

## Vereinfachte Berechnung elektromagnetischer Größen vom Sender bis in den Empfänger

Eine elektromagnetische Welle breitet sich von ihrer Quelle, der Antenne, im freien Raum kugelförmig mit Lichtgeschwindigkeit aus. Bei einem theoretischen Kugelstrahler wäre die Leistungsflussdichte auf jedem Punkt einer Kugel gleich, bei realen Antennen ist sie entsprechend der Strahlungscharakteristik verschieden und folgt dem Antennengewinn in der jeweiligen Betrachtungsrichtung.

Nimmt man an, dass der Sender nur einen sehr kurzen Impuls abgibt, würde sich die Energie auf einer mit Lichtgeschwindigkeit wachsenden Kugelschale verteilen und damit pro Flächeneinheit immer kleiner werden. Das heißt, die Energie oder Leistungsflussdichte  $S$  pro  $m^2$  verhält sich proportional zu  $1/d^2$  ( $d$  = Entfernung in m) und nicht, wie man vielleicht auch vermuten könnte, mit  $1/d^3$  (also keine Verteilung der Leistung auf das Volumen der Kugel mit dem Radius  $d$ ).

Dies gilt allerdings nur im Fernfeld, wenn sich eine lineare elektromagnetische Welle gebildet hat, die nicht mehr den direkten Einflüssen der Antennengeometrie unterliegt.

Dann gilt auch:  $\mathbf{S} = \mathbf{E} * \mathbf{H}$

$S$  ist die Strahlungsdichte oder Leistungsflussdichte in  $W/m^2$ ,

$E$  ist die elektrische Feldstärke in  $V/m$  und

$H$  ist die magnetische Feldstärke in  $A/m$  ( $E, H$  Effektivwerte; wenn Spitzenwerte, dann  $S_{eff} = \frac{1}{2} * E * H$ ).

$$S_e = \frac{P_s * G_s}{4 * \pi * d^2}$$

$P_s$  ist die Senderleistung in  $W$ ,

$G_s$  ist der Gewinn der Sendeantenne über Kugelstrahler abzüglich der Kabel- und Kupplungsdämpfung,

$S_e$  ist die auf der Kugeloberfläche entsprechend  $G_s$  und  $d$  verteilte  $P_s$ .

$S_e$  wird oft mit der Strahlungsleistung (alt)  $S_L$  eines Senders verwechselt:  $S_L$  (in Watt) =  $P_s * G_{sD}$ .  
 $G_{sD}$  = Gewinn über Halbwellendipol.

$E$  und  $H$  sind über den Wellenwiderstand  $Z_o = 120 * \pi \Omega$  des freien Raumes miteinander verbunden:

$$Z_o = E/H \quad \rightarrow \quad S = E^2 / Z_o \quad \rightarrow \quad E \text{ ist proportional } \sqrt{S} \text{ und folgt damit nur } 1/d.$$

Bei Empfangsantennen definiert man die wirksame Antennenfläche  $A$ . Sie ergibt, mit der Strahlungsdichte multipliziert, die von der Antenne optimal aus dem Empfangsfeld entnehmbare Leistung  $P_e$ .  $G_e$  ist der Gewinn (als Faktor) der Empfangsantenne im Vergleich zum Kugelstrahler.

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4 * \pi} * G_e \quad \text{ist gleich Antennenwirkfläche Kugelstrahler mal } G_e$$

$$P_e = S_e * A_e = \frac{P_s * G_s}{4 * \pi * d^2} * \frac{\lambda^2}{4 * \pi} * G_e = P_s \left[ \frac{\lambda}{4 * \pi * d} \right]^2 * G_s * G_e$$

$$\text{oder mit } S_e = E^2 / Z_o: \quad P_e = \frac{\lambda^2 * E^2 * G_e}{4 * \pi^2 * 120} \quad \text{mit} \quad E_e = \frac{\sqrt{30 * P_s * G_s}}{d}$$

Die von der Antenne aufgenommene Leistung  $P_e$  ist idealisiert (ohne Trafoverluste usw) gleich der in das Antennenkabel (Leitung L) abgegebenen Leistung  $P_L$ . Die Spannung im Kabel muss aber umgerechnet werden, weil der Wellenwiderstand des Kabels ( $Z_L$ ) normalerweise nicht dem des freien Raumes entspricht:

$$U_L = \sqrt{P_e * Z_L} = \frac{E_e * 300}{f * \pi} * \sqrt{\frac{G_{eK} * Z_L}{480}} \quad (\text{Frequenz } f \text{ in MHz})$$

Die im Empfänger ankommende Spannung oder Leistung liegt selbstverständlich wieder um die Kabel- und Kupplungsämpfung geringer.

Diese einfache Methode liefert im Fernfeld exakte Werte. Je näher man an die Antenne kommt, umso mehr errechnen sie sich zu hoch; bei Entfernung Null zu unendlichen Werten.

Beispiel:

Ein Satellitenspiegel mit 1,1 m Durchmesser hat eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$ .

Würde man 1 Watt einspeisen, ergäbe sich bei gleichmäßiger Energieverteilung über die Spiegelfläche in 1 m Entfernung vom Spiegel etwa eine Leistungsflussdichte von  $1 \text{ W/m}^2$ .

Das beschriebene Modell würde aber  $2000 \text{ W/m}^2$  liefern.

Noch in 100 m Entfernung ergäbe das Modell  $200 \text{ mW/m}^2$ , eine Messung  $120 \text{ mW/m}^2$ .

Auch die Regulierungsbehörde nutzt das einfache Modell – der errechnete Sicherheitsabstand zu einer Antenne ergibt sich somit größer als real vorgeschrieben.

Dämpfungen und Verstärkungen werden üblicherweise in dB angegeben. Tut man dies auch mit den Feldstärken und Leistungen, kann man die Werte statt zu multiplizieren/dividieren/potenzieren, einfach addieren/subtrahieren/mit der Hochzahl multiplizieren:

$$g = 10 * \lg(G)$$

$\lg$  ist der Logarithmus über der Basis 10

$$p \text{ in dBmW} = 10 * \lg(P \text{ in mW})$$

$$p \text{ in dBW} = 10 * \lg(P \text{ in Watt})$$

$$u \text{ in dB}\mu\text{V} = 20 * \lg(U \text{ in } \mu\text{V})$$

und umgekehrt:

$$G = 10^{(g/10)} = 10^{(g/10)}$$

^ entspricht auf dem PC „hoch“ ( $x^2 = x^2$ )

$$P \text{ in mW} = 10^{(p/10)}$$

$$U \text{ in } \mu\text{V} = 10^{(u/20)}$$