

Entdeckung der Phase

Richtantennen für KW

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

Vorwort:

Eine harmonische Schwingung wird beschrieben durch Frequenz, Amplitude und Anfangsphase. Die Charakteristika einer sinusförmigen Welle sind die Wellenlänge, Frequenz, Amplitude, die ortsabhängige Phase und die Polarisierung.

Beim Zusammenspiel zweier Schwingungen oder Wellen gleicher Amplitude ist die Phase die Kenngröße, die eine Schwingung/Welle vergrößert oder bis auf den Wert Null verkleinert.

Die Phase bzw. die Phasenlage ist die entscheidende Größe bei einer Schwebung. Die Modulation der Phase oder dessen Integral - die Frequenz - erlaubt die von einer Amplitudenstörung unabhängige Frequenz- oder Phasenmodulation. Die Ausnutzung der Phase macht die Frequenz- oder Phasenmodulation erst möglich. Moderne Übertragungstechniken wären nicht möglich, ohne das der Nachrichteninhalt in der Phase oder der Frequenzänderung steckt.

Auf einer Leitung spielen bei einem Frequenzspektrum die Phasen- und Gruppenlaufzeit eine wesentliche Rolle. Mit anderen Worten, die Phase ist eine entscheidende Größe bei Schwingungen, bei der Wellenausbreitung und bei der Modulation.

Aus der Phase einer Wellenfront wird Richtung und Höhe von Flugkörpern bestimmt. Bild 1 zeigt ein russisches Radargerät mit einem Goniometer (grüner Ring) zur Bestimmung des Höhenwinkels von Flugzeugen.



Bild 1: Russisches Radargerät mit Goniometer (grüner Ring)

Wir können die Erkenntnisse über die Phase nutzen, um eine Richtwirkung unserer KW-Antennenanlage zu erzeugen.

1. Wellenlänge, Frequenz im freien Raum

Ausbreitungs-Vorgänge werden beschrieben durch die Amplitude der Welle, deren Wellenlänge, deren Frequenz und Phasenlage und der Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Der Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge ist bekanntlich

$$\lambda_0 = c_0 / f \quad (\text{Gl 1})$$

mit c_0 als Lichtgeschwindigkeit des freien Raumes und dem Zahlenwert $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s. Mit ausreichender Genauigkeit kann mit $c = 300000$ km/s bzw. $3 \cdot 10^{10}$ cm/s gerechnet werden. Das Phasenmaß einer Welle berechnet sich zu

$$\beta_0 = 2 \pi / \lambda_0, \quad (\text{Gl 2})$$

woraus sich die Phase an einer bestimmten Stelle, bezogen auf einen beliebigen Bezugspunkt, zu

$$\beta = \beta_0 z = 2 \pi z / \lambda_0 \quad (\text{Gl 3})$$

berechnet.

Die Phase ist also proportional zur Ortskoordinate z , d.h. zum Abstand von dem Ort, der als Bezug gewählt wurde, gewöhnlich der Ort des Senders.

Beispiel 1.1

Bei einer Betriebsfrequenz von $f = 3.6$ MHz berechnet sich die Wellenlänge nach (Gl 1) zu $\lambda = 3 \cdot 10^8$ m/s / $3.6 \cdot 10^6$ / s = 83.33 m.

In einem Abstand von $a = 800$ m hat sich die Phase $\beta = 360^\circ / \lambda_0 = 800 \text{ m} \cdot 360^\circ / 83.33 \text{ m} = 3456$ Grad gedreht, entsprechend 9 vollen Perioden $a \cdot 360$ plus 216° . Die Phase am Ende der Übertragungsstrecke ist also um 216° gegenüber der Phase am Senderausgang gedreht. Gelangt das gleiche Signal über einen anderen – längeren oder kürzeren Weg – zum gleichen Empfangsort, kann es zu einer Verstärkung oder Auslöschung des Sendesignals kommen. Man spricht von Mehrwegeempfang.

Beispiel 1.2

Wir funken im 80 m Band auf der Frequenz $f = 3610$ KHz von Hamburg nach München mit einer Entfernung von rund 1000 km. Welche Laufzeit benötigt rein theoretisch die Welle im freien Raum?

Die Laufzeit ist $t = s / v = 1000 \text{ km} / 300.000 \text{ km/s} = 3.33 \text{ ms}$.

