

Schutz von Personen

Kapitel 1.12.1
Frage TL103

Kapitel 1.12.2
Fragen TL201 bis TL216

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/953>



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

Michael Funke – DL4EAX





Berechnung von ERP und EIRP

TL103

TL201

TL211

TL214

TL216

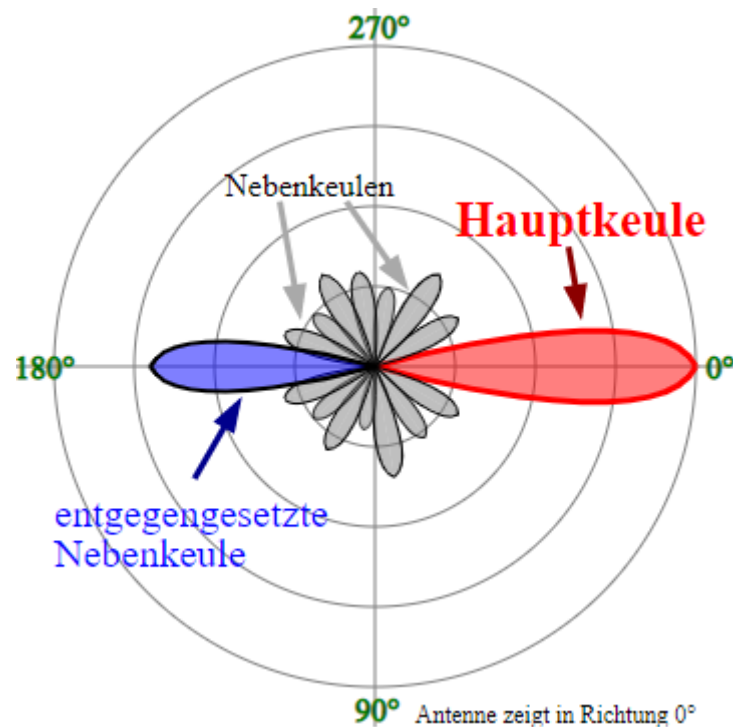
<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/954/>

Der Gewinn (g)

Der Antennengewinn (g) sagt aus um wie viel höher die Strahlungsleistung im Vergleich zur Sendeleistung ist. Die Erhöhung wird durch eine Bündelung erreicht.

Horizontaldiagramm

Englisch:
Azimuth Diagram



Der Gewinn (g)

Der Gewinn (g) wird in dB angegeben und hat ein Bezugsmaß. Wir beziehen uns auf einen Dipol (dBd) oder den isotropen Kugelstrahler (dBi).

Zur Berechnung des ERP nehmen wir den Gewinn in dBd.
Zur Berechnung des EIRP nehmen wir den Gewinn in dBi.

Die Formelsammlung beinhaltet typische Antennengewinne bezogen auf den isotropen Kugelstrahler.

Antenne	Gewinn in dBi	Gewinnfaktor g
Dipol	2,15	1,64
$\lambda/4$ Vertikal	5,15	3,28

Der Gewinnfaktor (G)

Da wir mit dem Gewinn (g) in dB nicht direkt rechnen können, rechnen wir ihn in den Gewinnfaktor (G) um.

In Gegensatz zum Gewinn (g) kann man ihn direkt mit der Sendeleistung multiplizieren.

Der Gewinnfaktor (G) ist das Verhältnis von Strahlungsleistung (P_2) zu Sendeleistung (P_1).

$$G = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{\text{Strahlung}}}{P_{\text{Sender}}}$$

Zum Beispiel: $P_2 = P_1 \cdot G = 5 \text{ Watt} \cdot 10 = 50 \text{ Watt}$.

Wir müssen also aus dem Gewinn (g) zuerst den Gewinnfaktor (G) berechnen.

Umrechnung von g nach G

$$g = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}$$

oder

$$g = 10 \cdot \lg G$$

Umgestellt:

$$G = 10^{\frac{g}{10}}$$

oder

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{g}{10}}$$

ERP

Effective Radiated Power

- Der ERP ist der Wert der effektiven Strahlungsleistung bezogen auf einen Halbwellen-Dipol.
- $P_{ERP} = (P_{Sender} - P_{Verluste}) \cdot G_{Antenne\ Dipol}$
- Mit diesem Wert wird beim Personenschutz **nicht** gerechnet.

