

Langdraht Antennen für den KW-Bereich

**Mitteilungen aus dem Institut
für Umwelttechnik
Nonnweiler-Saar
Dr. Schau
DL3LH**

Dieser Beitrag ist meinem
verehrten Lehrer
Fritz Ziesing
DJ2TU†
gewidmet.

Erfolgreich hat er uns
Newcomern damals in der 50er`n
beim DOK M17
Heide/ Holstein
Telegrafie und die Ethik eines
Funkamateurs vermittelt.

Ihm gilt einen besonderen Dank,
weil durch ihn der Langdraht für
uns alle eine besondere Bedeutung
bekam. Der LD war unsere erste
Antenne und der Kontakt in
die ganze Welt.

Vorwort

Der deutsche Amateur krankt daran, dass er den Vorteil einer guten Antenne nicht als Voraussetzung für den Erfolg in seinem Hobby erkennt und sich mit Provisorien plagt. Stattdessen wird immer mehr Geld ins Equipment und in Endstufen investiert. Ein Stück Draht ins Freie gebracht ist noch lange keine Antenne und vor allem noch lange keine Sende-Antenne. Jeder „Schnürsenkel“ kann angepasst werden, doch was bleibt übrig von der teuer erzeugten hochfrequenten Leistung. Auch ein Dummy-Load hat ein VSWR von 1: 1. Das allerbeste Equipment funktioniert nicht ohne eine optimale Antennenanlage. „Die Antenne macht die Musik“ gilt immer und wird immer gelten. Die Zukunft gehört der Digitaltechnik, die Analogtechnik hat ausgedient. Die Grenzen des „Machbaren“ sind erreicht. Doch auch hier ist das wichtigste Bindeglied zur Gegenstation die Antenne. Eine der einfachsten Konstruktionen seine HF in die „Luft“ zu bringen ist die Langdraht-Antenne, die erstmals am Zeppelin erfolgreich eingesetzt wurde /2/.

1. Strahlung einer linearen Antenne mit sinusförmiger Stromverteilung

Um einen Langdraht zu verstehen, betrachten wird die Strahlung einer linearen Antenne der Länge l .