2. Wellenlänge, Frequenz und Phase auf einer Leitung

Auf einer hochfrequenten Leitung ist die Geschwindigkeit der Welle immer kleiner als die Lichtgeschwindigkeit. Die kleinere Geschwindigkeit ergibt sich aus dem Verkürzungsfaktor v_k der Leitung, der sich aus der relativen Permeabilität der Leitung berechnet. Der so definierte Verkürzungsfaktor ist immer kleiner 1 und liegt zwischen 0.6 und 0.96. Daraus berechnet sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf einer Leitung entsprechend (Gl 1) zu

$$v = c_0 v_k = c_0 / \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (\text{Gl 5})$$

und die Wellenlänge auf der Leitung wird

$$\lambda = c_0 v_k / f = v / f. \quad (\text{Gl 6})$$

Bei einer relativen Dielektrizitätskonstanten $\mu_r = 1$ wird aus (Gl 5)

$$v = c_0 / \sqrt{\epsilon_r} \quad (\text{Gl 7})$$

Die Phasenkonstante auf der Leitung ist entsprechend (Gl 2) im Bogenmaß

$$\beta = 2\pi / \lambda \quad (\text{Rad pro Meter}) \quad (\text{Gl 8})$$

oder im Gradmaß

$$\beta = 360^\circ / \lambda \quad (\text{Grad pro Meter}) \quad (\text{Gl 9})$$

Beispiel 2.1

Der Verkürzungsfaktor einer Doppelleitung ist $v_k = 0.92$. Nach (Gl 5) berechnet sich die Geschwindigkeit der Welle auf der Leitung zu $v = 300.000 \text{ km/s} * 0.92 = 276.000 \text{ km/s}$ bzw. $v = 2.76 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Bei der Betriebsfrequenz $f = 3.6 \text{ MHz}$ ist die Wellenlänge auf der Leitung nach (Gl 4) $\lambda = v / f = 2.76 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 3.6 \text{ MHz} = 76.6 \text{ m}$.

Die angepasste Zuleitung habe eine Länge von $L = 30 \text{ m}$. Die Zeit, die die Welle zum Durchlaufen der Leitung braucht ist $t = s / v = 30 \text{ m} / 2.76 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 0.1086 \mu\text{s}$.

Wäre die Leitung nicht wellenwiderstandrichtig angepasst, würde nach weiteren $t = 0.1086 \mu\text{s}$ die Welle am Anfang der Leitung ankommen und dort reflektiert werden /3/.

Ist die Dämpfung der Leitung $a = 0.5 \text{ Neper/100 m}$ und die Spannung am Leitungsanfang $U_a = 200 \text{ V}$, dann ist die Spannung am Leitungsende $U_e = 172 \text{ V}$ /3/.

Wird der Strom am Eingang der Leitung $I_a = 1 \text{ A}$ gemessen, dann ist bei der Dämpfung von 0.5

Neper/100 m der Strom am Leitungsende $I_e = 0.8607 \text{ A}$.

Die Eingangsleistung berechnet sich zu $P_e = 200 \text{ V}$ und die Ausgangsleistung $P_a = 0.8607 \text{ A} * 172 \text{ V} = 148 \text{ W}$. Die Differenz ist die Verlustleistung auf der Leitung $P_v = 51.96 \text{ W}$ /3/. Zur Erinnerung: Bei einer angepassten Leitung ($r = 0$) sind Strom und Spannung auf der gesamten Leitung in Phase /3/.

Beispiel 2.2

Die in Beispiel 3 berechnete Leitung hat eine Leitungs-Wellenlänge von $\lambda = 76.6 \text{ m}$. Die Phasendrehung ist nach (Gl 9) $\beta = 360^\circ / \lambda = 360^\circ / 76.6 \text{ m} = 4.69^\circ$ pro Meter.

Berechne die Phasendrehung für Vielfache von $\lambda/4$. Wir fassen die Ergebnisse in einer Tabelle zusammen.

$n * \lambda/4$ n	Phasendrehung in Grad	Abstand auf dem Kabel in m
1	90	19.17
2	180	38.33
3	270	62.50
4	360	76.66

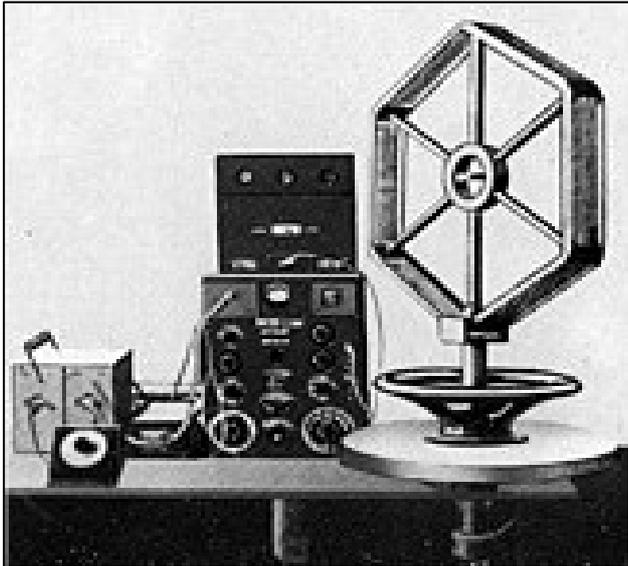
In einer Entfernung auf der Leitung von $\lambda/2$ wird eine Phasendrehung von 180° erreicht. Bei λ ist die Phase $\beta l = 360^\circ$ oder 0° , d.h. die Phase ist identisch mit der Phase am Anfang der Leitung /3/.