Berechnung des ERP

TL103

Ein Sender ist mittels eines kurzen Koaxialkabels an eine Kollinear Antenne mit 6 dB Gewinn angeschlossen. Wenn die der Antenne zugeführte Ausgangsleistung auf 5 W verringert wird, treten keine Störungen der Hi-Fi-Anlage des Nachbarn auf. Die Strahlungsleistung entspricht dabei einer ERP von ...

Gegeben:

6 dBd Gewinn (g)

5 Watt Sendeleistung

Formeln:

$$G = 10^{\frac{g}{10}}$$

$$P_{ERP} = (P_{Sender} - P_{Verluste}) \cdot G_{Antenne\ Dipol}$$

Rechenweg:

$$G = 10^{\frac{g}{10}} = 10^{\frac{6\text{ dBd}}{10}} = 3,981$$

$$P_{ERP} = P_{Sender} \cdot G = 5\text{ W} \cdot 3,981 = 19,9\text{ W}$$

EIRP

Equivalent Isotropic Radiated Power

- Der EIRP ist der Wert der effektiven Strahlungsleistung bezogen auf den isotropen Kugelstrahler.
- $P_{EIRP} = (P_{Sender} - P_{Verluste}) \cdot G_{Antenne\ isotrop}$
- Der isotrope Kugelstrahler ist rein theoretischer Natur. Man nimmt hier eine gleichmäßige Verteilung der Antennenstrahlung an. Das kann man sich wie die Abstrahlung von Licht bei der Sonne vorstellen.
- $P_{EIRP} = P_{ERP} + 2,15\text{ dB}$
- $P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 1,64$

EIRP

Mit der Berechnung der äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (Englisch: **E**quivalent **I**sotropically **R**adiated **P**ower - **EIRP**) können wir erkennen, ob wir unsere Station ohne Selbsterklärung oder Standortbescheinigung nutzen können.

Erst bei mehr als **10 Watt EIRP** muss eine Selbsterklärung erstellt werden.

Berechnung EIRP

Gegeben sind ein Antennengewinn (g) von 7 dBd und eine Ausgangsleistung von 0,5 Watt. Die Kabelverluste betragen 1,5 dB. Welcher EIRP wird von der Antenne abgestrahlt?

Zwischenschritt:

Wenn der Antennengewinn (g) in dBd also über den Dipol bezogen angegeben wird, müssen wir daran denken den „Gewinn“ für den isotropen Kugelstrahler (2,15 dB) hinzurechnen.

Hier also: 7 dBd + 2,15 dB = 9,15 dBi.

Wir können die Kabelverluste direkt verrechnen. Hier also 9,15 dBi - 1,5 dB = 7,65 dBi.

Danach berechnen wir P_2 , also stellen wir zuerst die Formel um:

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{g}{10}} \quad \text{wird zu} \quad P_2 = P_1 \cdot 10^{\frac{g}{10}}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ Watt} \cdot 10^{\frac{7,65 \text{ dBi}}{10}} = \underline{\underline{2,91 \text{ Watt}}}$$

Berechnung der Sendeleistung

Gegeben ist eine $\lambda/4$ -Vertikalantenne, die Kabelverluste sind zu vernachlässigen. Wieviel Sendeleistung kann benutzt werden ohne **10 Watt EIRP** zu übersteigen?

