deutlich geringer.

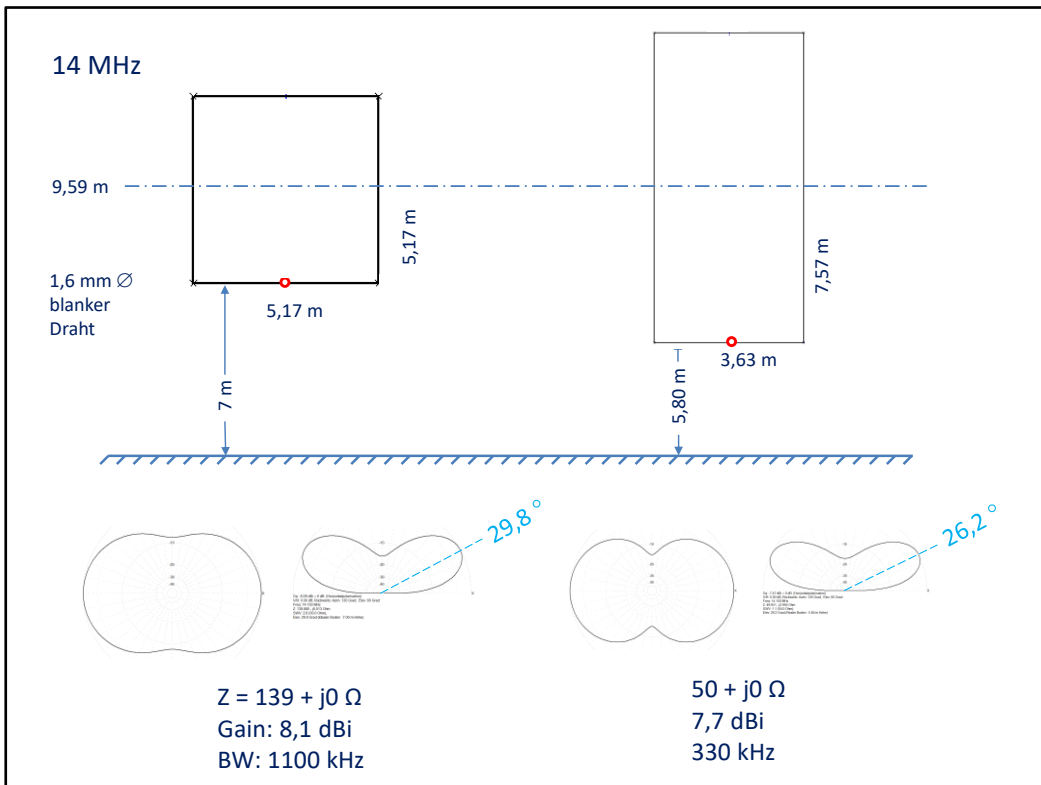




Diese Antenne habe ich mir gebaut.

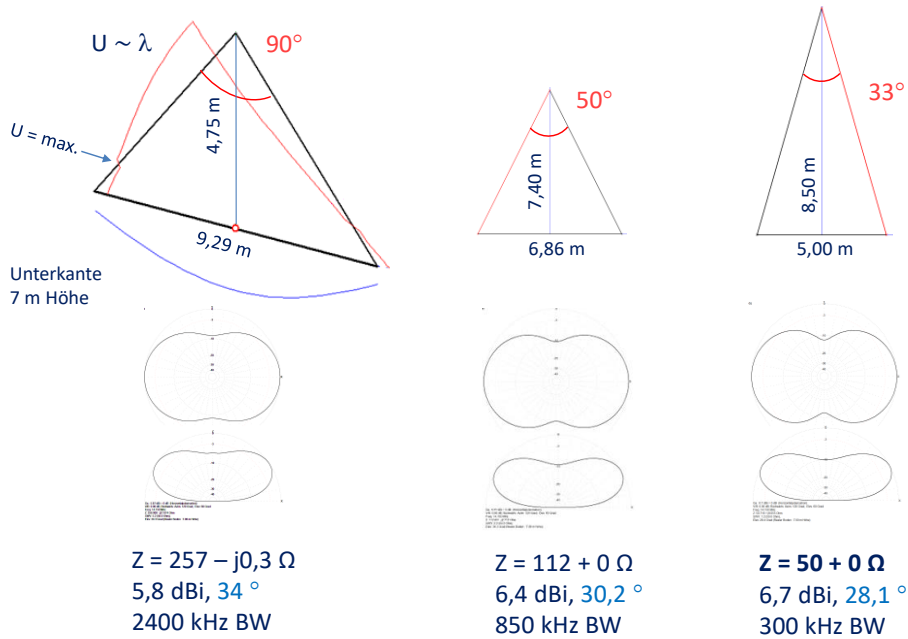


Die Quadantenne setzt sich eigentlich aus zwei parallelgeschalteten Dipolen zusammen. Deshalb hat sie auch etwa den doppelten Speisepunktwiderstand. Im rechten Teil wird demonstriert, dass zwei nicht verbundene Dipole übereinander wie eine 2-El.-Yagi-antenne wirken und deshalb steil nach oben strahlt. Der niedrigere Speisepunktwiderstand von ca. 50 Ohm bleibt dadurch erhalten.