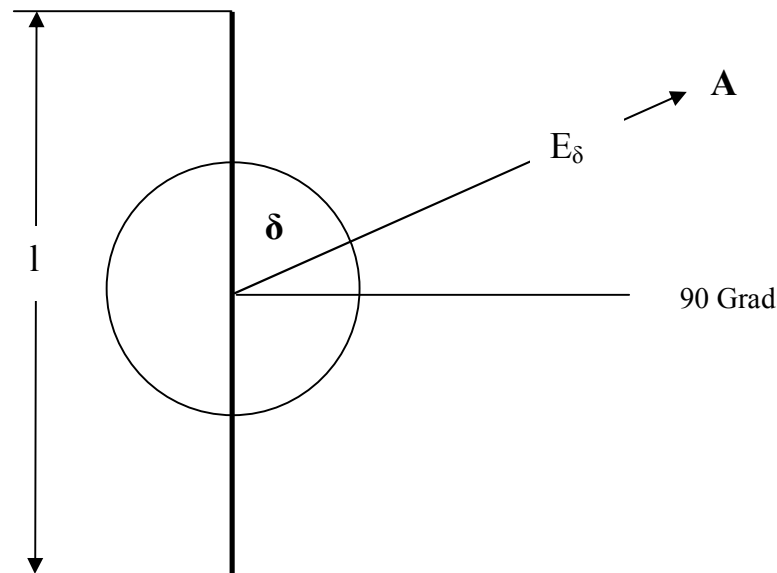


Bild 1

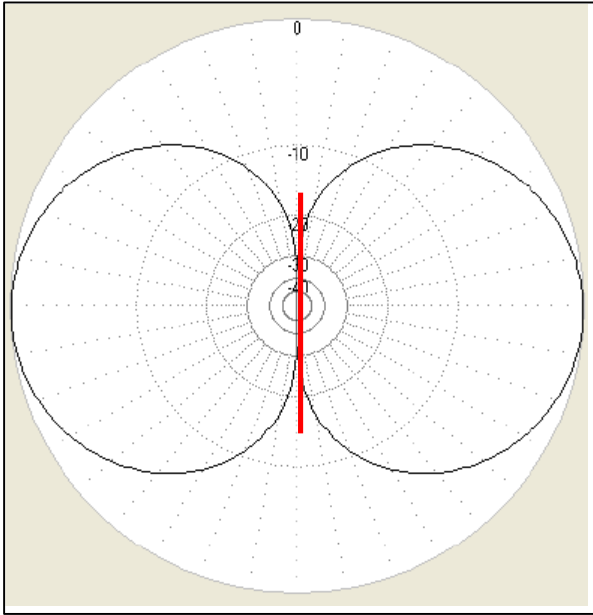
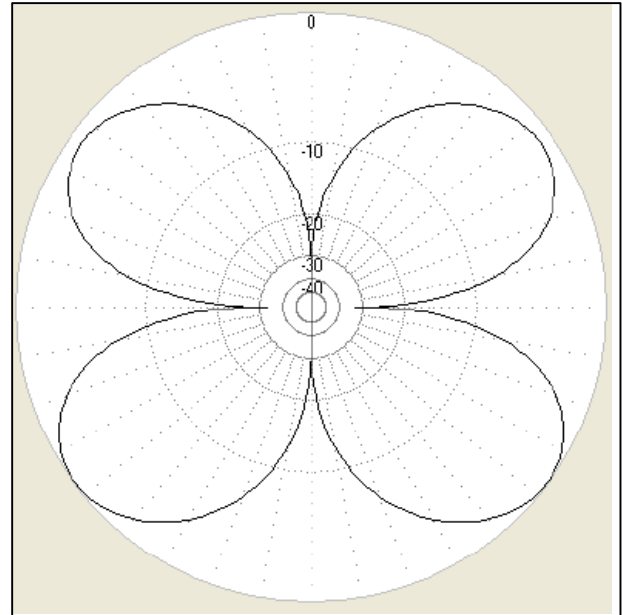
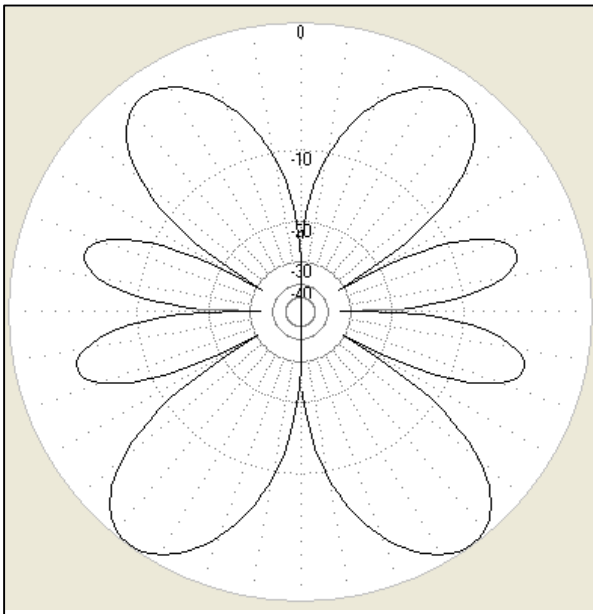
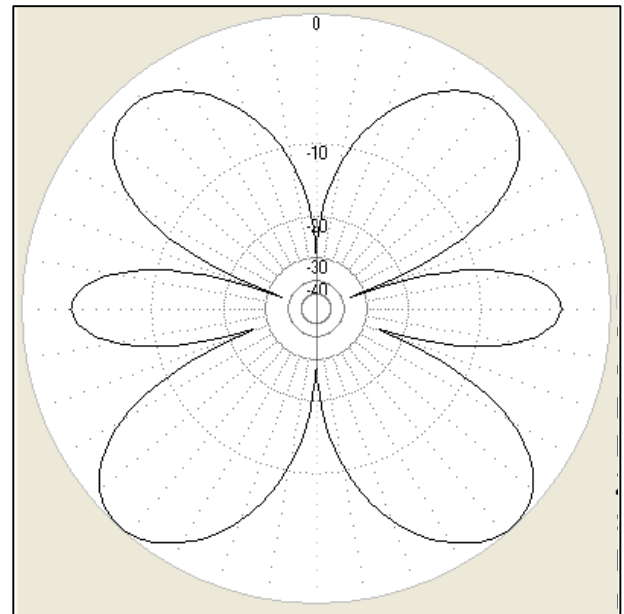
Ist die Antennenlänge l ein gerades Vielfaches der halben Wellenlänge, so wird der Betrag der elektrischen Feldstärke in Richtung des im Bild 1 gezeichneten Vektors

$$E_{\delta} = 60 I_0 / r * \sin\{\cos(\delta) * k \pi/2\} / \sin(\delta) \quad l = k \lambda/2 \quad \text{mit } k = 2,4,6,8,\dots \quad (\text{Gl.1})$$

Ist die Antennenlänge ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge, so wird der Betrag der elektrischen Feldstärke in Richtung des im Bild 1 gezeichneten Vektors

$$E_{\delta} = 60 I_0 / r * \cos\{\cos(\delta) * k \pi/2\} / \sin(\delta) \quad l = k \lambda/2 \quad \text{mit } k = 1,3,5,7,\dots \quad (\text{Gl.2})$$

dabei ist δ der Winkel zwischen der Richtung der Antenne und dem Vektor der elektrischen Feldstärke. I_0 ist der Maximalwert des Antennenstromes und r der Abstand zum Punkt A.

**Bild 3** $k = 1$ **Bild 4** $k = 2$ **Bild 6** $k = 4$ **Bild 5** $k = 3$

Die Bilder 3 bis 6 zeigen das horizontale Richtdiagramm der linearen Antennen bei Erregung $k = 1$ entsprechend $l = \lambda/2$, bei $k = 2$ entsprechen $l = \lambda$, bei $k = 3$ entsprechend $l = 3/2 \lambda$ und $k = 4$ entsprechend $l = 2 \lambda$.

Wie den Bildern 3 bis 6 zu entnehmen ist, erreichen wir durch die Erregung der Antenne in einer Harmonischen eine immer stärkere Bündelung in Richtung der Antennenachse. Wir sehen außerdem, dass die maximale Feldstärke nicht immer in der Äquatorialebene, sondern unter verschiedenen durch die (Gl.1) und (Gl.2) beschriebenen Winkeln auftritt.

Die mit Oberschwingungen erregte Antenne hat eine Rotationssymmetrie. Deshalb muss man sich die Bilder 3 bis 6, um die Vertikalachse gedreht, als Rotationsfläche vorstellen. Alle diese Diagramme gelten zunächst nur für den Fall, dass die Antenne ganz allein für sich im Raume steht.

Ist über die elektrische Feldstärke und durch den Zusammenhang

$$E\delta / H\varphi = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \quad (\text{Gl.3})$$

auch die magnetische Feldstärke bekannt, kann die von der Antenne abgestrahlte Leistung berechnet werden. Daraus berechnet sich der Strahlungswiderstand der Antenne im freien Raum zu

$$R_s = 60 \int_0^\pi \sin^2 \{ k\pi \cos(\delta)/2 \} / \sin(\delta) d\delta \quad (\text{Gl.4})$$

Aus (Gl.4) ergibt sich die bekannte Näherung

$$R_s = 320 (l/\lambda)^2 \quad \text{und bei } l = \lambda/2 \text{ wird } R_s = 80 \Omega \text{ gegenüber } 73,2 \Omega \text{ als exakter Wert} \quad (\text{Gl.5})$$

Den Strahlungswiderstand unter Einbeziehung der Oberwellen einer geraden Antenne bei Erregung in verschiedenen Oberwellen bezogen auf den maximalen Strom zeigt das Bild 7.