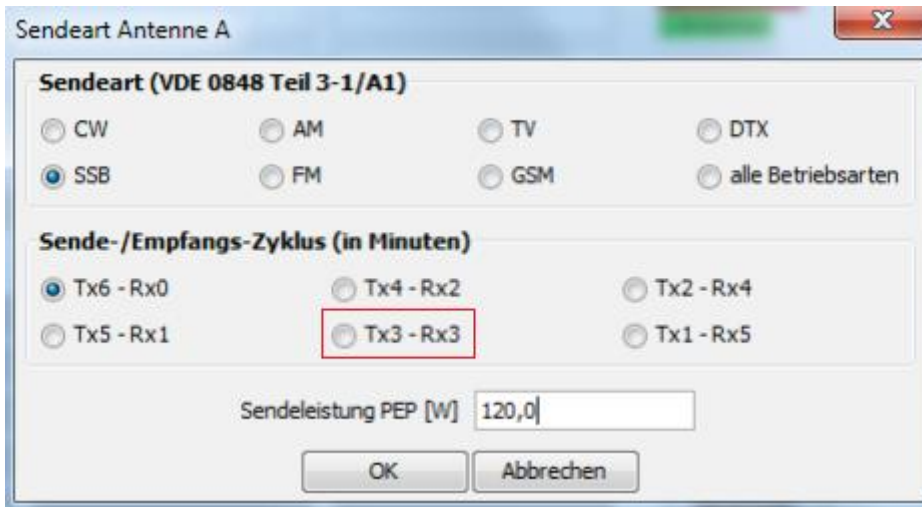
Der isotrope Antennengewinnfaktor (G_i) für eine $\lambda/4$ -Vertikalantenne liegt laut Formelsammlung bei 3,28. Das mag zwar etwas hoch gegriffen sein, rechnen wir aber trotzdem damit.

$$P_{EIRP} = P_{Sender} \cdot G_{Antenne\ isotrop}$$

$$P_{Sender} = \frac{P_{EIRP}}{G_{Antenne\ isotrop}} = \frac{10\ Watt}{3,28} = 3,05\ Watt$$

Aber wir machen ja keine Daueraussendungen

Da Funkamateure im Gegensatz zu Rundfunksendern keine Daueraussendungen tätigen, dürfen wir bei Berechnungen zum **Personenschutz** einen **Mittelwert der Ausgangsleistung, gemittelt über ein Intervall von 6 Minuten**, annehmen. Praxistauglich sind 3 Minuten Senden und 3 Minuten hören.



Da führt bei der Berechnung mittels Software zu einer faktischen Halbierung der Sendeleistung.



Berechnung der Feldstärke

TL202

TL209

TL213

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/955/>

Feldstärke bei Freiraumausbreitung*

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PEIRP}}{d} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PA \cdot Gi}}{d}$$

d = Abstand in m

E = Elektrische Feldstärke in V/m

* Freiraumausbreitung wird ab $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$ angenommen.

Im Nahfeld kann es zu starken **Überhöhungen** des elektrischen und magnetischen Feldes kommen weil die elektrische und die magnetische Feldstärke im Nahfeld **keine konstante Phasenbeziehung** zueinander aufweisen.

Das gilt insbesondere für **Antennen die im Verhältnis zur Wellenlänge klein** sind, also z.B. Kurzwellenmobilantennen und magnetische Loops.

Berechnung der Feldstärke

Eine Amateurfunkstelle sendet in FM mit einer äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von 100 W.

Wie groß ist die Feldstärke im freien Raum in einer Entfernung von 100 m?

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PEIRP}}{d} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PERP \cdot 1,64}}{d} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot 100\text{ W} \cdot 1,64}}{100\text{ m}} = \frac{70,14\text{ V}}{100\text{ m}} = 0,7\text{ V/m}$$

Sicherheitsabstand bei einer Feldstärke von 28 V/m*

* Grenzwert für

TL203

TL204

TL205

TL206

TL207

TL208

TL210

TL215

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/956/>

Sicherheitsabstand* bei 28 V/m

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PEIRP}}{d} \rightarrow \text{Umstellen nach } d$$

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PEIRP}}{E} \rightarrow E \text{ durch den Maximalwert } 28 \text{ V/m ersetzen}$$

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PEIRP}}{28 \text{ V/m}}$$

* Der Sicherheitsabstand muss von jedem Punkt der Antenne eingehalten werden!