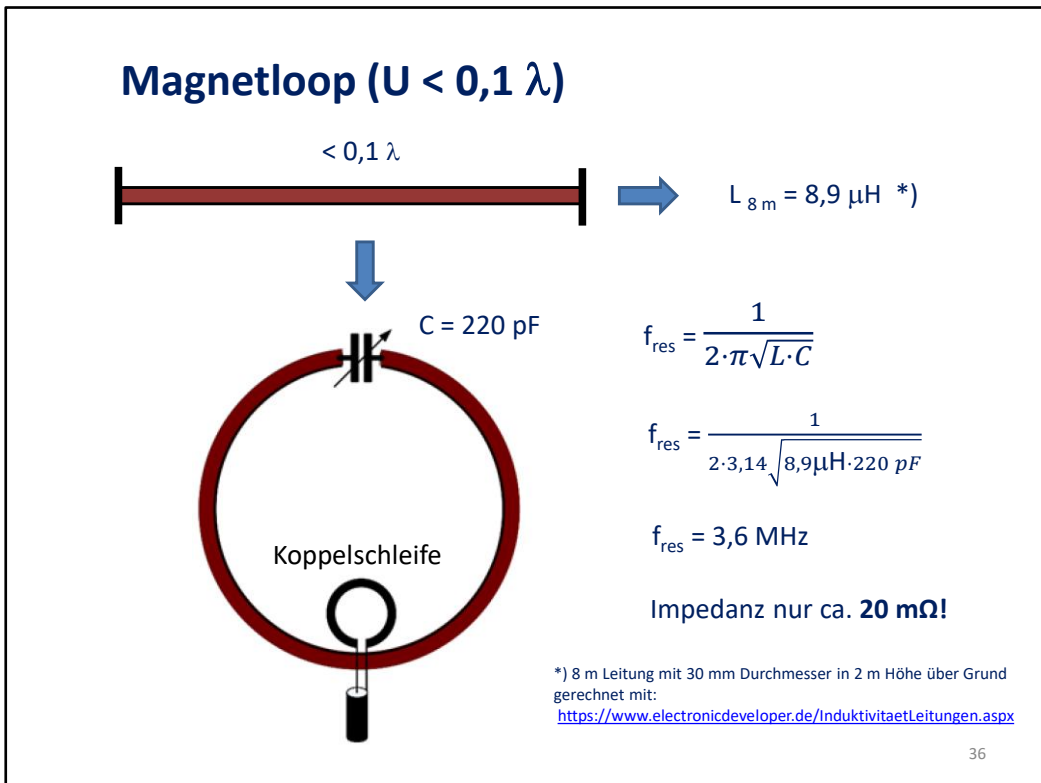


Wählt man bei ähnlichem Umfang ein schmaleres Verhältnis der Seitenlängen, findet man eine Abmessung mit genau 50 Ohm. Das erstpart weitere Anpassmittel (zusätzliche Verluste!).

## Deltaloop (14 MHz)



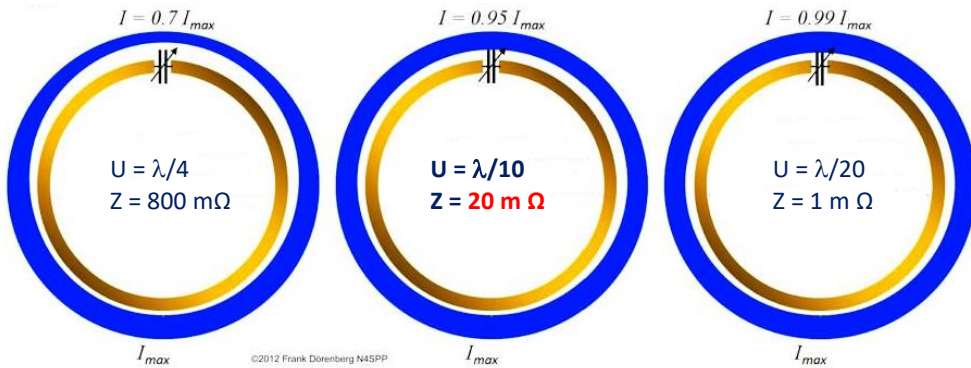
Eine Deltaloop-Antenne funktioniert ähnlich wie die Quadantenne. Der Umfang beträgt hier auch ca. eine Wellenlänge. Damit bilden sich zwei Strombäuche mit gleicher Polarität aus, die sich im Fernfeld unterstützen. Das ergibt einen Bündelungseffekt. Wählt man die Basis des Dreiecks schmaler zur Höhe, dann sinkt der Speisepunktwiderstand. Bei den Abmessungen rechts außen kann man 50 Ohm Impedanz erhalten. Allerdings wird mit schmaler werdender Antenne (wie auch bei der Quad) die Bandbreite geringer.



Die Magnetloop heißt so, weil ihre Abstrahlung hauptsächlich über die magnetische Komponente erfolgt. Das elektrische findet nur zwischen den Kondensatorplatten statt und ist nur sehr klein ausgeprägt.