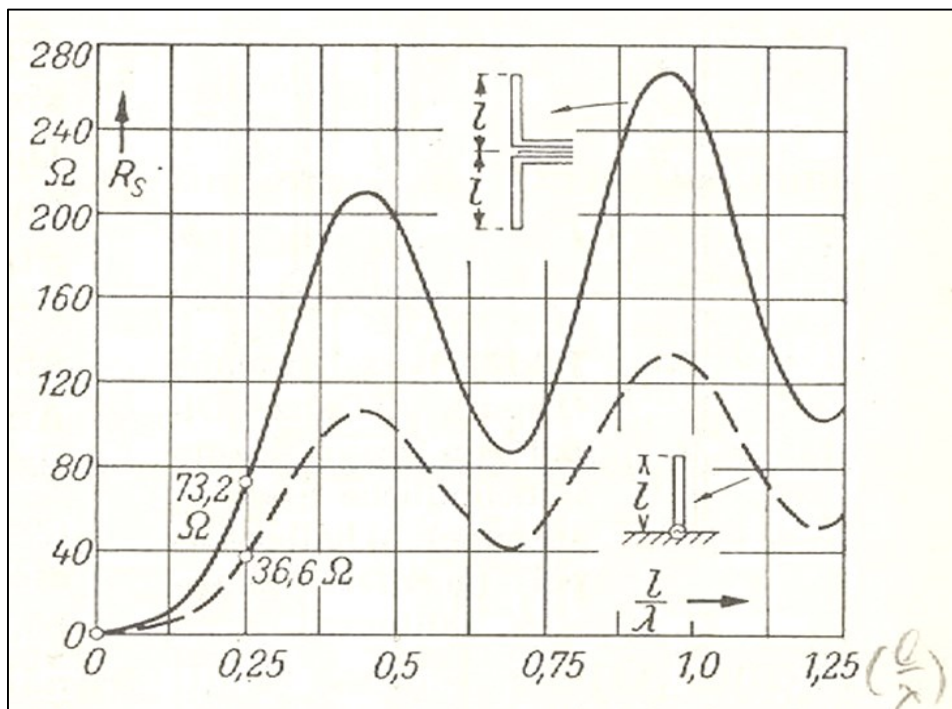


Bild 7: Strahlungswiderstand einer geraden Antenne bei verschiedenen Oberwellen aus Jahrbuch der Telegrafie. Van der Pol, Siegel und Labus, 13, 217, 1918. Für eine Antenne mit der Länge $l = \lambda/2$ beträgt der Strahlungswiderstand $R_s = 73,2 \Omega$. (Die Länge des Dipols ist hier als $2 \times l$ definiert!)

Aus den Bildern 3 bis 6 wird ersichtlich, dass mit einer in Oberwellen erregten Antenne eine scharfe Richtwirkung in der Vertikalebene erreicht werden kann. Diese Richtwirkung wird noch viel stärker, wenn wir an Stelle einer einzigen in ihren Oberwellen erregten Antenne, mehrere Dipole der Länge $l = \lambda/2$ übereinander und in der Entfernung von $l = \lambda/2$ voneinander anordnen. Das Strahlungsfeld solch einer Dipolzeile können wir durch Addition der Feldstärken der Einzeldipole berechnen. Es wird

$$E_\delta = 60 I_0 / r * \cos \{ \pi/2 \cos \delta \} / \sin(\delta) * \sin \{ m \pi/2 \cos \delta \} / \sin(\pi/2 \cos \delta) \quad (\text{Gl.6})$$

mit m als Anzahl der übereinander liegenden Dipole.

3. Richtwirkung der horizontalen Antenne

Eine in der Grundwelle erregte Horizontalantenne kann als parallel zur Erdoberfläche gespannten Dipol aufgefasst werden. Erregt man eine Horizontalantenne in einer Oberwelle, kann diese Antenne durch $k+1$ Dipole wechselnder Polarität ersetzt werden. Die erste Oberwelle ist dabei per Definition die zweite Harmonische. Erregt man eine Antenne in der fünften Oberwelle, kann die Antenne durch sechs Dipole wechselnder Polarität ersetzt werden.

Mit dem Betrag der Feldstärke eines Einzeldipols nach (Gl 1) bzw. (Gl 2)

$$E_1 = 60 I_0 / r \quad (\text{Gl.7})$$

wird die Feldstärke einer in der k - ten Oberwelle erregten Horizontalantenne

$$E = 2 E_1 \{ \sin(\pi/2 \cos\delta) - \sin(3\pi/2 \cos\delta) + \sin(5\pi/2 \cos\delta) - \sin(7\pi/2 \cos\delta) + \dots \\ \dots + (-1)^{(k-1)/2} \sin(k \pi/2 \cos\delta) \}. \quad (\text{Gl.8})$$

Die größte Feldstärke herrscht in der Richtung $\delta = 0$ d.h. in Richtung der Horizontalantenne. Der Betrag der elektrischen Feldstärke wird mit der Feldstärke des Einzeldipols E_1 in der Richtung $\delta = 0$, also in Richtung der Antenne

$$E_{\max} = E_1 (1+k) \quad (\text{Gl.9})$$

und ist damit $(1+k)$ mal höher als die Feldstärke eines einzelnen Dipols, wir bekommen eine in Antennenrichtung um $(k+1)$ höhere Feldstärke.

Die in einer Oberwelle erregte Antenne hat eine Vorzugsrichtung, die bei der Planung berücksichtigt werden muss. Senkrecht zur Antenne ist der Winkel $\delta = 90$ Grad und die Feldstärke wird Null.