3. Richtung eines hochfrequenten Signals

Schon frühzeitig, in der 20igern wurde die Kenntnis über die Zusammenhänge der Phasenfronten bei Wellen dazu genutzt, um Peilungen von hochfrequenten Signalen durchzuführen. Man wollte wissen aus welcher Richtung hochfrequente Signale kommen. Durch Kreuzpeilung wurde, bis auf ein kleines Peilfehlerdreieck, der Standort eines Senders bestimmt. Anfänglich wurde die achtförmige Charakteristik eines Peilrahmens dazu benutzt, um den Standort eines Senders zu bestimmen. Die Doppeldeutigkeit des Peilrahmens wurde durch eine zusätzliche Stabantenne beseitigt, man konnte damit eine Seitenbestimmung durchführen. Durch die Trübung des Minimums – es gab keine Richtung in der die Feldstärke tatsächlich Null wurde - konnte die Richtung nur sehr ungenau bestimmt werden. Dieser Mangel wurde mit einem symmetrisch aufgebauten Rahmen, dessen elektrische Mitte geerdet ist, beseitigt. Der Empfängereingang darf dann einseitig nicht auf Masse liegen. Entweder ist ein Eingriff im Empfänger notwendig oder es wird ein resonanter Zwischenkreis verwendet. Eine Peilanlage aus dieser Zeit zeigt Bild 2. Aus heutiger Sicht kann eine solche Anlage nur bewundert werden.

Moderne Adcock-Peil-Anlagen mit mehreren Vertikalantennen nutzen die Laufzeit einer Welle und

damit die Phase aus, um die genaue Richtung eines Senders zu bestimmen. Nur bei Phasengleichheit an zwei Antennen ist der Sender genau 90 Grad zur Ebene der Antennen. Heutige, automatisch arbeitende Peilanlagen können einen Sender-Ort bis auf wenige cm genau bestimmen und das in Sekundenschnelle. Über Google-Earth wird jeder



Standort eines Senders, rund um den Erdball,
Bild 2: Peilanlage für den LW- und MW Bereich von Telefunken – etwa 1920.

zentimetergenau angezeigt. Ein Signal von weniger als 1 Sekunde Dauer reicht aus, um den Standort des Senders zu bestimmen.

4. Richtwirkung zweier Vertikalantennen

Zwei Vertikalantennen gleicher Antennenhöhe h und dem Betrage nach gleichen Strömen I_0 erzeugen im Fernfeld in den Entfernungen r_1 und r_2 die Feldstärken E_1 und E_2

$$E_1 = 120 \pi I_0 h / r_1 \lambda \sin(\omega t - \alpha r_1) \quad (\text{Gl 10})$$

und

$$E_2 = 120 \pi I_0 h / r_2 \lambda \sin(\omega t - \beta r_2 + \delta). \quad (\text{Gl 11})$$

In großer Entfernung kann

$$r = (r_1 + r_2) / 2 \quad (\text{Gl 12})$$

gesetzt werden.

Die resultierende Feldstärke ist die Summe aus (Gl 10 und Gl 11). Ist der geometrische Abstand der beiden Vertikalantennen d und φ der Winkel zwischen Antennenebene und Empfangsort, wird der Effektivwert nach ein wenig Rechnung

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 2 \underline{E}_{0\text{eff}} \cos(\pi d / \lambda \cos \varphi - \delta/2) \quad (\text{Gl 13})$$

mit

$$\underline{E}_{0\text{eff}} = 120 \pi I_{\text{eff}} h / r \lambda. \quad (\text{Gl 14})$$

Die resultierende Feldstärke von 2 gleichen mit gleichem Strombetrag betriebenen Antennen hängt also vom Verhältnis d/λ und der Phasenverschiebung δ zwischen den beiden Antennenströmen ab.

4.1

Für gleichphasige Ströme $\delta = 0$ wird die resultierende Feldstärke

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 2 \underline{E}_{0\text{eff}} \cos(\pi d / \lambda \cos \varphi) \quad (\text{Gl 15})$$

4.2

Für gegenphasige Ströme $\delta = \pi$ wird die resultierende Feldstärke

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 2 \underline{E}_{0\text{eff}} \sin(\pi d / \lambda \cos \varphi). \quad (\text{Gl 16})$$

Ist der geometrische Abstand der Antennen $d \ll \lambda$, was meistens der Fall ist, dann kann (Gl 16) zu

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 2 \pi d / \lambda \cos \varphi \underline{E}_{0\text{eff}} \quad (\text{Gl 17})$$

vereinfacht werden.