Eine klassische Magnetloop entsteht, wenn man einen Antennendraht, der ca.  $0,1 \lambda$  lang ist zu einem Ring od. Quadrat verbindet und mit einer Kapazität als Schwingkreis in Resonanz bringt. Je kleiner die Loop im Verhältnis zur Wellenlänge, desto gleichmäßiger, aber auch umso größer ist der Strom auf der Loop und im Kondensator als elektrischer Fluss. Die Impedanz der Loop ist sehr klein, deshalb muss mit einer Koppelschleife die Impedanz auf 50 Ohm transformiert werden. Typisch ist der Durchmesser der Koppelschleife  $1/5$  des Durchmessers der großen Loop.

## Stromverteilung auf der Magnetloop



Bei **20 m Ω** Impedanz und 100 Watt Leistung beträgt der Strom  $I_{max}$  in der Loop:

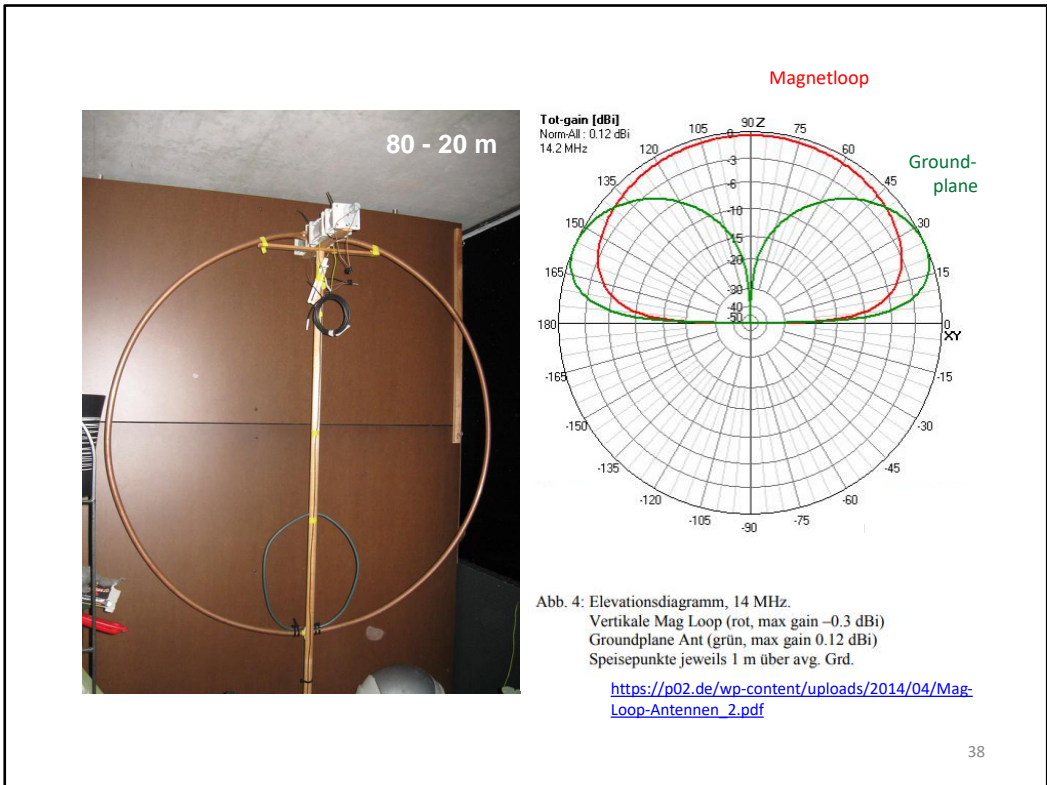
$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{100 \text{ VA}}{0,002 \text{ V/A}}} = 224 \text{ A !}$$

Das müssen die Loop und der Kondensator aushalten!