Beispiel 3.1

Berechne das horizontale Richtdiagramm $E = f(\delta)$ für die fünfte Oberwelle einer Horizontalantenne. Dazu werten wir die (Gl.6) als Funktion des Winkels δ aus. Die Werte zeigt Tab. 1.

| Winkel δ Grad | E / E_1 | Bemerkung |
|-------------------------|-----------|-------------------|
| 90.0 | 0 | Nullstelle |
| 86.7 | 0.48 | |
| 83.6 | 0.84 | |
| 80.4 | 1.00 | 3. Maximum |
| 77.1 | 0.92 | |
| 73.8 | 0.48 | |
| 70.5 | 0 | Nullstelle |
| 67.0 | 0.56 | |
| 63.6 | 1.00 | |
| 60.0 | 1.36 | |
| 58.2 | 1.40 | 2. Maximum |
| 56.2 | 1.28 | |
| 52.2 | 0.76 | |
| 48.2 | 0.00 | Nullstelle |
| 43.8 | 1.28 | |
| 39.0 | 2.56 | |
| 33.5 | 3.84 | |
| 27.0 | 5.00 | |
| 19.0 | 5.76 | |
| 0.00 | 6.00 | 1. Maximum (Gl 9) |

Tab. 1: Normierte Feldstärke E / E_1 nach (Gl.8) für eine in der fünften Oberwelle erregten Horizontalantenne und deren Strahlungsdiagramm

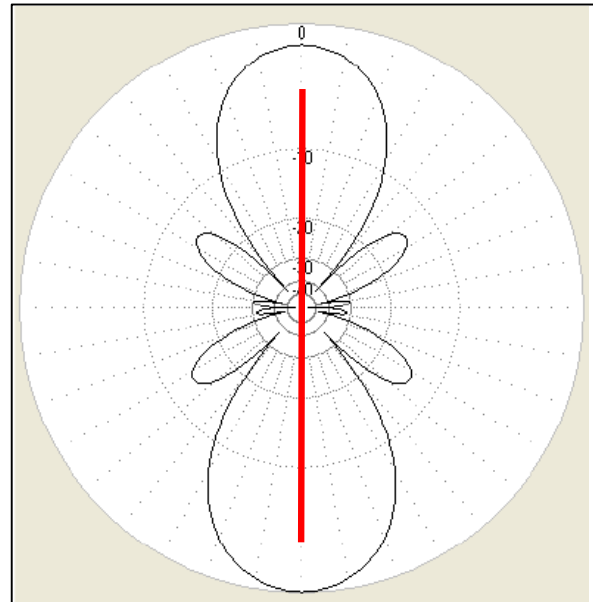


Bild 8: Horizontales Strahlungsdiagramm einer in der 6. Harmonischen (5. Oberwelle) erregten Langdrahtantenne. Die Anzahl der Strahlungskeulen ist 6

4. Einwirkung der Erde auf das Strahlungsfeld der Horizontalantenne

Befindet sich die Horizontalantennen in der Nähe der Erdoberfläche, so erzeugt die Antennenfeldstärke in der Erde - wie in einem Leiter - einen Strom. Das Sekundärfeld dieser Ströme kann das Originalfeld beträchtlich verzerren. Ein einfaches Bild können wir uns machen, wenn wir die Erde als unendlich guten Leiter betrachten und die Spiegelungsmethode verwenden. Wir können dann einen horizontalen Leiter über Erde als eine horizontale Antenne mit der halben Höhe betrachten. Wird die Erde als unendlich guten Leiter betrachtet, kann eine Längskomponente der elektrischen Feldstärke E_r nicht existieren. Die elektrischen Feldlinien müssen daher überall senkrecht auf der Oberfläche stehen.

Haben wir eine in der Höhe h über der Erdoberfläche liegende Horizontalantenne, so kann durch Spiegelung eine zur Erdoberfläche resultierende senkrechte Feldstärke E nur erreicht werden, wenn die Stromrichtung im Erdboden d.h. im Spiegelbild, der Stromrichtung

der Originalantenne entgegengesetzt gerichtet ist.

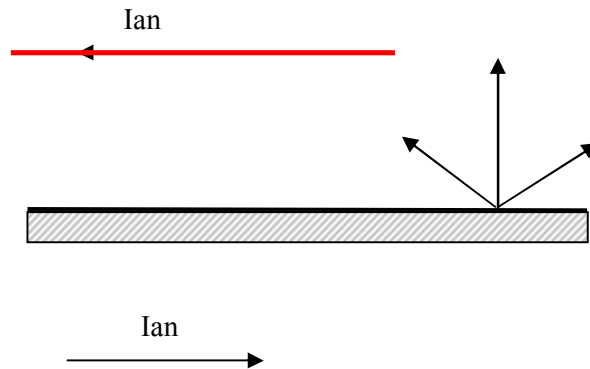


Bild 9: Strom in einer Horizontalantenne und Gegenstrom im Erdbereich (idealisiert).

Für die Praxis bedeutet es, dass wir ein Anpassgerät immer direkt am Speisepunkt mit Erde verbinden müssen. Bemerkte sei noch, dass bei einer Vertikalantenne die Ströme in der Antenne und im Erdbereich die gleiche Richtung haben und eine als Slooper aufgehängte Antenne horizontale und vertikale Stromanteile im Erdbereich hat.

5. Längenberechnung der Langdrahtantenne

Die Längenberechnung einer Langdraht-Antenne erfolgt für den freien Raum nach der Näherung

$$L = 150 (k - 0.05) / f(\text{MHz}) \quad \text{in Meter} \quad (\text{Gl } 10)$$

Um nicht lange rechnen zu müssen zeigt Tab. 2 die Antennenlängen für ausgewählte Frequenzen bei Vielfachen der Wellenlänge nach (Gl 10). Der Korrekturfaktor berücksichtigt die Tatsache, dass eine Antenne der Länge $\lambda/2$ nur in Resonanz ist, wenn diese um 5% gekürzt wird. Dieser Faktor ist auch keine Konstante und abhängig von der Anzahl der Wellenlängen auf der Antenne und dem sogenannten Schlankheitsgrad. Für Amateurzwecke ist die (Gl 10) völlig ausreichend /1/.