Die (Gl 10 bis 17) zeigen in der Horizontalebene den Betrag der Feldstärke in Abhängigkeit vom Phasenwinkel und dem Winkel zum Empfangsort – also das Horizontale Richtdiagramm.

Wenn man oben auf die beiden Vertikalantennen schaut, wird wie der Lichtkegel bei einem Scheinwerfer, die Richtung durch den Phasenwinkel der beiden Antennenströme schwenkbar, in Richtung der Ebene beider Antennen oder senkrecht dazu.

Beispiel 4.1

Berechne das horizontale Richtdiagramm zweier Vertikalantennen für den Abstand $d = \lambda / 2$ und gleichphasigen Strömen. Wir fassen die Ergebnisse übersichtlich in einer Tabelle zusammen - (Gl 15).

δ in Grad	$\underline{E}_{\text{eff}} / \underline{E}_{0\text{eff}}$
0	0
30	0.42
60	1.41
90	2.00
120	1.41
150	0.42
180	0

Tab. 1 Relative Feldstärkewerte zweier gleicher Vertikalantennen bei gleichphasigen Strömen und einem geometrischen Abstand von $d = \lambda/2$

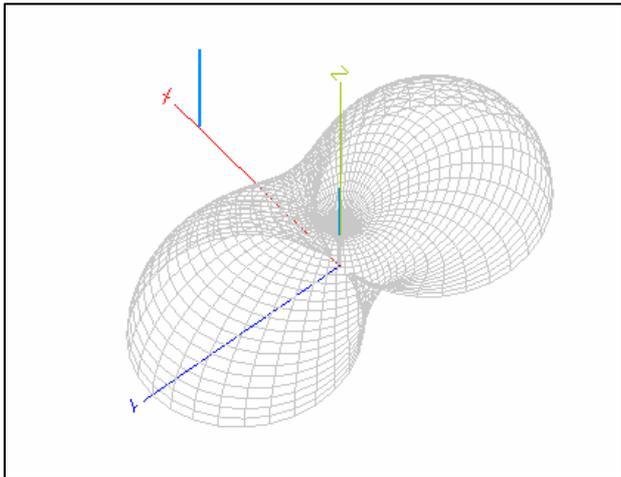


Bild 3: Richtdiagramm zweier gleichphasiger Vertikalstrahler mit $\lambda/2$ Abstand zwischen Antenne 1 und Antenne 2

Beispiel 4.2

Berechne das horizontale Richtdiagramm zweier Vertikalantennen für den Abstand $d = \lambda / 2$ und gegenphasigen Strömen. Wir fassen die Ergebnisse übersichtlich in einer Tabelle zusammen – (Gl 16)

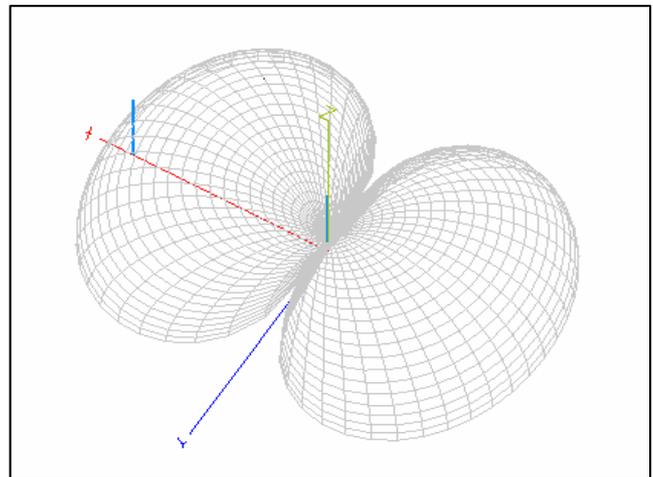
δ in Grad	$E_{\text{eff}} / E_{0\text{eff}}$
0	2.00
30	1.96
60	1.41
90	0
120	1.41
150	1.96
180	2.00

Tab. 2 Relative Feldstärkewerte zweier gleicher Vertikalantennen bei gegenphasigen Strömen und einem geometrischen Abstand von $d = \lambda/2$

Tab 2 zeigt, dass bei 90 Grad eine Nullstelle vorhanden ist, während in Tab. 1 bei 90 Grad das Maximum der Feldstärke erreicht wird. Die beiden Richtdiagramme stehen senkrecht aufeinander.

Wir können durch schieben der Phase der beiden Antennenströme das Richtdiagramm zwischen Null und 90 Grad in der Richtung ändern.