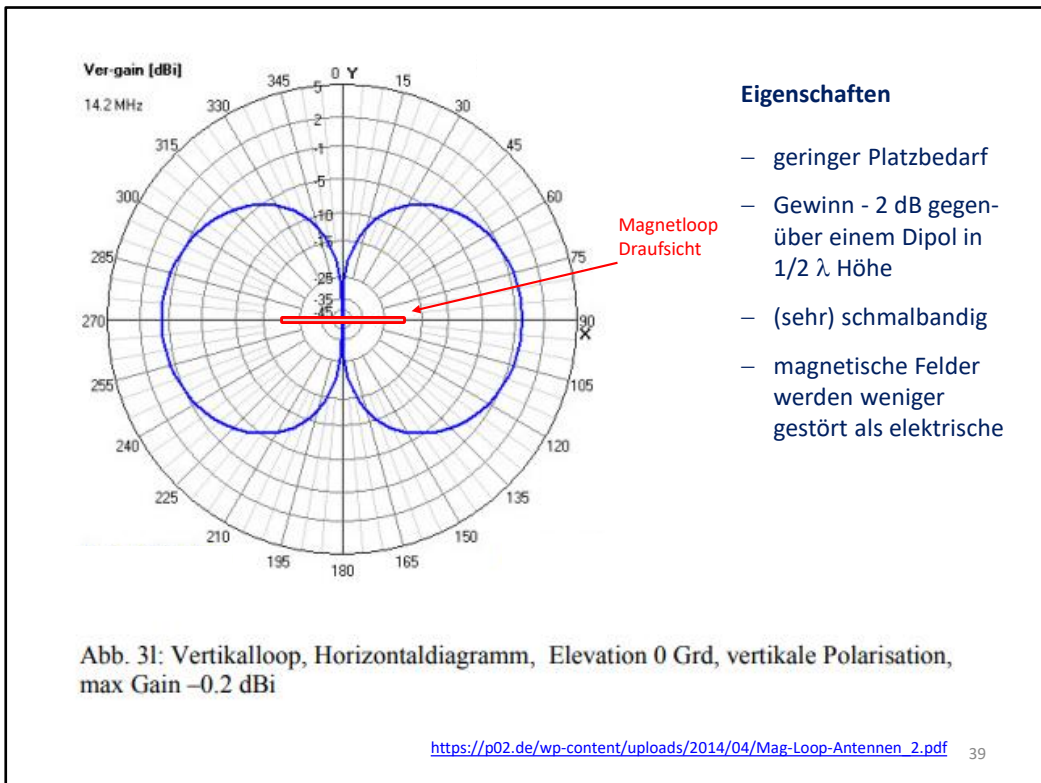
Quelle:

[https://www.nonstopssysteme.com/radio/frank\\_radio\\_antenna\\_magloop.htm#capa](https://www.nonstopssysteme.com/radio/frank_radio_antenna_magloop.htm#capa)

Je kleiner die Loop im Verhältnis zur Wellenlänge, desto größer wird der Strom.



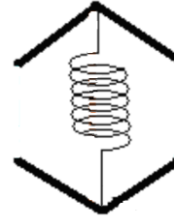
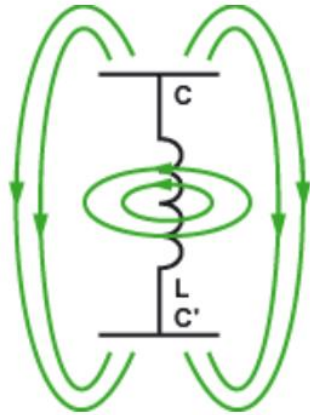
Eine Magnetloop für 40 m hätte < 4 m Umfang ->  $D < 1,30 \text{ m}$



Eine vertikal stehende Magnetloopantenne hat eine vertikale Polarisation und zeigt ein Strahlungsdiagramm, das dem eines horizontalen Dipols ähnelt, der quer zur Magnetloop aufgespannt ist.



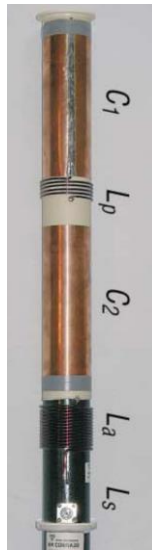
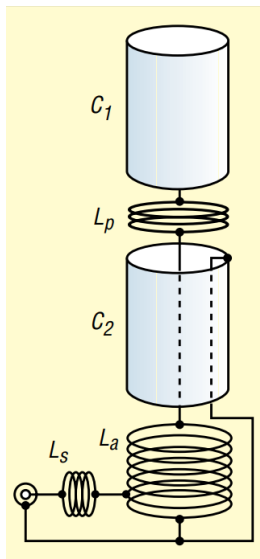
## Kapazitive Antenne (EH)



Quelle: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0810171.htm>

40

Die kapazitive Antenne entspricht dem Gegenteil der Magnetischen Loop-Antenne. Hier ist der stromführende Teil nur sehr klein ausgebildet. Dafür wird die Energie hauptsächlich im Nahfeld als elektrisches Feld ausgebildet (beim Dipol sind das elektrische und magnetische Feld etwa gleich stark an der Bildung des Fernfeldes beteiligt). Im Fernfeld bildet sich aber daraus auch wieder eine elektromagnetische Welle.



EH-Antenne  
für 20 m (ca. 60 cm hoch)

[http://www.amateurfunk.at/download/Testbericht\\_aus\\_Funkamateu\\_r\\_11\\_06.pdf](http://www.amateurfunk.at/download/Testbericht_aus_Funkamateu_r_11_06.pdf)

Die Induktivität  $L_a$  dient der phasenverschobenen Speisung des Zylinders  $C_1$  zum Herstellen der Resonanzbedingung.  $L_s$  dient als Speiseinduktivität der Anpassung auf 50 Ohm. Die Durchleitung des Drahtes durch den Zylinder  $C_2$  erzeugt eine Phasenverschiebung, die mit  $L_p$  kompensiert wird.