| Frequenz MHz | λ k = 2 | 1.5λ k = 3 | 2λ k = 4 | 2.5λ k = 5 | 3λ k = 6 | 4λ k = 8 | 5λ k = 10 | 6λ k = 12 |
|-----------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 3.5 | 83.6 | 126.4 | 169.3 | 212.1 | 255.0 | 341.0 | 427.1 | 512.2 |
| 3.6 | 81.2 | 122.5 | 164.6 | 206.2 | 247.9 | 331.5 | 417.2 | 497.9 |
| 3.7 | 78.9 | 119.5 | 160.1 | 200.4 | 241.2 | 322.5 | 407.7 | 484.5 |
| 3.8 | 76.8 | 116.1 | 156.0 | 195.4 | 234.8 | 314.0 | 398.4 | 471.7 |
| 7.0 | 41.7 | 63.2 | 84.7 | 106.2 | 127.5 | 170.4 | 213.4 | 254.7 |
| 7.1 | 41.1 | 62.3 | 83.4 | 104.6 | 125.8 | 168.0 | 210.0 | 251.0 |
| 7.2 | 40.5 | 61.4 | 82.3 | 103.1 | 124.0 | 165.6 | 207.2 | 247.5 |
| 14.0 | 20.9 | 31.6 | 42.3 | 53.1 | 63.8 | 85.2 | 106.7 | 127.3 |
| 14.1 | 20.7 | 31.3 | 42.0 | 52.7 | 63.3 | 84.6 | 105.8 | 126.4 |
| 14.2 | 20.5 | 31.1 | 41.7 | 52.3 | 62.8 | 84.0 | 105.1 | 125.5 |
| 14.3 | 20.4 | 30.8 | 41.5 | 51.9 | 62.4 | 84.4 | 104.3 | 124.6 |
| 14.4 | 20.3 | 30.7 | 41.2 | 51.6 | 62.0 | 82.8 | 103.8 | 123.8 |

Tab. 2: Länge einer Horizontalantenne (m) als Vielfache der Wellenlänge nach (Gl.10)

6. Impedanz der realen Horizontalantenne

Bei der realen Horizontalantenne macht sich nach Abschnitt 4 die leitende Erde bemerkbar. Wir gehen bei der Berechnung von mittleren Bodenwerten $S = 20 \text{ mS/m}$ und einer relativen Permeabilität $\mu_r = 5$ aus.

| Frequenz MHz | λ k = 2 | 1.5λ k = 3 | 2λ k = 4 | 2.5λ k = 5 | 3λ k = 6 | 4λ k = 8 |
|-----------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 3.5 | 1500 | 1125 | 400 | 480 | 185 | 110 |
| 7.0 | 1700 | 1350 | 1150 | 1400 | 650 | 350 |
| 14.0 | 1100 | 950 | 900 | 850 | 900 | 600 |

Tab. 3: Impedanz (Ω) im Spannungsbauch einer resonanten, horizontalen Antenne über realem Grund und Vielfachen der halben Wellenlänge Antennenhöhe ist $H = 10 \text{ m}$. Die Werte sind ca. Richtwerte, weil Antennenhöhe, Drahtdurchmesser usw. starken Einfluss auf die Impedanz haben.

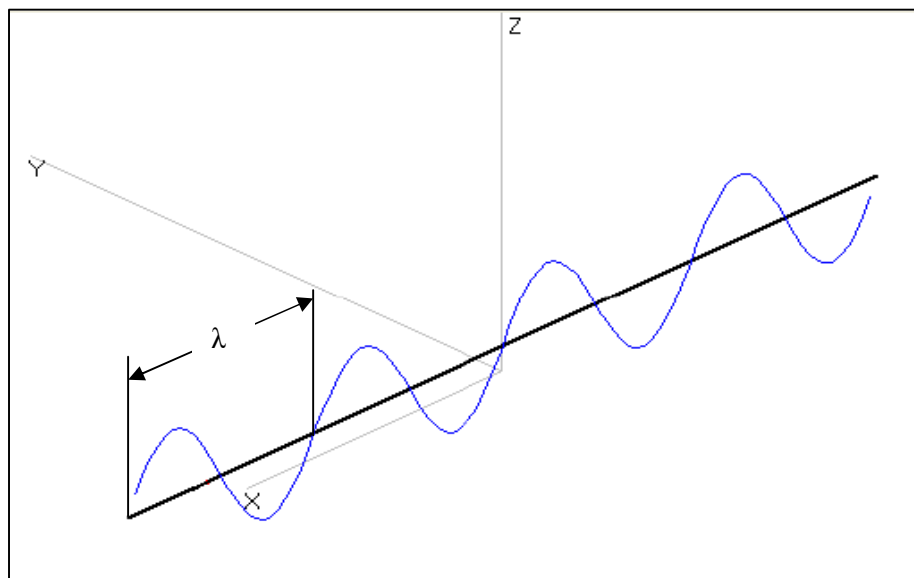


Bild 10

Bild 10 zeigt die Stromverteilung auf einer 4λ langen, horizontalen Antenne. Der Verlauf der Spannung ist um $\lambda/4$ verschoben, deren Maximum liegt dort wo der Strom Null ist.

7. Der Gewinn der horizontalen Antenne

Der Betrag der elektrischen Feldstärke und damit der Gewinn steigt nach (Gl 6 und Gl 7) mit zunehmender Länge der Antenne. Ist die Antenne 2λ lang wird der Antennengewinn rund $G_a = 7$ dBi, also etwas mehr als eine S - Stufe. Das ist im DX-Betrieb bedeutend und ersetzt eine Endstufe.

| Frequenz MHz | λ k = 2 | 1.5λ k = 3 | 2λ k = 4 | 2.5λ k = 5 | 3λ k = 6 | 4λ k = 8 |
|-----------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 3.5 | 7.7 | 7.6 | 9.0 | 5.7 | 7.5 | 7.7 |
| 7.0 | 4.0 | 5.6 | 6.2 | 5.2 | 6.0 | 6.2 |
| 14.0 | 7.1 | 7.5 | 8.1 | 8.2 | 8.6 | 8.2 |

Tab. 4: Gewinn einer horizontalen Antennen bei einer Höhe von 10 m über realem Grund, Drahtdurchmesser $d = 2$ mm Kupfer.