Bild 4: Richtdiagramm zweier gegenphasiger Vertikalstrahler mit $\lambda/2$ Abstand zwischen Antenne 1 und Antenne 2



Das horizontale Richtdiagramm ist symmetrisch zu der jeweiligen Strahlungsachse mit einem Vor-Rückverhältnis von 0 dB.

Will man eine Richtschärfe in einer bestimmten Richtung und ein größeres Vor-Rückverhältnis haben, müssen drei Vertikalantennen mit unterschiedlicher Phasenlage verwendet werden.

Analog zu den (Gl 13 bis 17) erhält man für 3 Vertikalantennen einen ähnlichen mathematischen Zusammenhang. Die Feldstärke erhöht sich im Maximum um den Faktor 4 der Einzelantenne.

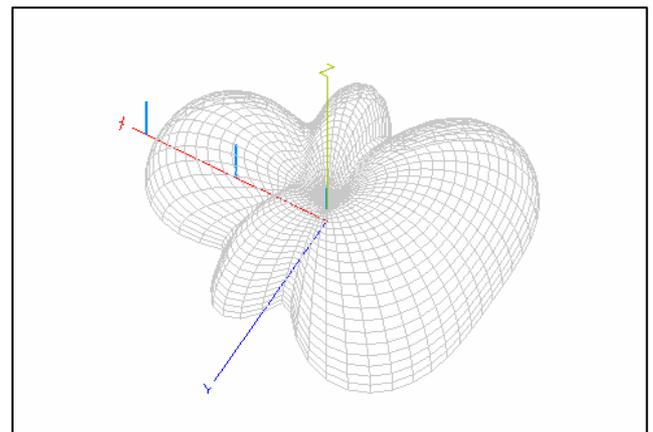


Bild 5: Richtdiagramm von 3 vertikalen Antennen gleicher Antennenhöhe über idealer Erde. Der Abstand der Antennen ist $d = \lambda/4$. Phasen der Antennen 1: $\delta = 0^\circ$, 2: $\delta = 180^\circ$, 3: $\delta = -90^\circ$

5. Die Rahmenantenne

Werden die beiden Vertikalantennen nach Abschnitt 4 an der Spitze durch einen horizontalen Draht ergänzt, der vom gleichen Antennenstrom durchflossen wird, erhält man eine Rahmenantenne.

Sind die Phasen in den beiden Vertikalantennen $\delta = 180$ Grad, ergibt sich entsprechend (Gl 16) die resultierende Feldstärke zu

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 2 \underline{E}_{0\text{eff}} \sin(\pi d / \lambda * \cos \varphi) \quad (\text{Gl 18})$$

φ ist hierbei wieder der horizontale Richtungswinkel.

Nehmen wir die Rahmenabmessungen klein gegen die Wellenlänge an, kann der Sinus in (Gl 18) durch den Winkel ersetzt werden. Nehmen wir außerdem an das der Rahmen aus mehreren Windungen w besteht, so erhalten wir

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 120 \pi \underline{I}_{\text{eff}} h w / r \lambda * \cos \varphi \quad (\text{Gl 19})$$

mit der Abkürzung

$$h w = 2 \pi A w / \lambda. \quad (\text{Gl 20})$$

Der Ausdruck nach (Gl 20) ist die wirksame Antennenhöhe eines Rahmens mit der Fläche A und der Anzahl der Windungen w . Die Gleichung gilt nur wenn die Fläche A kleiner als die Wellenlänge ist.

Die Richtwirkung des Rahmens ist abhängig vom horizontalen Richtungswinkel φ , ähnlich einer Spule im Magnetfeld.

Zeigt die Rahmenfläche in Richtung des Senders, so wird die Rahmenspannung ein Maximum. Steht dagegen die Rahmenfläche senkrecht zum Sender hat die Rahmenspannung im Idealfall den Wert Null.

Wird der Rahmen als Empfangsantenne benutzt wird die Spannung am Empfangsort

$$U_{\text{eff,max}} = E_{\text{eff}} * h w \quad (\text{Gl 21})$$

mit

$$\underline{E}_{\text{eff}} = 120 \pi \underline{I}_{\text{eff}} / r * (h / \lambda) \quad (\text{Gl 22})$$

bei Vernachlässigung der Bodenabsorption /3/.

Beispiel 5.1

Eine Magnetantenne habe einen Durchmesser von 120 cm bei 5 Windungen.

Für die Frequenz $f = 3.6$ MHz ist die wirksame Höhe der Antenne zu berechnen. Diese wird nach (Gl 20) mit der Fläche des Rahmens $A = 1.1309 \text{ m}^2$
 $h w = 2 \pi A w / \lambda = 2 \pi * 1.1309 \text{ m}^2 * 5 / 83.33 \text{ m} = 0.426 \text{ m}$.