### **Eigenschaften**

- Baugrößen typisch 2 – 3 % der Wellenlänge (z.B. für 80 m -> 2,50 m hoch )
- geringer Platzbedarf
- einfache Materialien
- Gewinn - 6 bis -10 dB (- 1 bis - 2 S-Stufen), bez. auf einen Dipol in  $1/2 \lambda$  Höhe
- Bandbreite entspricht etwa der eines normalen Dipols
- 3 dB weniger Rauschen als ein Dipol (lt. Rothammel)
- EH-Antennen bauen das Fernfeld direkt an der Antenne auf

42

3 % für 80 m wären 2,40 m

Sonstige Antennenformen:

Parabolspiegel, Hornantennen, Helixantennen, Gruppenantennen, Schlitzantennen,

... und es gibt noch weitere Antennenformen:

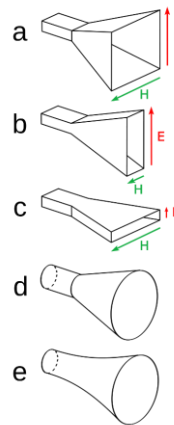


Helixantennen:

Durchmesser =  $\lambda/\pi$

für höhere Bänder

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wendelantenne>



Hornstrahler:

für Mikrowellen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Hornstrahler>

43

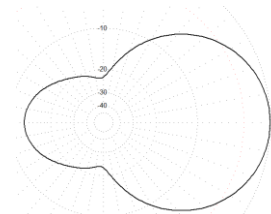
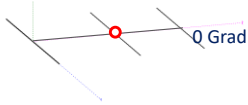
3 % für 80 m wären 2,40 m

Sonstige Antennenformen:

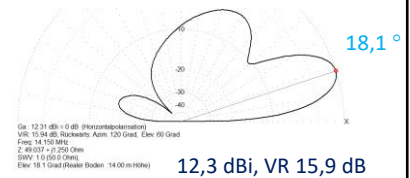
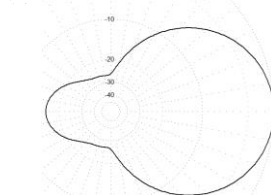
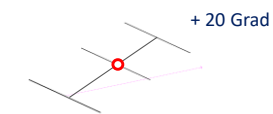
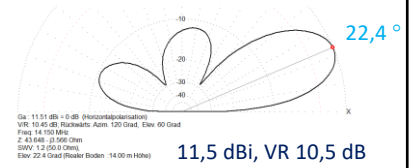
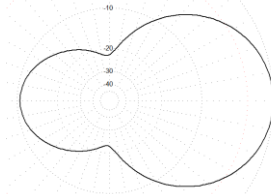
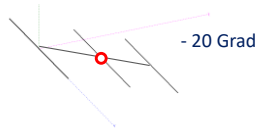
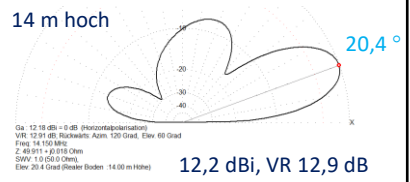
Parabolspiegel, Hornantennen, Helixantennen, Gruppenantennen, Schlitzantennen,

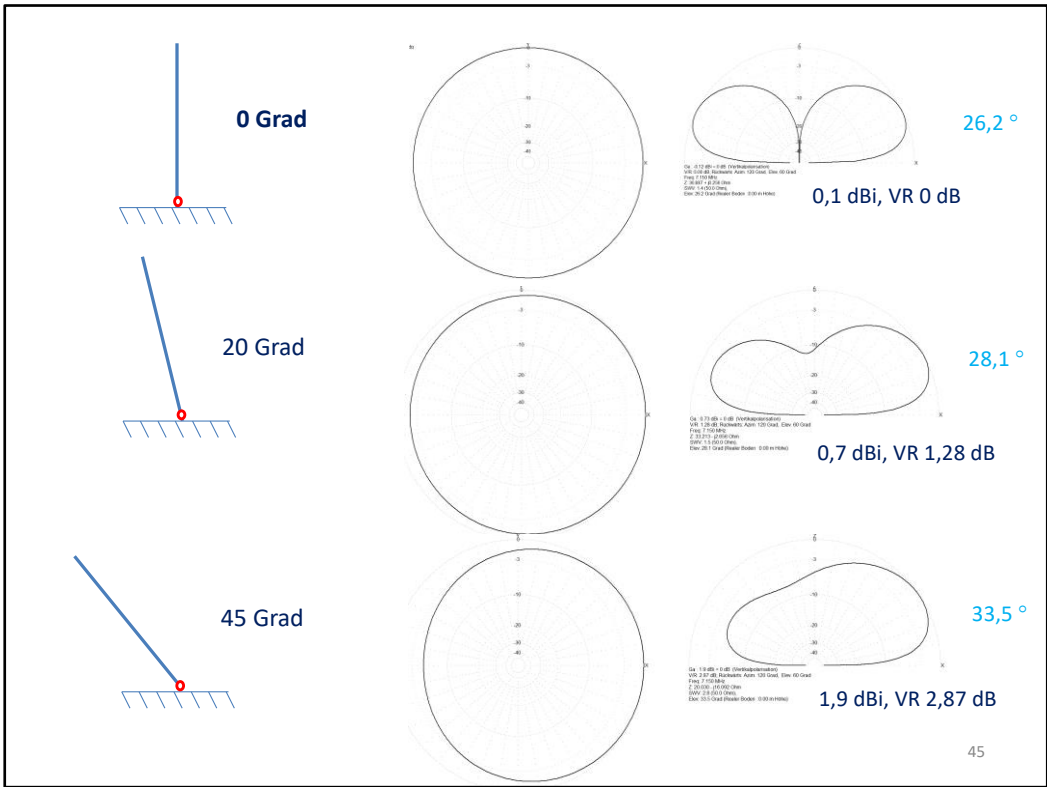
# Was passiert, wenn man eine Yagi-Antenne mit 20 Grad Erhebungswinkel um 20 Grad nach unten oder oben neigt?