8. Der Abstrahlwinkel der horizontal aufgehängten Antenne

Der Winkel der Hauptstrahlkeule ist gegen die waagerechte Bezugsachse gemessen. Mit zunehmender Erregung in Harmonischen nimmt die Flachstrahlung zu. Bei höheren Frequenzen ist fast nur Flachstrahlung unter einem Winkel von $\theta = 30$ Grad vorhanden.

| Frequenz MHz | λ k = 2 | 1.5λ k = 3 | 2λ k = 4 | 2.5λ k = 5 | 3λ k = 6 | 4λ k = 8 |
|-----------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 3.5 | 56 | 46 | 39 | 35 | 32 | 32 |
| 7.0 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 |
| 14.0 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

Tab. 5

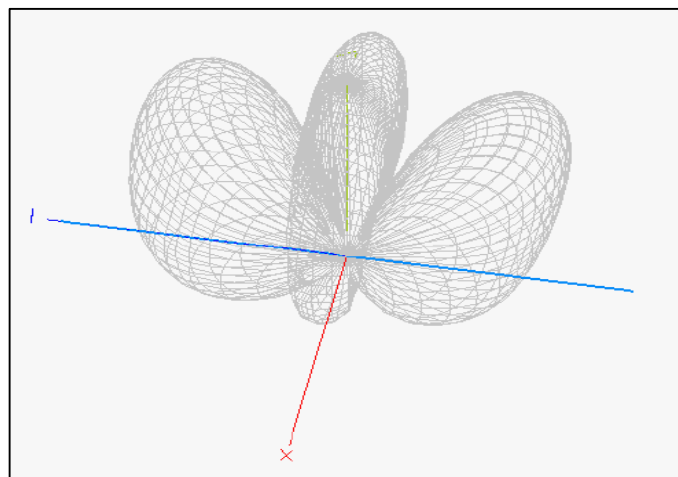


Bild 11: Räumliches Richtdiagramm der Horizontal-Antenne für $k = 3$ – siehe auch Bild 12 b.

Die Bilder 12 a bis e zeigen das Vertikale Richtdiagramm für Vielfache der halben Wellenlänge k .

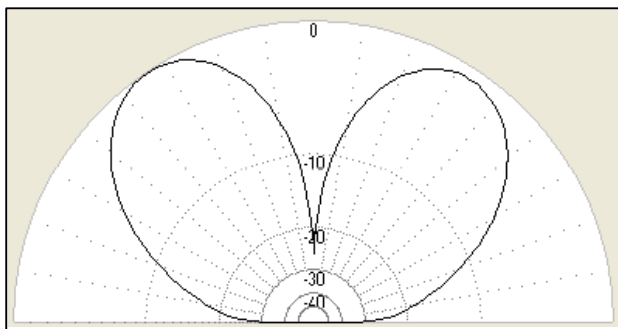


Bild 12 a $k = 2$

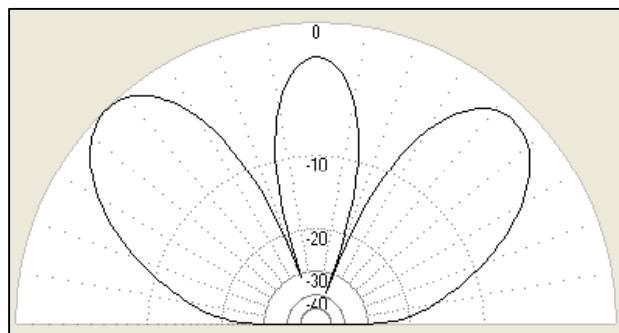


Bild 12 b $k = 3$

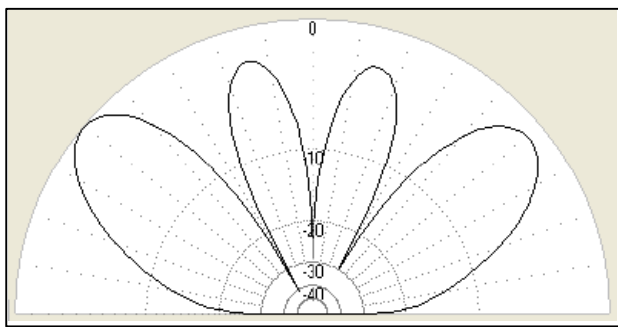


Bild 12 c $k = 4$

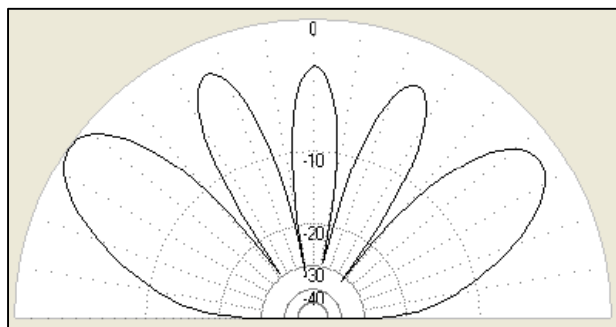


Bild 12 d $k = 5$

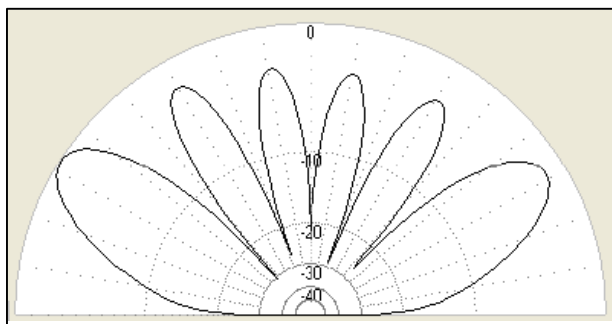


Bild 12 e $k = 6$

Bild 12 a – e charakteristisches Vertikaldiagramm bei Erregung der Langdrahtantenne in Harmonischen. Die Anzahl der Strahlungskeulen entspricht dem Faktor k .

Je nach Betriebsfrequenz sind die Strahlungskeulen mehr oder weniger stark ausgeprägt. Die Bilder 10 a bis e sind die Strahlungsdiagramme für $f = 3.5 \text{ MHz}$.