Ist am Empfangsort eine Feldstärke von $E_{\text{eff}} = 50$ mV/m vorhanden, so ist die im Rahmen induzierte

Spannung nach (Gl 21) $U_{\text{eff,max}} = 50 \text{ mV/m} * 0.426 \text{ m} = 21.37 \text{ mV}$.

Der Empfangsrahmen hat damit die Rahmencharakteristik $U = 21.37 \text{ V} * \cos(\varphi)$ mit der Richtcharakteristik nach Bild 6.

Für $\varphi = 0$ - der Rahmen zeigt in Richtung des Senders - wird die Rahmenspannung ein Maximum. Das Minimum ist durch die oben genannte Trübung nicht exakt Null. Bei Rahmenantennen zu Empfangszwecken kann durch Mittenerdung die Trübung beseitigt werden.

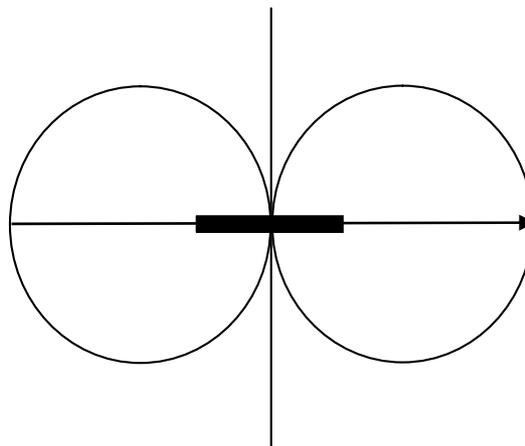


Bild 6: Horizontales Richtdiagramm einer Rahmenantenne mit Richtung für die maximale Feldstärke. Das Bild hat Ähnlichkeit mit einer Spule in einem Magnetfeld

6. Richtwirkung einer horizontalen Antenne über leitender Erde

Die Richtwirkung einer horizontalen Antenne wurde in /2/ ausführlich behandelt. Aus den Zusammenhängen erkennt man, dass sich die Richtwirkung mit zunehmender Dipolzahl erhöht, bei ungleichphasigen Dipolen in Richtung der durch die Dipole gelegten Ebene, bei gleichphasigen Dipolen senkrecht dazu.

6.1 Dipolreihe mit gleichphasigen Dipolen

Will man also senkrecht zur Ebene eines Dipols eine Strahlungsbündelung erhalten, muss man in diese Ebene mehrere gleichphasige Dipole legen. Jeder Einzeldipol erzeugt im Fernfeld an einem beliebigen Aufpunkt P eine Feldstärke, die sich durch Summation der Einzelfeldstärken zu einer Gesamtfeldstärke berechnet.

Es gilt für n Dipole

$$\underline{E}_{\text{ges}} = \underline{E}_0 + \underline{E}_1 + \underline{E}_2 + \underline{E}_3 + \dots + \underline{E}_n \quad (\text{Gl 23})$$

und mit der Einzelfeldstärke nach /2/ wird die Gesamtfeldstärke der Dipolreihe

$$\underline{E} = \underline{E}_0 \cos (\frac{1}{2} \pi \cos \delta) / \sin (\delta) * B \quad (Gl 24)$$

mit der Abkürzung

$$B = \sin (1/2 n \pi \cos \delta) : \sin (1/2 \pi \cos \delta) \quad (Gl 25)$$

Für $\delta = 90^\circ$ – senkrecht zur Richtung der Dipolreihe - wird die Gesamtfeldstärke ein Maximum mit dem Wert

$$E = E_0 * n \quad (Gl 26)$$

d.h. die Gesamtfeldstärke ist n mal größer als die Feldstärke eines einzelnen Dipols.

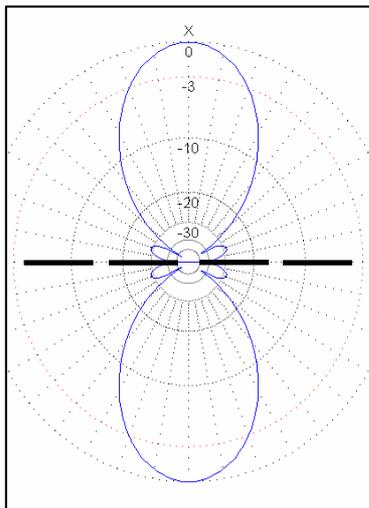


Bild 7: Horizontales Richtdiagramm einer Dipolreihe mit 4 gleichphasigen Dipolen

7. Dipolgruppe

Fügt man n parallele, gleichphasige Dipole zusammen, so entsteht eine Dipolgruppe. Die resultierende Feldstärke wird jetzt vom Vertikalwinkel δ und dem Horizontalwinkel φ abhängig.