14 MHz



14 m hoch







## Praktische Hinweise

Ein  $\lambda/4$ -Strahler ist nicht in sich resonant -> erst mit einem zweiten oder einem Radial (-System), einem Gegengewicht (z.B. Auto) oder der Erde/ Erdnetz

Strahler **dünn/ schlank**

- > um die Resonanzfrequenz herum **große Blindanteile**
- > **geringe Bandbreite**

Strahler **dick/ gedungen**

- > um die Resonanzstelle herum **kleine Blindanteile**
- > **größere Bandbreite**
- > **weniger Verluste**, weil Induktivität zur Kompensation kleiner wird

Der **Wirkwiderstand** ist relativ **unabhängig** vom Schlankheitsgrad

Der **Durchmesser der Radialdrähte** spielt kaum eine Rolle (nur unter 1 mm Drahtstärke kommen die ohmschen Verluste in den Radialdrähten ins Spiel)

46

Dipol 145 MHz 1 mm Draht 17 MHz Bandbreite  
10 mm Rohr 24 MHz Bandbreite



Reduziert man  $\lambda/4$ -Strahlerlänge auf die Hälfte -> ergibt das **keine signifikante Abnahme des Gewinns**, aber der Speisepunktwiderstand fällt von ca.  $35 \Omega$  auf ca.  $8 \Omega$  (auf 80 m).

Zwischen **Strahlerlänge 1,65 m** und **3 m** (bei 80 m) liegen 15 dB Unterschied Gewinn = **2,5 S-Stufen** oder ...

Wenn bei **3 m** Antennenlänge **100 Watt** (auf 80 m) reichen, sind bei **1,65 m** Länge **3.200 Watt** Leistung notwendig, um das gleiche Signal zu produzieren.

Der **Erhebungswinkel** ist nur wenig von der Strahlerlänge abhängig



47

15 dB -> Faktor 32





Die **Fußpunktkompensation** der Blindanteile bei einer zu kurzen Antenne ist **optimal in 1/3 der Antennenhöhe**.

**Aber nur bei sehr kurzen Antennen** lohnt sich die Anbringung der Verlängerungsspule auf 1/3 der Antennenhöhe, weil der Wirkungsgrad durch die Lage der Spule hier am meisten beeinflusst wird.

Beispiel: Bei einem **0,025  $\lambda$**  langen Strahler (entspricht 2 m Länge für 3,6 MHz) mit Fußpunktspule beträgt der **Wirkungsgrad 3 %**. Wird die Spule auf 1/3 der Strahlerhöhe angebracht, so steigt der **Wirkungsgrad auf 9 %**.

+ 0,8 S-Stufen!

Bezüglich der Verluste ist **> 0,1  $\lambda$  Strahlerlänge** (8 m bei 3,6 MHz) kein signifikanter Unterschied mehr zwischen Lage der Spule am Fußpunkt oder auf 1/3-Antennenhöhe.

**Ab 0,2  $\lambda$  Strahlerlänge** (16 m bei 3,6 MHz) ist praktisch **kein Unterschied** mehr im Wirkungsgrad zur vollen  $\lambda/4$ -Strahlerlänge zu erkennen.

48

Die **2 m lange 80 m-Mobilantenne** am Auto wird um **Faktor 3** besser wenn man die Verlängerungsspule auf ein Drittel Höhe setzt. **Faktor 4 wäre eine S-Stufe**.

## Hindernisse (Bäume, Häuser, Berge, usw.)



- Natürliche oder künstliche **Hindernisse** (Bäume, Berge, Häuser) führen zu einer Veränderung der Antennenabstrahlung im Freiraum
- Die Beeinträchtigung durch **Bäume** hängt vom Typ und der Jahreszeit ab
- Eine Vertikalantenne soll lt. K9LA mindestens **0,023  $\lambda$  Abstand zum Baumstamm** haben (80 m -> 1,90 m)
- Die zusätzlichen Verluste durch **Belaubung** bei im Wald aufgespannten Antennen sind höher, je niedriger die Frequenz und der Abstrahlwinkel sind (ein Abstrahlwinkel von 20° führt auf 160 m zu **9 dB** Verlust, auf 80 m zu **6 dB**)
- Antennenstandorte an **abfallenden Geländen** können an der schiefen Ebene zur Stärkung der Abstrahlcharakteristik führen

Quelle: DL9BCP, OV I18, aus Vortrag Theoretische Betrachtung von Antennen

Wenn **100 Watt** ausreichen, um ein Signal von **S9** zu erzeugen,  
dann reichen **25 W** für **S8**