8. Ankopplung der Langdrahtantenne

Die in den Anfängen des Amateurfunks bevorzugte Ankopplung war der „Fuchs“ Kreis – benannt nach dessen Erfinder - Dr. Josef Fuchs, Patentanmeldung 1927. Dazu wurde die Antenne an den in der Endstufe befindlichen Anoden-Parallelkreis an eine Anzapfung gelegt. Die heute in Praxis bevorzugte Ankopplung erfolgt an einem der Enden mit einer abgestimmten Feeder-Leitung. Mehrbandbetrieb ist nur sinnvoll mit einer unabgestimmten Zweidrahtleitung.

Heutige Transceiver haben einen 50Ω Ausgang. Hier gibt es diverse Vorschläge mit induktiv oder kapazitiv gekoppelten Bandfiltern hoher Güte, um Oberschwingungen zu reduzieren. Da heutige Transceiver Endstufen hohe Linearität haben, sind solche Maßnahmen zur Unterdrückung von Oberschwingungen kaum noch erforderlich. Außerdem haben Anpassschaltungen hoher Güte immer enorme Verluste und sind empfindlich bei der Einstellung. Jede unnötige Induktivität verursacht Verluste und ist zu meiden. Nur LC-Kombinationen gewährleisten eine verlustarme Anpassung. Dabei ist es wichtig, dass die Erdung direkt an der Anpassschaltung vorgenommen wird, um hochfrequente Ströme von der Station fern zu halten. Damit die Verluste der Anpassschaltung erträglich bleiben, ist die kontinuierlich veränderliche Induktivität mit hohen Leerlaufgüte auszuführen /3/.

8.1 Verluste einer LC-Anpassschaltung

Bei hochohmigen Strahlungswiderständen führt eine geringfügige Frequenzänderung schnell zu hochohmigen Imaginärteilen, induktiv oder kapazitiv. Daher ist es wichtig zu wissen welche Verluste bei einer LC-Anpassschaltung bei diesen komplexen Lasten auftreten. Grundsätzlich sind bei hochohmigen Lasten die Ströme gering. Daher sind auch die Verluste in der oder in den Induktivitäten niedrig und können noch durch eine konstruktionsbedingte hohe Leerlaufgüte positiv beeinflusst werden /3/. Bei den in der Tab. 6 und 7 aufgeführten Impedanzen und einer Rechenleistung von $P = 1000 \text{ W}$ sind die HF-Ströme durch die Bauteile maximal ca. $I = 6 \text{ A}_{\text{eff}}$ - also tragbar.

| Realteil in Ω → Imaginärteil Ω | 100 Ω | 200 Ω | 300 Ω | 400 Ω | 500 Ω | 1000 Ω | 2000 Ω | 3000 Ω | 4000 Ω | 5000 Ω |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| j10 | 98.7 | 97.9 | 97.3 | 96.8 | 96.4 | 94.9 | 92.7 | 91.1 | 89.8 | 88.7 |
| j50 | 98.4 | 97.8 | 97.3 | 96.8 | 96.4 | 94.8 | 92.7 | 91.1 | 89.8 | 88.7 |
| j100 | 97.7 | 97.5 | 97.1 | 96.7 | 96.4 | 94.7 | 92.7 | 91.1 | 89.7 | 88.7 |
| j200 | 96.0 | 96.6 | 96.6 | 96.3 | 96.0 | 94.7 | 92.7 | 91.0 | 89.7 | 88.7 |
| j300 | 94.3 | 95.6 | 95.9 | 95.8 | 95.7 | 94.6 | 92.6 | 91.0 | 89.7 | 88.6 |
| j400 | 92.6 | 94.5 | 95.1 | 95.2 | 95.2 | 94.4 | 92.6 | 91.0 | 89.6 | 88.6 |
| j500 | 90.9 | 93.4 | 94.2 | 94.6 | 94.7 | 94.2 | 92.5 | 91.0 | 89.6 | 88.6 |
| j1000 | 82.8 | 87.7 | 89.7 | 90.9 | 91.6 | 92.6 | 91.8 | 90.6 | 89.5 | 88.5 |
| j2000 | 69.0 | 77.2 | 81.1 | 83.4 | 84.9 | 88.4 | 89.7 | 89.3 | 88.6 | 87.8 |
| j3000 | 57.8 | 68.1 | 73.3 | 76.4 | 78.6 | 83.9 | 87.0 | 87.5 | 87.3 | 86.8 |
| j4000 | 48.7 | 60.2 | 66.2 | 70.0 | 72.7 | 79.6 | 84.1 | 85.4 | 85.8 | 85.6 |
| j5000 | 41.3 | 53.4 | 59.9 | 64.3 | 67.3 | 75.5 | 81.2 | 83.2 | 84.0 | 84.3 |
| j10000 | 20.0 | 30.5 | 37.5 | 42.5 | 46.4 | 57.8 | 67.5 | 72.0 | 74.6 | 76.2 |

Tab. 6: Wirkungsgrad (%) einer LC-Anpassschaltung bei induktiven Lasten /4/ mit $Q_L = 100$ und $Q_c = 1000$

| Realteil in Ω → Imaginärteil Ω | 100 Ω | 200 Ω | 300 Ω | 400 Ω | 500 Ω | 1000 Ω | 2000 Ω | 3000 Ω | 4000 Ω | 5000 Ω |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| -j 10 | 98.7 | 97.7 | 97.3 | 96.8 | 96.4 | 94.9 | 92.7 | 91.2 | 89.8 | 88.7 |
| -j 50 | 98.0 | 97.6 | 97.1 | 96.7 | 96.3 | 94.8 | 92.7 | 91.1 | 89.8 | 88.7 |
| -j 100 | 96.9 | 97.1 | 96.8 | 96.5 | 96.2 | 94.7 | 92.7 | 91.1 | 89.8 | 88.7 |
| -j 200 | 94.6 | 95.9 | 96.1 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 92.6 | 91.1 | 89.8 | 88.7 |
| -j 300 | 92.2 | 94.5 | 95.1 | 95.3 | 95.3 | 94.4 | 92.5 | 91.0 | 89.8 | 88.6 |
| -j 400 | 89.8 | 93.1 | 94.1 | 94.5 | 94.6 | 94.1 | 92.4 | 91.0 | 89.7 | 88.6 |
| -j 500 | 87.6 | 91.6 | 93.0 | 93.7 | 93.9 | 93.8 | 92.3 | 90.9 | 89.7 | 88.6 |
| -j 1000 | 77.3 | 84.5 | 87.5 | 89.2 | 90.2 | 91.9 | 91.5 | 90.4 | 89.3 | 87.6 |
| -j 2000 | 61.2 | 72.3 | 77.4 | 80.5 | 82.5 | 87.1 | 89.0 | 88.9 | 88.3 | 87.5 |
| -j 3000 | 49.4 | 62.2 | 68.6 | 72.6 | 75.5 | 75.4 | 86.0 | 86.9 | 86.9 | 86.5 |
| -j 4000 | 40.5 | 53.9 | 61.1 | 65.7 | 69.0 | 77.4 | 82.9 | 84.4 | 85.2 | 85.1 |
| -j 5000 | 33.7 | 47.0 | 54.6 | 59.7 | 63.3 | 73.0 | 79.7 | 82.3 | 82.3 | 83.6 |
| -j 10000 | 16.1 | 25.9 | 40.0 | 38.0 | 42.2 | 54.6 | 65.4 | 70.5 | 73.4 | 75.2 |