Wird der Abstand der Dipole zu $d = \lambda/2$ gewählt, dann ist für $\delta = 90^\circ$ die Feldstärke

$$E = E_0 \sin (\frac{1}{2} n \pi \sin \varphi) / \sin (\frac{1}{2} \pi \varphi) \quad (Gl 27)$$

nur noch vom Horizontalwinkel φ abhängig. Die maximale Feldstärke tritt bei $\varphi = 0^\circ$ auf und ist

$$\underline{E}_{\max} = n \underline{E}_0. \quad (Gl 28)$$

Die größte Feldstärke erhält man senkrecht zu der durch die Dipolgruppe gelegten Fläche.

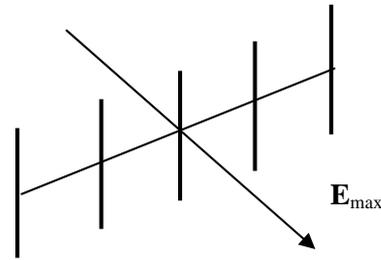


Bild 8: Dipolgruppe bestehend aus 5 parallelen Dipolen mit Richtung der maximalen Feldstärke

8. Dipolfelder - Arrays

Werden Dipolreihe und Dipolgruppe zusammen geschaltet, entsteht ein Dipolfeld. Die resultierende Feldstärke berechnet sich aus der Kombination der (Gl 24 , Gl 27).

Der für uns wichtige Zusammenhang über den Betrag der maximalen Feldstärke tritt bei $\varphi = 0$ und $\delta = 90^\circ$ auf und ist

$$E_{\max} = n m E_0 \quad (Gl 28)$$

Die maximale Feldstärke ist n mal m größer als die Feldstärke des Einzeldipols.

Beispiel 8.1

Ein Dipolfeld besteht aus 4 Dipolen in Reihe und 4 Dipolen in der Gruppe mit einem Abstand von $\lambda/2$. Die maximale Feldstärke wird nach (Gl 28)

$$E_{\max} = 4 * 4 * E_0 = 16 E_0$$

und hat am Empfangsort den 16 fachen Feldstärke-Wert eines Einzeldipols, immerhin 4 S-Stufen.

9. Zwei Dipole

Kombiniert man 2 Dipole und versetzt diese geometrisch um 90° , haben wir die Funktion eines Goniometer. Das Prinzip zeigt Bild 9. Der Feldvektor \underline{E} wird durch die 90° Geometrie in zwei orthogonale Komponenten $A \sin(\alpha)$ und $A \cos(\alpha)$ zerlegt, die in der Suchspule entsprechende Spannungen induzieren und als Polarkoordinaten auf einem Oszillographen-Schirm in XY Darstellung angezeigt werden können.

α ist der Winkel zwischen einer Bezugsachse und dem Radiusvektor zum Sender-Ort. Durch die Mehrdeutigkeit muss, wie beim Rahmen, die Seite bestimmt werden.

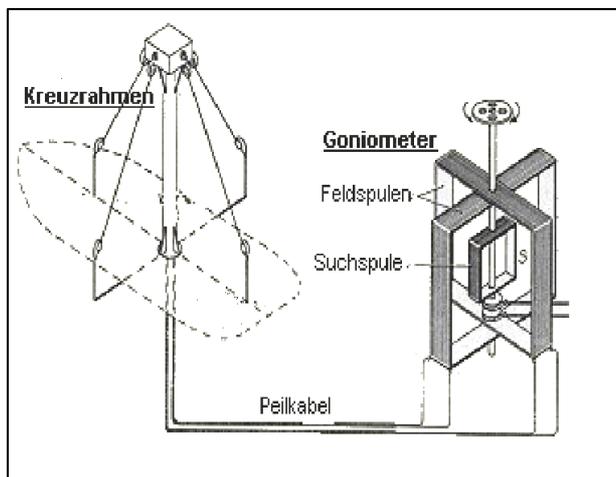


Bild 9: Prinzip eines Goniometer - Peilers

10. Strahlungskopplung

Reflektoren, die nur strahlungsgekoppelt sind, werden verwendet um die Strahlungscharakteristik von Antennen zu beeinflussen. Durch einen Reflektor kann man die Richtschärfe in eine bestimmte Richtung verstärken. Als Reflektoren eignen sich ungespeiste Antennen wie z.B. Dipole.

Der Strom in dem nichtgespeisten Antennenteil kann ähnlich wie beim Transformator für Hochfrequenz /9, 10/ berechnet werden. Man erhält ein Übersetzungsverhältnis mit komplexen Anteil. Die Beschreibung nach den Methoden der Vierpol- oder S-Parameter Theorie bringt wichtige Erkenntnisse.