Sicherheitsabstand bei 28 V/m

Gegeben:

Band und Mode: 2m und FM

Grenzwert: 28 V/m

Yagi-Antenne mit einem Gewinn von 11,5 dBd und 1,5 dB Kabeldämpfung

Sendeleistung: 75 W

Gesucht: Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung der Antenne

Antennengewinn isotrop (g_i): 11,5 dBd + 2,15 dB - 1,5 dB = 12,15 dBi

$$G_i = 10^{\frac{g_i}{10}} = 10^{\frac{12,15 \text{ dBi}}{10}} = 16,4$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot G_i = 75 \text{ Watt} \cdot 16,4 = 1.230 \text{ Watt}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot 1.230 \text{ Watt}}}{28 \text{ V/m}}$$

$$d = 6,86 \text{ m}$$

Berechnung der Sendeleistung

Gegeben: Rundstrahlantenne mit 6 dB Gewinn über Dipol, Kabeldämpfung vernachlässigbar, Grenzwert für den Personenschutz 28 V/m, Sicherheitsabstand 5 m

Gesucht: Maximale Sendeleistung

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot PEIRP}}{28 \text{ V/m}} \quad \text{umstellen zu} \quad P_{EIRP} = \frac{(28 \text{ V/m} \cdot d)^2}{30\Omega}$$

$$P_{EIRP} = \frac{(28 \text{ V/m} \cdot 5\text{m})^2}{30\Omega} = 653,3 \text{ Watt}$$

$$P_{EIRP} = P_{\text{Sender}} \cdot G_{\text{Antenne isotrop}} \quad \text{umstellen zu} \quad P_{\text{Sender}} = \frac{P_{EIRP}}{G_{\text{Antenne isotrop}}}$$

$$G_i = 10^{\frac{g_i}{10}}$$

$$P_{\text{Sender}} = \frac{P_{EIRP}}{\frac{g_i}{10^{10}}} = \frac{653,3 \text{ Watt}}{\frac{8,15 \text{ dBi}}{10}} = \frac{653,3 \text{ Watt}}{6,53} = \underline{100 \text{ Watt}}$$