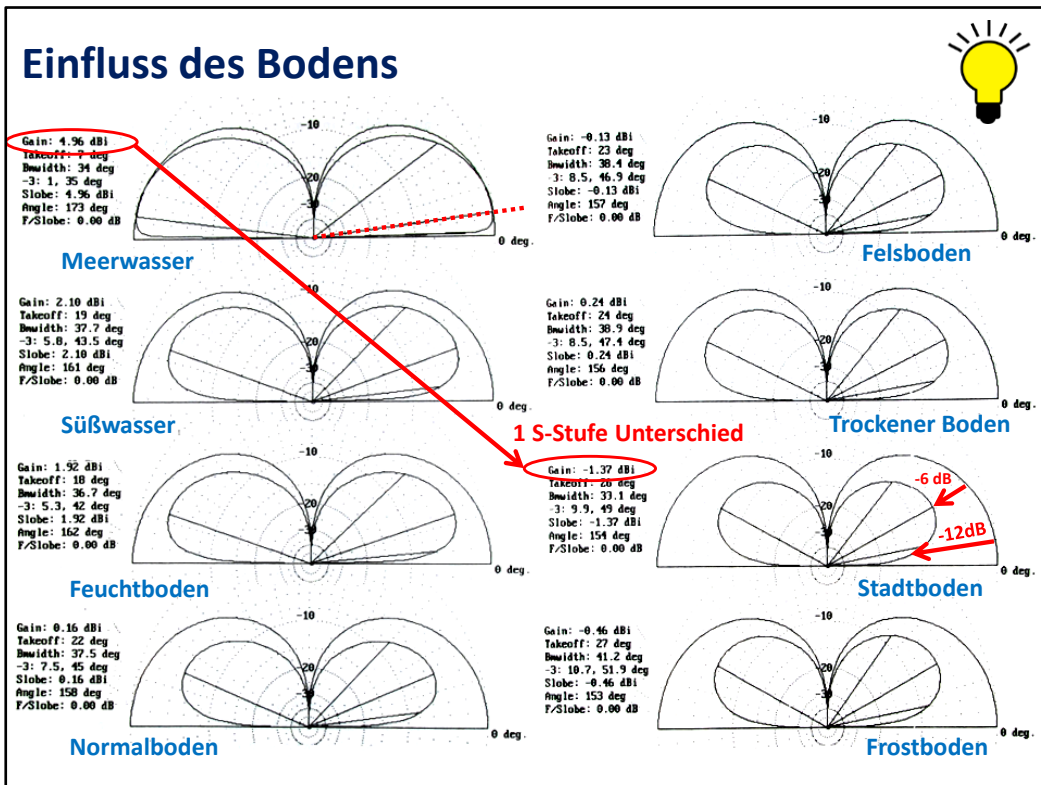
**6,25 W**    **S7**

**1,56 W**    **S6**

**0,4 W**    **S5**

**0,1 W**    **S4**





Die **eine Stufe** bezieht sich nur auf den **absoluten Gewinn**. Betrachtet man die Verluste bei dem **niedrigen Abstrahlwinkel** geht der Verlust natürlich auf **viele S-Stufen** hoch.



Alles was sich in **10 - 50  $\lambda$  Abstand der Antenne** (auch darunter) befindet, beeinflusst!

Bei **80 m** (3,65 MHz) -> Einfluss im Umkreis von **800 - 4.000 m**

Bei **2 m** (145 MHz) -> im Umkreis von **20 - 100 m**

**Eindringtiefe** der elektromagnetischen Wellen in den Boden (in m):

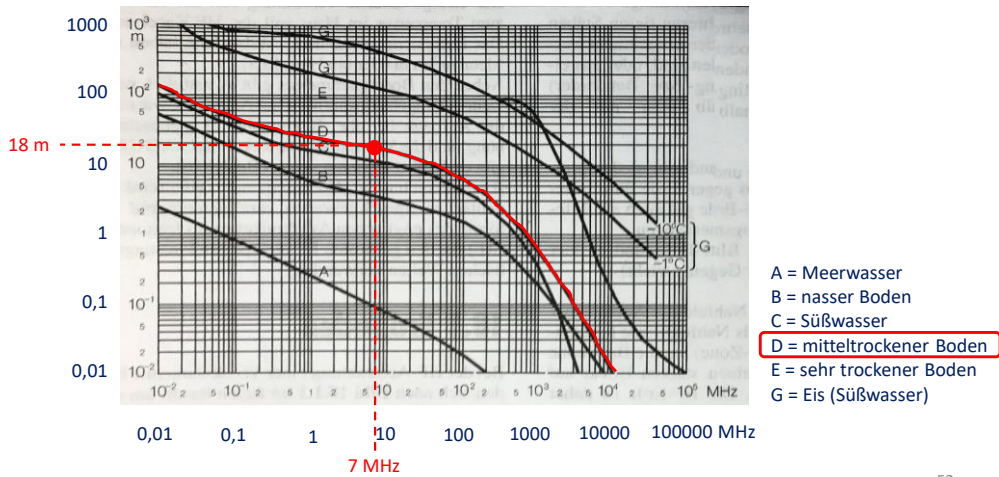


Bild: Rothammel, 13. Auflage, S. 578



## Wieviel S-Stufen kostet mir ein SWR von 2?



$P_v = 100$  Watt

$P_r = 11$  Watt (ergibt ein SWR von 2)

$P_{\text{abstrahl}} = 89$  Watt



Kontrolle:

$$\text{SWR} = \frac{\sqrt{P_v} + \sqrt{P_r}}{\sqrt{P_v} - \sqrt{P_r}} = \frac{\sqrt{100} + \sqrt{11}}{\sqrt{100} - \sqrt{11}} = \frac{10 + 3,32}{10 - 3,32} = \frac{13,32}{6,68} = 2,00$$

Wieviel S-Stufen entspricht das?