Für die mathematische Berechnung sei auf /9/ und /11/ verwiesen.

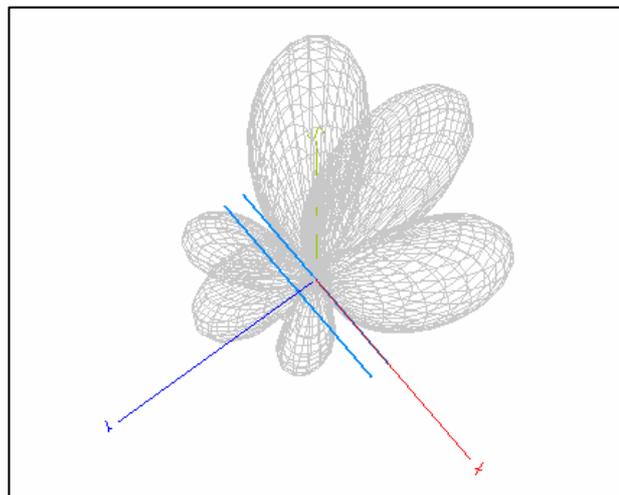


Bild 10: Richtdiagramm eines Dipols mit Reflektor im Abstand von 10 m bei der Frequenz $f = 3.6$ MHz.

Solche Strahlungskopplungen können auch durch die in der Nähe der Antenne befindlichen metallischen Gegenstände auftreten, wie Dachrinnen, Regenableitungen und elektrischen Leitungen.

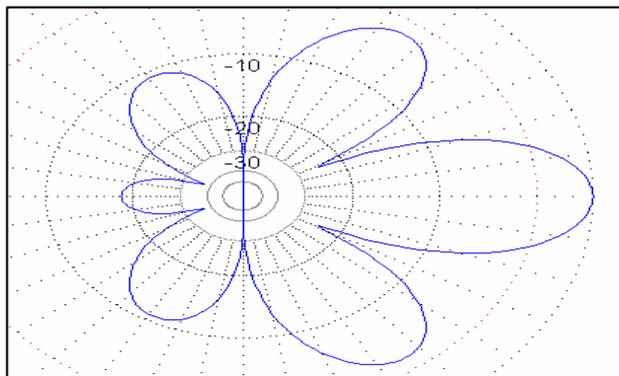


Bild 11: Horizontal-Diagramm eines Dipols mit Reflektor im Abstand von $a = 10$ m bei $f = 3.6$ MHz und Resonanz beider Strahler

Die Verstärkung in Vorzugsrichtung ist 3 dB, mit dem Nachteil der dabei entstehenden Nebenkaulen, siehe Bild 11.

Zusammenfassung:

Durch phasenrichtige Zusammenschaltung mehrerer Antennen kann eine bevorzugte Strahlungsrichtung erzeugt werden. Wird ein Feld von Dipolen verwendet, wird die resultierende Feldstärke des Einzeldipols um das Produkt aus der Anzahl der verwendeten Antennen größer. Ist entsprechender Platz vorhanden, kann mit solchen Anordnungen eleganter DX Verkehr durchgeführt

werden. Wird die Phase über einen Phasenschieber kontinuierlich veränderlich /5/, so kann die Strahlungskeule um 360° geschoben werden, ohne die Antenne mechanisch drehen zu müssen.

Mittels moderner SDR Technik kann die Antennenkeule automatisch über Stellmotoren, je nach Standort, in Sekundenschnelle auf die Gegenstation optimal ausgerichtet werden. Die bei der Peilung unerwünschte Trübung wird genutzt um anrufenden Stationen aus einer anderen Richtung eine Chance zum QSO zu geben.

Walter, DL3LH
schau@rs-systems.info
www.rs-systems.info



Literatur:

- /1/ **„Antennen Tuning “, www.ham-on-air.de**
- /2/ **„Die Langdraht Antenne “, www.ham-on-air.de**
- /3/ **„ Die Antenne macht die Musik“, www.ham-on-air.de**
- /4/ **„ Pi – Filter mit Verlusten “, www.ham-on-air.de**
- /5/ **„ Passive Netzwerke zur Anpassung “, www.ham-on-air.de**
- /6/ **„ Theoretische Grundlagen von Endstufen, Teil I “ , www.ham-on-air.de**
- /7/ **„ Das T-Filter “ , www.ham-on-air.de**
- /8/ **„Antennen Messtechnik “, www.ham-on-air.de**
- /9/ **„Gekoppelte Spulen “, www.ham-on-air.de**
- /10/ **„ Gekoppelte Spulen und Kreise “, www.ham-on-air.de**
- /11/ **„Theoretische Elektrotechnik, Grundlagen “, Küpfmüller, Springer Verlag**

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.