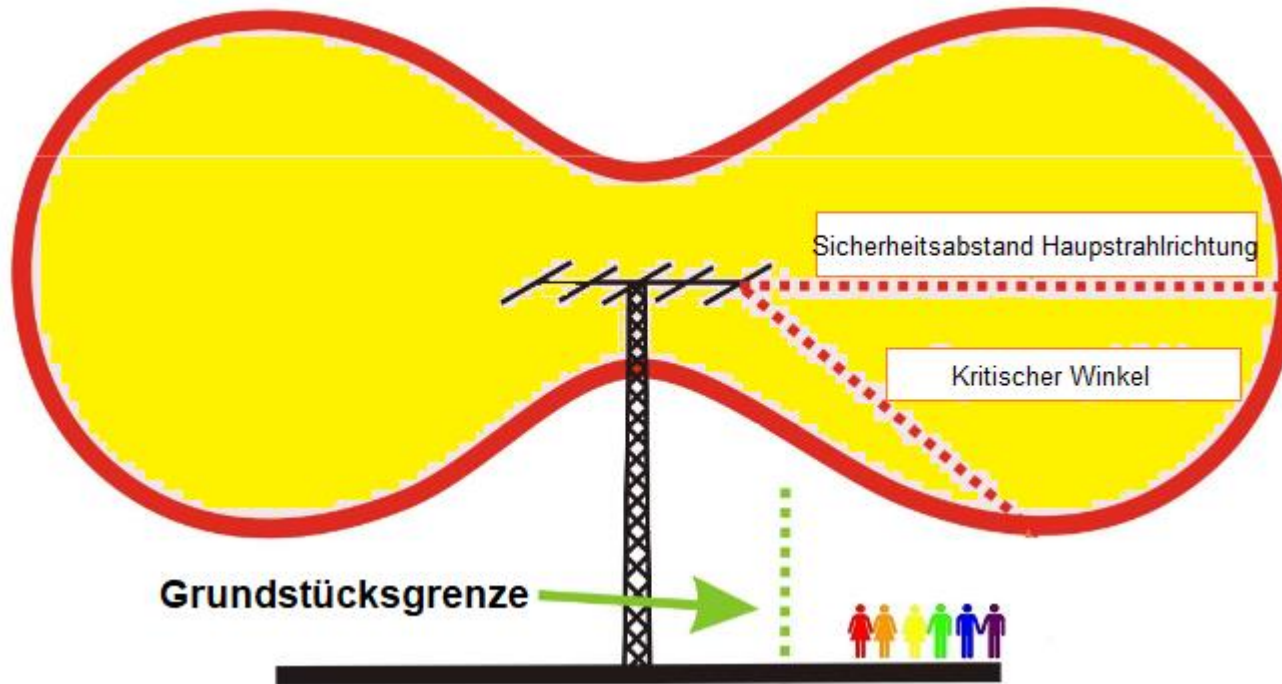


Winkeldämpfung

TL212

Winkeldämpfung

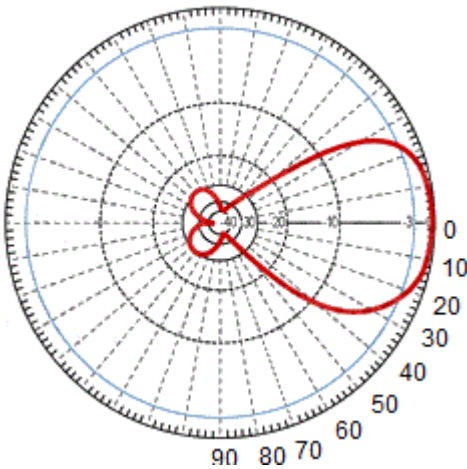
Der "kontrollierbare Bereich" ist der Bereich, in dem der Funkamateur über den Aufenthalt von Personen bestimmen kann oder in dem aufgrund der tatsächlichen Verhältnisse der Aufenthalt ausgeschlossen ist. Da Menschen normalerweise nicht höher als 2m sind, nicht ständig auf dem Trampolin rumspringen oder im Garten auf Leitern steigen, darf man den Luftraum des Nachbarn als "kontrollierbaren Bereich" betrachten. Die Höhe ab Boden ist nicht genau definiert, 3 bis 5m werden in der Praxis angenommen.



Der „kritische Winkel“ beschreibt die Stelle, an der das Richtdiagramm einer Antenne nach unten hin am ausgeprägtesten ist. Die Winkeldämpfung an dieser Stelle ist entscheidend für uns.

Winkeldämpfung

Den kritischen Winkel kann man dem **vertikalen Antennendiagramm** entnehmen. Dieses wird auch Elevationsdiagramm genannt. In englischsprachiger Fachliteratur wird der Begriff „Elevation Plane“, kurz E-Plane genutzt.



Bildquelle: Michael Funke - DL4EAX

Beispiel:

Nehmen wir einen berechneten Sicherheitsabstand von 20m in Hauptstrahlrichtung (0 Grad) an. Bei einem kritischen Winkel von 35° tritt eine Winkeldämpfung von 6 dB auf. 6 dB entspricht einem Spannungsverhältnis von 2, siehe Formelsammlung.

Die elektrische Feldstärke wird in V/m gemessen, also gilt: Halbe Spannung, halbe Entfernung.

Der Sicherheitsabstand verringert sich also auf 10m.



Das war schon alles

Wer mehr wissen möchte, frage nach

Initiales Autorenteam:

Michael Funke - DL4EAX



Änderungen durch:

Hier bitte Ihren Namen eintragen, wenn Sie Änderungen vorgenommen haben.

Sie dürfen:

Teilen: Das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten.

Bearbeiten: Das Material verändern und darauf aufbauen.

Unter folgenden Bedingungen:

Namensnennung: Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.

Nicht kommerziell: Sie dürfen das Material nicht für kommerzielle Zwecke nutzen.

Weitergabe unter gleichen Bedingungen: Wenn Sie das Material verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.

Der Lizenzgeber kann diese Freiheiten nicht widerrufen solange Sie sich an die Lizenzbedingungen halten.

Details: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>