

# Was ist ein Wandlungsmaß oder Antennenfaktor?



Bildquelle: ATE Corporation

**Antennen haben viele Kennwerte. Besonders in der Feldstärke-Messtechnik hört man die Begriffe Wandlungsmaß und Antennenfaktor. Dieser Beitrag erläutert den physikalischen und mathematischen Hintergrund.**

In der Feldstärke-Messtechnik ist es sinnvoll, die Empfangsantenne außer mit dem Antennengewinn auch mit dem Wandlungsfaktor zu charakterisieren. Drückt man diesen in Dezibel aus, was sinnvoll ist, sollte man vom Wandlungsmaß sprechen. Das Wandlungsmaß bezeichnet man auch als Antennenfaktor.

## Gewinn, Richtfaktor und Wirkfläche

Für jede Antenne lässt sich auf Basis einer theoretischen (verlustlosen) Vergleichsantenne ein Gewinn  $G$  definieren. Der Gewinn gründet sich wiederum auf den Richtfaktor. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass der Gewinn um die Antennenverluste geringer ist als der Richtfaktor. Dieser hat also mehr akademische Bedeutung, denn verlustlose Antennen gibt es nur in der Theorie.

Eine mögliche Bezugsantenne ist ein fiktiver isotroper Strahler (Punktstrahler). Dieser ist auch die konsequenteste Vergleichsantenne.

Sie nimmt aus allen Richtungen gleich auf bzw. strahlt in alle Richtungen gleich ab.

Für jede Antenne lässt sich auch eine hypothetische Wirk- oder Absorptionsfläche definieren. Die absolute Leistung, welche eine Empfangsantenne einem elektromagnetischen Feld entnehmen kann, wird von dieser und dem Wirkungsgrad der Antenne bestimmt. Die Notwendigkeit der Definition einer Wirkfläche wird klar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass ein Punktstrahler eigentlich überhaupt keine Leistung aufnehmen kann, da an einem Punkt keine Spannung möglich ist.

Man stellt sich unter der Wirkfläche eine senkrecht zur Einfallsrichtung der Funkwellen liegende Fläche vor, welche die gleiche Leistung umfasst, die dem Feld von der Antenne bei Leistungsanpassung und Verlustfreiheit entzogen werden würde. Darum spricht man auch von Absorptionsfläche.

Diese Fläche ist das Produkt aus quadrierter Wellenlänge mal Richtfaktor, geteilt durch  $12,6 (4 \pi)$ . Bei Parabolantennen entspricht sie in etwa der mechanischen Fläche. Wegen der vorausgesetzten Verlustfreiheit ist die obige Definition nicht sehr praktisch. Der Praktiker sollte die „reale Wirkfläche“ berechnen, indem er statt des Richtfaktors den Gewinn als Faktor einsetzt: Quadrat der Wellenlänge mal Gewinn als Faktor durch  $12,6$ . Multipliziert mit der Leistungsflussdichte ergibt die elektrische Eingangsleistung des Empfangssystems.

Wichtig auch zu wissen: Der Gewinn einer Antenne mit gegebener mechanischer Größe lässt sich mit der Betriebsfrequenz steigern. Einfache Kurzwellenantennen haben daher wesentlich weniger Gewinn als einfache Mikrowellenantennen. Oder eine 80-cm-Sat-Schüssel hat bei der populären Nutzung im Ku-Band um 12 GHz weniger Gewinn als im neuen Ka-Band um 20 GHz.

Es wäre jedoch ein Trugschluss, anzunehmen, dass Mikrowellenantennen gegenüber Kurzwellenantennen oder ein neuer LNB für das Ka-Band an der 80-cm-Schüssel einem gegebenen elektromagnetischen Feld mehr Leistung entnehmen können. Dafür sorgt gewissermaßen die mit der quadrierten Betriebswellenlänge stark geschrumpfte Wirkfläche. Praktisch kommt es zu einer Kompensation: Mit steigender Frequenz gleicht ein steigender Gewinn das fallende Quadrat der Wellenlänge aus. Der Effekt:

Quelle:  
„Antennen-Parameter: Antennengewinn, Richtfaktor und Wandlungsfaktor“ von Dr. Rainer Bitzer, Application Note Narda Safety Test Solutions, support@narda-sts.de, www.narda-sts.de

Die empfangene Leistung ist unabhängig von der Frequenz.

## Leistungsflussdichte und Empfänger-Eingangsleistung

Die flächenbezogene Leistung eines elektromagnetischen Feldes bezeichnet man als Leistungsflussdichte LFD (bzw. Power Flux Density, PFD). Die Grundeinheit ist  $W/m^2$ . Bei der Funkkommunikation treten wesentlich geringere Werte auf, etwa im Bereich  $fW/m^2$  oder  $pW/m^2$ .