1 S-Stufe = 6 dB -> wieviel dB Veränderung entsprechen SWR 1 auf 2?

Verstärkung in dB =  $10 \cdot \log_{10}(P_2/P_1) = 10 \cdot \log_{10}(89/100) = 10 \cdot \log_{10}(0,89) = -0,5$  dB

In S-Stufen =  $-0,5$  dB / 6 dB = **-0,08 S-Stufen** (-> praktisch nicht wahrnehmbar!)

**Vergessen wir die Jagd nach einem SWR von 1 !**

53

SWR 1,5 -> - 0,2 dB -> 0,03 S-Stufen

## Fazit

- eine gute Antenne ist der beste **HF-Verstärker** (sende- **und** empfangsseitig)
- jede Antenne ist nur so gut wie ihr **Standort**
- eine **schlechte Antenne** ist besser als gar keine Antenne
- **besser gestreckte Antennendrähte** (oder -Elemente), als geknickte oder gefaltete
- **möglichst hoch!** (desto flacher die Abstrahlung)
- Dort, wo auf der Antenne viel **Strom** fließt, „**strahlt**“ sie am meisten ab
- freie Antennenenden = **Spannungsbauch**
- Antennendraht mit **1 – 1,5 mm<sup>2</sup>** reicht völlig aus
- Impedanzmessungen immer **direkt an der Antenne** vornehmen
- **Leitungen** transformieren!

54

Zum Beispiel: Mein 80 m-Dipol ist 41,8 m lang und hängt in 7 m Höhe. Den hatte ich über ein 12 m langes Koaxkabel angeschlossen. Der Analyzer zeigt mir 92 Ohm mit - 11 Ohm Blindanteil an. Also verlängere ich die Antenne um einen halben Meter und messe dann 61 – 49 Ohm. Völlig widersinnig! An der Antenne direkt gemessen hatte die im Ausgangszustand 23 + 93 Ohm. Ich hätte sie verkürzen müssen! Die resonante Länge wäre 39,7 m gewesen. Die Impedanz dabei: 20 +/- 0 Ohm. Aber trotzdem hätten die 12 m Antennenleitung mir daraus immer noch am Transceiver eine Impedanz von 68 + 18 jX geliefert, obwohl der Blindanteil Null war. Aber das SWR war am Transceiver 1,53. Das war in Ordnung. Abhilfe hätte hier ein 1:2 Balun direkt an der Antenne gebracht.

750 Watt an 50 Ohm sind 4 A. Elektriker: max. 6 A/mm<sup>2</sup>.  
0,0171 Ohm mm<sup>2</sup>/m x 40 m = 0,7 Ohm.

Vielen Dank  
für Eure Aufmerksamkeit!



DK2FQ, Wolfgang Beer, K56  
[dk2fq@dar.c.de](mailto:dk2fq@dar.c.de)

Homepage  
<http://dk2fq.jimdo.free.com/vorträge/>

## Literaturhinweise

**Kurze Antennen**, Gerd Janzen, Franckh-Verlag, 1986, ISBN 3-440-05469-1  
(nur noch antiquarisch erhältlich)

**Monopol- und Vertikalantennen**, Gerd Janzen, Selbstverlag, 1999, ISBN 3-88006-178-5

**Radials vergraben oder auf den Boden legen?**

[http://www.darc.de/fileadmin/migrated/content\\_uploads/140509 -  
\\_Vortrag\\_Radialnetze\\_OV\\_l18.pdf](http://www.darc.de/fileadmin/migrated/content_uploads/140509_-_Vortrag_Radialnetze_OV_l18.pdf)

**Antennenbuch, Rothammel, Alois Krischke** DARC-Verlag, 2013, ISBN 978-3-88692-065-5,  
13. Auflage

**Wie funktioniert eine Antenne?** Youtube (3.3.2023):

<https://www.youtube.com/watch?v=Uj8oN3WETKo&t=1s>

**Antennensimulationsprogramme**

EZNEC: <https://www.eznec.com/>

4NEC2: <https://qsl.net/4nec2/4nec2.zip>

MMANA: <http://gal-ana.de/basicmm/download/download.php?mm=3>

**Videos zu Elektrodynamik** von Réne Matzdorf:

[https://www.youtube.com/playlist?list=PLYqbWh4D5oD0\\_04B0HvoWN1ihBQi1q-KP](https://www.youtube.com/playlist?list=PLYqbWh4D5oD0_04B0HvoWN1ihBQi1q-KP)