Tab. 7: Wirkungsgrad (%) einer LC-Anpassschaltung bei kapazitiven Lasten /4/ mit $Q_L = 100$ und $Q_c = 1000$

8.2 LC-Anpassnetzwerk der realen Langdraht-Antenne

Mit den Impedanzen der horizontalen Antenne nach Tab. 3 berechnen wir eine LC-Anpassung. Da die Impedanz der Antenne größer ist als die Systemimpedanz des Senders, wird im APN eine Serieninduktivität und eine Querkapazität in unsymmetrischer Anordnung erforderlich.

| Frequenz MHz | λ k = 2 | 1.5λ k = 3 | 2λ k = 4 | 2.5λ k = 5 | 3λ k = 6 | 4λ k = 8 |
|-----------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 3.5 | 11.9/169 | 10.3/193 | 5.9/306 | 6.6/283 | 3.7/409 | 2.5/458 |
| 7.0 | 6.3//80 | 5.6/89 | 5.2/96 | 5.7/87 | 3.9/124 | 2.7/162 |
| 14.0 | 2.5/49 | 2.4/52 | 2.3/54 | 2.2/55 | 2.3/53 | 1.9/64 |

Tab. 8: Werte der LC-Anpassung mit dem Impedanzen nach Tab. 3

Der erste Zahlenwert ist die Induktivität L in μH , der zweite C in pF. Die Verluste in der Anpassschaltung belaufen sich immer unterhalb $L = 0.3 \text{ dB}$ und sind damit vernachlässigbar.

Da bei hochohmigen Impedanzen die Ströme in den Bauteilen der LC-Anpassschaltung - selbst bei einer Leistung von $P = 1000 \text{ W}$ - etwa $I = 6 \text{ A}$ nicht überschreiten, stellt sich die Frage nach der an der Kapazität auftretenden Spitzen-Spannung.

| Frequenz MHz | λ k = 2 | 1.5λ k = 3 | 2λ k = 4 | 2.5λ k = 5 | 3λ k = 6 | 4λ k = 8 |
|-----------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 3.5 | 1677 | 1459 | 880 | 1344 | 604 | 466 |
| 7.0 | 1781 | 1594 | 1474 | 1622 | 1117 | 824 |
| 14.0 | 1443 | 1344 | 1409 | 1273 | 1309 | 1074 |

Tab. 9: Spitzenspannung U_{max}/V an der Kapazität der berechneten LC-Anpassschaltung

9. Zusammenfassung

Als der Amateurfunk noch in den Kinderschuhen steckte, popularisierte der österreichische OM Dr. Fuchs die nach ihm benannte Fuchsentenne. Sie war lange Zeit eine der beliebtesten KW- Sendeantennen, da sie einfach an den Tankkreis der Röhrendstufe angekoppelt werden konnte. Zur Unterdrückung von Oberschwingungen wurde damals auch gerne ein Zwischenkreis verwendet. Beide Kreise wurden auf der Betriebsfrequenz in Resonanz betrieben. Die Abstimmung war unübersichtlich und zeitaufwändig. Aus dem Fuchskreis kann durch einfaches Umzeichnen das Pi-Filter gewonnen werden /5/.

Da die Eingangsimpedanz der horizontalen Antenne etwa ca. 600 bis 1000 Ω beträgt wird oftmals ein Transformator zur Ankopplung vorgeschlagen und verwendet. Bei diesen hohen Übersetzungsverhältnissen und u.U. komplexen hochohmigen Impedanzen macht der Ringkerntransformator alles, nur nicht das was man ihm als gewünschte Eigenschaft andichtet. Die beste Eigenschaft ist seine Dämpfung und die Verluste. Größere Leistungen treiben den Ringkern in die Sättigung, die bei Ferriten automatisch zum Neukauf führt.

Wesentlich einfacher gestaltet sich die Anpassung mit einer einfachen LC-Kombination, wenn der Transceiver für $Z = 50 \Omega$ ausgelegt ist. Die Abstimmung ist eindeutig und verlustarm. Da heutige Transceiver auf hohe Linearität ausgelegt sind, ist das Thema Oberschwingungen ohne Bedeutung. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Erdung der Anpassschaltung. Nur direkt am Anpassnetzwerk mit ausreichendem Querschnitt, sonst hat man vagabundierende Hochfrequenz im Shack, beim Nachbarn oder im Internet Anschluss.

„Antennengeschädigten“ OM's kann die Langdraht-Antenne ein unauffälliges Instrument sein um am Hobby Amateurfunk teilzunehmen.

DL3LH, Walter
wa-schau@t-online.de
www.heide-holst.de

Literatur :

- /1/ B. van der Pol, Jahrbuch d. drahtl. Tel. 13 (1918), S. 217
- /2/ ARRL Antenna Book,
- /3/ Kurze Antennen, Gerd Janzen, Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart
- /4/ Passive Netzwerke zur Anpassung, DL3LH
- /5/ Pi-Filter mit Verlusten, DL3LH

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.