

Unter der Voraussetzung, die Fernfeldbedingung sei erfüllt (siehe Skriptum VU „Wellenausbreitung“, Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik, bzw. Skriptum dieser Lehrveranstaltung, Kap. 5.2), kann für einen Immissionsbeitrag bei einer bestimmten Frequenz an einem Messpunkt im Raum die **Ersatzfeldstärke** bestimmt werden.

Mit einer Breitband-Richtantenne (Logarithmisch-Periodische Dipolantenne) und einem Spektrumanalysator wird ein Übersichtsspektrum erstellt. In der Praxis sind dabei meist zwei sehr unterschiedliche Szenarien möglich:

**Szenario A**, (kommt nicht häufig vor)

*Nur aus einer einzigen Raumrichtung und nur bei einer einzigen Frequenz, bzw. in einem einzigen schmalen Frequenzintervall sind Leistungen elektromagnetischer Wellen zu beobachten. Ihre Intensität überwiegt im gesamten relevanten HF-Frequenzbereich von 1MHz bis 300GHz die Summe der Intensitäten aller anderen spektralen Komponenten aus allen anderen Einfallsrichtungen um mindestens einen Faktor 10. Nach dieser groben Abschätzung kann man mit etwa 10% Fehler mit der Richtantenne die Ersatzfeldstärke aus zwei Messungen in V- und H-Polarisation bestimmen. Meist tritt dieser Fall in unmittelbarer Nähe einer Mobilfunkbasisstation oder eines Modem-Sticks auf. (Achtung: Fernfeldbedingung!!)*

$$E = Uk \quad E: \text{elektr. Feldstärke, } U: \text{gemessene Antennenspannung an 50 Ohm, } k: \text{Antennenfaktor}$$

$$E_{\text{Ersatz}} = \sqrt{E_H^2 + E_V^2} \quad \text{Ersatzfeldstärke}$$

$$\left(\frac{E_{\text{Ersatz}}}{E_L}\right)^2 \leq 1 \quad \text{Beurteilung des Expositionsverhältnisses}$$

**Szenario B)**

Es gibt bei mehreren Frequenzen und aus mehreren Raumrichtungen (auch aus mehreren Raumrichtungen bei ein und derselben Frequenz, Mehrwegeausbreitung, Reflexionen) Immissionen elektromagnetischer Wellen. Mit einer „Quasi-isotropen“ Breitbandantenne, z.B. einer Bikonischen Dipolantenne, kommt man für jeden Frequenzbereich „i“ mit drei aufeinanderfolgenden Messungen mit drei orthogonalen räumlichen Ausrichtungen „x, y, z“ zur Ersatzfeldstärke.

|                 |  |
|-----------------|--|
| $E_i = U_i k_i$ | $E_i$ : elektr. Feldstärke, im entsprechenden Frequenzbereich „i“<br>$U_i$ : gemessene Antennenspannung an 50 Ohm,<br>$k_i$ : Antennenfaktor |
|-----------------|--|

|  |  |
|--|--|
| $E_{\text{Ersatz},i} = \sqrt{E_{x,i}^2 + E_{y,i}^2 + E_{z,i}^2}$ | Ersatzfeldstärke für Frequenzbereich „i“ |
|--|--|

|   |  |
|---|--|
| $\sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 = \left(\frac{E_1}{E_{L,1}}\right)^2 + \left(\frac{E_2}{E_{L,2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{E_n}{E_{L,n}}\right)^2 \leq 1$ | Beurteilung des Gesamt-expositionsquotienten<br>$E_{L,i}$ : Referenzgrenzwerte |
|---|--|

### Konzept der EIRP – Equivalent Isotropically Radiated Power

Bei Kenntnis aller topografischer, geometrischer und hochfrequenztechnischer Details einer Expositionssituation kann man mit Hilfe des EIRP-Konzepts mit einfachen Mitteln die elektrische Feldstärke bei einer Frequenz wie folgt abschätzen:

#### Voraussetzungen:

Sichtverbindung zwischen HF-Quelle und Ort der Exposition (**LOS – Line Of Sight**),  
Ungestörte erste Fresnelzone (ungestörte, beugungsfreie Freiraumausbreitung im Fresnel-Ellipsoid),  
Fernfeldbedingung erfüllt (Rayleigh-Distanz),  
Antennenabmessungen bekannt,  
Richtdiagramm der Antenne, sowie maximaler Gewinn,  $G(\vartheta, \varphi)_{\text{MAX}}$ , bekannt,  
In die Antenne eingespeiste HF-Leistung  $P_{\text{HF}}$  bekannt.

*Rayleigh-Distanz*, ( $D$  ist die größte Antennenabmessung):

$$r_R = \frac{2D^2}{\lambda} (+\lambda)$$

bzw. wie in Kap. 5.2

$$r_R = \frac{2D^2}{\lambda} \left( + \frac{\lambda}{2} \right)$$

*Radius des Fresnel-Ellipsoids*, ( $d$  ist die Distanz zwischen Antenne und Messpunkt):

$$r_{FR} = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}}$$

Die Leistung, die eine Richtantenne mit dem Gewinnfaktor  $G(\vartheta, \varphi)$  in eine Raumrichtung abstrahlt, entspricht der Leistung eines (fiktiven) Isotropstrahlers, der mit der tatsächlichen HF-Leistung multipliziert mit dem Gewinnfaktor für diese Richtung gespeist wird.

$$EIRP = G(\vartheta, \varphi) P_{\text{HF}}$$

**EIRP** ist eine fiktive Leistung, mit der sich im Fall der ungestörten Freiraumausbreitung sehr einfach die Abnahme der elektrischen Feldstärke, bzw. der Leistungsdichte bei zunehmender Entfernung von der Quelle berechnen lässt. Diese Abnahme ist allerdings keine Dämpfung der hochfrequenten Welle durch Absorption auf dem Ausbreitungsweg von Sendeantenne zu Messantenne, sondern beschreibt lediglich die Tatsache, dass die vom fiktiven Isotropstrahler abgegebene HF-Leistung durch eine Kugeloberfläche tritt auf der sich der Empfangsort, bzw. hier der Messstandort befindet. Je größer der Kugelradius, desto kleiner schließlich die Leistungsdichte  $S$ .