Kennt man die reale Absorptionsfläche der Antenne und die LFD, kann man die Empfangsleistung der angepassten Antenne ganz einfach errechnen, indem man diese Größen multipliziert. Welche Empfangsleistung entsteht beispielsweise mit einer 60-cm-Sat-Schüssel und einer LFD von  $5 pW/m^2$ ? Das können wir mithilfe von Wirkfläche und Antennen-Wirkungsgrad ausrechnen. Die Wirkfläche lässt sich leicht abschätzen, sie ist in etwa so groß wie die Spiegelfläche. Ein Kreis mit 60 cm Durchmesser besitzt eine Fläche von rund  $0,28 m^2$ . Leider kennen wir den Wirkungsgrad nicht genau. Wenn wir 70% annehmen, ergibt sich die reale Wirkfläche zu rund  $0,2 m^2$  und die Empfangsleistung (LNB-Eingangsleistung) zu  $0,2 m^2 \times 5 pW/m^2 = 1 pW$ .

Präziser gelingt die Bestimmung der realen Wirkfläche auf Basis des vom Hersteller angegebenen Gewinns als Faktor. Der Gewinn einer solchen Antenne liegt bei 36 dBi. Das bedeutet rund Faktor 4000 ( $10^{36/10}$ ). Die Wellenlänge der Sat-Frequenz 12 GHz beträgt  $0,025 m$  (Lichtgeschwindigkeit/Frequenz). Die reale Wirkfläche ist also

$$(0,025 m)^2 \times 4000/12,6 = \text{rund } 0,2 m^2$$

groß. Unsere Schätzung auf Basis eines üblichen Wirkungsgrads von 70% war also sehr gut.

## Frequenz, Gewinn und Wandlungsfaktor

In der Antennen-Messtechnik ist man an einem möglichst kurzen Weg von der Feldstärke zur Empfangsspannung im 50-Ohm-System interessiert. Diesen bietet der Wandlungsfaktor  $k_E$  der Antenne, denn er ist definiert als Verhältnis der elektrischen Feldstärke zu Ausgangsspannung der Antenne am Empfänger. Hierbei wird klar, dass der Begriff „Faktor“ unpassend ist, denn ein Faktor ist dimensionslos, der Wandlungsfaktor hat aber die Einheit  $1/m$  (= Feldstärke in  $V/m$  durch Spannung in  $V$ ).

Der Wandlungsfaktor lässt sich aus Signalfrequenz und Antennengewinn  $G$  mit Bezug auf den Punktstrahler herleiten. In der Quelle

wird dies getan und führt auf das praktische Endergebnis

$$k_E \text{ in } 1/m = 0,03247 \times f \text{ in MHz}/\sqrt{G}$$

im angepassten 50-Ohm-System.

Da in der Feldstärke-Messtechnik einfacher mit Spannungs- und Feldstärkepegeln, also mit logarithmierten Größen gearbeitet wird, scheint es weiterhin praktisch zu sein, den Wandlungsfaktor ungeachtet seiner Einheit  $1/m$  zu logarithmieren:

$$k_E \text{ in dB}_{(1/m)} = 20 \times \lg k_E \text{ in } 1/m$$

Der logarithmierte Wandlungsfaktor ist das Wandlungsmaß und wird häufig als Antennenfaktor bezeichnet, obwohl es sich gar nicht um einen Faktor handelt.

Weiter ist auch die Gewinnangabe in dB üblich. Zwischen dem Wandlungsmaß/Antennenfaktor und dem Antennengewinn in  $dB_i$  (bezogen auf den isotropen Strahler) besteht folgende Beziehung:

$$k_E \text{ in dB}_{(1/m)} = 20 \times \lg f \text{ in MHz} - 29,77 \text{ dB} - G \text{ in dB}_i$$

Eine Verzehnfachung der Frequenz führt zu einem um 20 dB höheren Wandlungsmaß. Dieses kann bei geringer Frequenz und/oder hohem Gewinn auch negativ sein; ein eher theoretisches Szenario.

## Beispiele

Halbwelldipole eignen sich für Präzisionsmessungen bei einer festen Frequenz. Mit einem Richtfaktor von 1,64 bei Bezug auf den Punktstrahler bzw.  $2,15 dB_i$  und hohem Wirkungsgrad sind sie recht empfindlich. Setzt man  $2 dB_i$  an, erhält man für 100 MHz:

$$k_E \text{ in dB}_{(1/m)} = 20 \times \lg 100 - 29,77 \text{ dB} - 2 \text{ dB}_i$$

$$k_E \text{ in dB}_{(1/m)} = 40 \text{ dB} - 29,77 \text{ dB} - 2 \text{ dB}_i = 8,23$$

Logarithmisch-periodische-Antennen erreichen Gewinne von 5 bis  $7 dB_i$  und damit eine äußerst hohe Empfindlichkeit bei gleichzeitig ausgeprägter Richtwirkung und relativ hoher Bandbreite. Sie eignen sich deshalb vorzüglich, um die Richtung von Strahlungsquellen zu finden. Mit 1000 MHz und  $6 dB_i$  erhält man:

$$k_E \text{ in dB}_{(1/m)} = 20 \times \lg 1000 - 29,77 \text{ dB} - 6 \text{ dB}_i$$

$$k_E \text{ in dB}_{(1/m)} = 60 \text{ dB} - 29,77 \text{ dB} - 6 \text{ dB}_i = 24,23$$

FS