(Siehe dazu auch die in etwas anderer Formulierung beschriebene „Streckendämpfung“ in VU „Wellenausbreitung“, Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik)

## Beispiel: Mobilfunk-Basisstation, $f = 950 \text{ MHz}$

Die Antenne hat ein Vertikal-Strahlungsdiagramm, das um  $5^\circ$  nach unten geneigt ist (mechanischer „Downtilt“)

Höhe (= größte Abmessung) der Sektorantenne:  $D = 2 \text{ m}$

Wellenlänge:  $\lambda = 0,32 \text{ m}$

Rayleigh-Distanz:  $r_R = 25,6 \text{ m}$

Radius des Fresnel-Ellipsoids:  $r_{FR} = 2,8 \text{ m}$

Maximaler Gewinn über dem Isotropstrahler:  $G(\vartheta, \varphi)_{MAX} = 17 \text{ dBi}$

(entspricht Faktor 50,12 bezogen auf Leistungen)

Vertikaldiagramm, max. Gewinn bei  $\vartheta = -5^\circ$  „Downtilt“,  $\varphi = 0^\circ$

in die Sendeantenne eingespeiste HF-Leistung:  $P_{HF} = 10 \text{ W}$

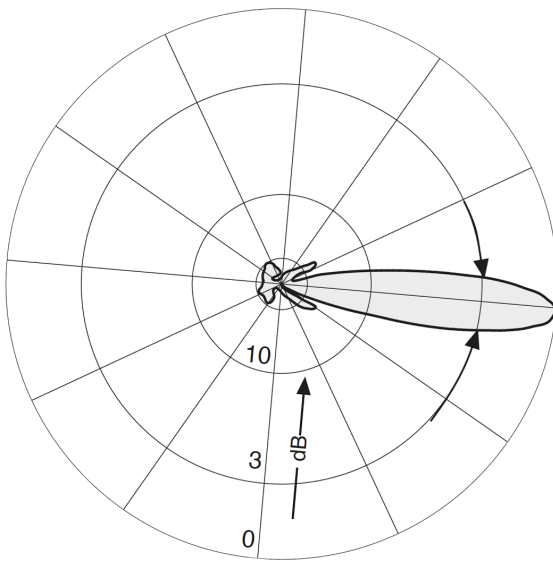
äquivalente Leistung des fiktiven Isotropstrahlers:  $EIRP = 501,2 \text{ W}$

Distanz Antenne – Messpunkt:  $r = 100 \text{ m}$

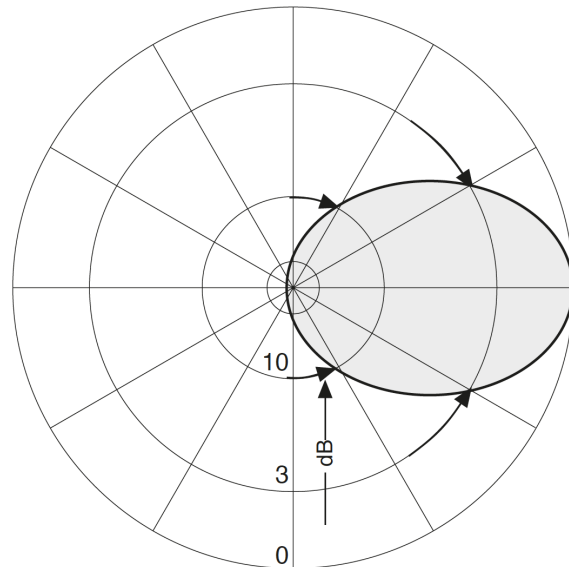
Kugeloberfläche:  $F = 125.663,7 \text{ m}^2$

Leistungsdichte:  $S = 0,00388 \text{ W/m}^2$

Elektrische Feldstärke:  $E = 1,226 \text{ V/m}$



Links: Vertikaldiagramm ( $G(\vartheta, 0)$  relative Skalierung) einer Mobilfunk-Sektorantenne mit  $5^\circ$  Downtilt.



Rechts: Horizontaldiagramm  $G(-5^\circ, \varphi)$ .

Andere Richtungen des Vertikaldiagramms:

Gewinn bei  $\vartheta = -14^\circ$ ,  $\varphi = 0^\circ$ :  $G = G(\vartheta, \varphi)_{MAX} - 3 \text{ dB} = 14 \text{ dBi}$ ,  $EIRP = 251,2 \text{ W}$ ,  $E = 0,868 \text{ V/m}$

Gewinn bei  $\vartheta = -18,5^\circ$ ,  $\varphi = 0^\circ$ :  $G = G(\vartheta, \varphi)_{MAX} - 10 \text{ dB} = 7 \text{ dBi}$ ,  $EIRP = 50,1 \text{ W}$ ,  $E = 0,388 \text{ V/m}$