Satellitenempfang (6)

Ausgehend von der geschichtlichen Entwicklung, dem Aufbau eines Satellitensystems, der Ausrichtung von Antennen, der Sendeleistung und Reflektorformen befasst sich dieser Beitrag mit dem Antennenrauschen und -gewinn sowie mit dem Öffnungswinkel und dem LNB-Prinzip der multiplikativen Frequenzmischung.

Antennenrauschen

Jeder warme Körper strahlt Energie ab. Das ist nicht nur Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung), sondern erfolgt im gesamten Frequenzspektrum der elektromagnetischen Strahlung. Das Gleiche gilt für die Erdoberfläche, deren Temperatur in unseren Breiten von etwa 250 bis 320 K über dem absoluten Nullpunkt von 0 K (–273 °C) liegt. Das von ihr abgestrahlte thermische Rauschen heißt deshalb auch terrestrisches Rauschen. Es wird von der Antenne in Abhängigkeit vom Elevationswinkel aufgenommen. Je flacher die Antenne ausgerichtet ist, desto mehr nimmt das aufgenommene Rauschen zu. Für das Diagramm im Bild ❶ geht man von der vereinfachenden Annahme aus, dass die Antenne auf einer weiten, ebenen Fläche steht. In der Realität können Unregelmäßigkeiten in Form der Topographie (z. B. Berge) und Bebauung (Häuser) oder Bewuchs (Wald) diese Kurve erheblich beeinflussen.

Streng genommen, ist das Antennenrauschen keine Kenngröße der Antenne, denn es charakterisiert einen Umgebungseinfluss und kein Eigenrauschen. Die Rauschtemperatur der Antenne wird in K (Kelvin) gemessen und bei der Berechnung der Systemgüte einer Empfangsanlage benötigt. Sie wird über die von der Antenne in einem gewissen Frequenzbereich aufgenommene Rauschleistung definiert.
Zum thermischen Rauschen der Erde kommen weitere Rauscheinflüsse hinzu, beispielsweise Wärmerauschen der Atmosphäre, atmosphärisches Rauschen (z. B. Blitzentladungen), rauschartige elektromagnetische Störungen (engl. man-made noise) und kosmisches Rauschen (Fixsterne, Radiosterne, Hintergrundrauschen des Weltalls).

Öffnungswinkel

Der Öffnungswinkel Θ kennzeichnet den Winkelbereich, in welchem die Hauptkeule der Richtcharakteristik von ihrem Maximum um 3 dB abfällt (Bild ❷). Dies entspricht einem Zurückgehen der Empfangsleistung auf die Hälfte. Daher auch die Bezeichnungen 3-dB-Winkel oder Halbwertswinkel.
Bei einer kreisförmigen Aperturfläche beschreibt Gleichung (1) näherungsweise den Zusammenhang zwischen Wellenlänge, Antennendurchmesser und Öffnungswinkel.
Näherungsweiser Öffnungswinkel

$$\Theta_{-3\,dB} = 70 \cdot \frac{\lambda}{d} \qquad (1)$$

d Antennendurchmesser in m
λ Wellenlänge in m

Für die am häufigsten verwendete Frequenz von etwa 12 GHz (λ = 0,025 m) hat demnach eine Antenne mit d = 0,9 m Durchmesser einen Öffnungswinkel von $\Theta_{-3\,dB}$ = 1,94°, eine mit dem halben Durchmesser 45 cm hat den doppelten Öffnungswinkel von 3,89°.

Die Richtwirkung einer Parabolantenne nimmt mit wachsendem Durchmesser zu.

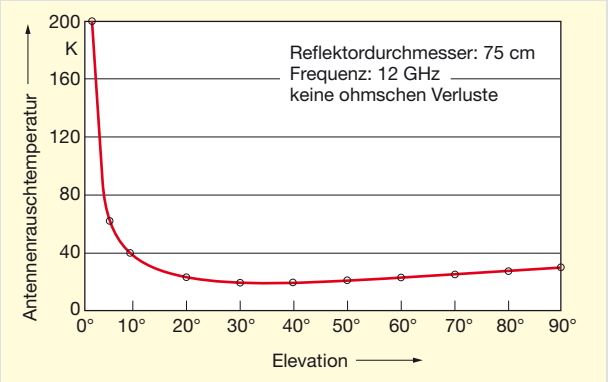
Gewinn

Bei der Definition des Antennengewinns dient der Gewinn des so genannten isotropen Kugelstrahlers als Referenz. Dieser gibt per Definition seine Energie gleichförmig in alle Richtungen ab und hat deshalb den Gewinn Null. Im Gegensatz dazu bündelt die Parabolantenne die Energie in eine Vorzugsrichtung (Hauptstrahlungsrichtung). Der Gewinn G beschreibt dies quantitativ. Er ist definiert als das Verhältnis aus maximaler Strahlungsdichte der realen Antenne S_{max} zur Strahlungsdichte des fiktiven isotropen Kugel-Referenzstrahlers S_{iso} bei gleicher zugeführter Sendeleistung P_{in}.
Definition des Antennengewinns

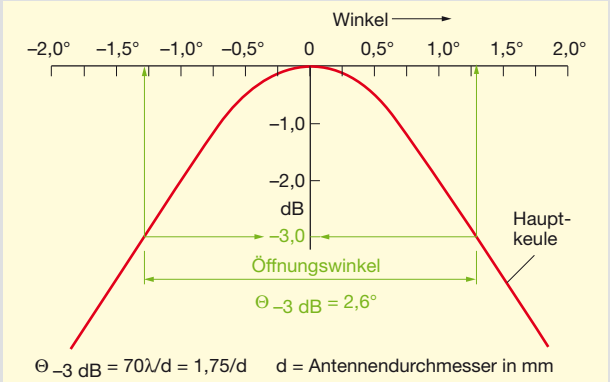
$$G = \frac{S_{max}}{S_{iso}} \qquad (2)$$

Der Antennengewinn hängt gemäß Gleichung (3) von der Ausprägung der Hauptkeule und damit vom Antennenwirkungsgrad η (60-70 %), dem Antennendurchmesser d und der Wellenlänge λ ab. Meist wird der Antennengewinn in Bezug auf den Isotropstrahler angegeben, dann schreibt man als Pseudoeinheit dBi (i für isotrop).
Antennengewinn in dBi

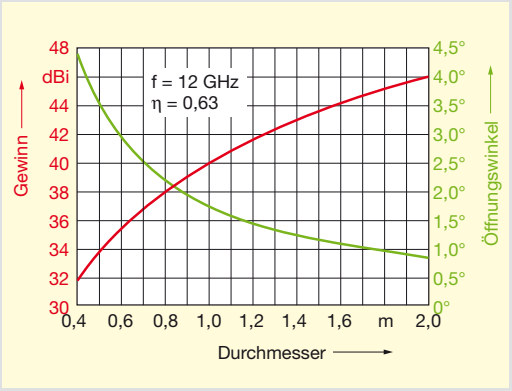
$$G = 10 \cdot \log\left[\eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda}\right)^2\right] \qquad (3)$$



❶ Rauschen der Antenne nimmt zu, je flacher sie ausgerichtet wird



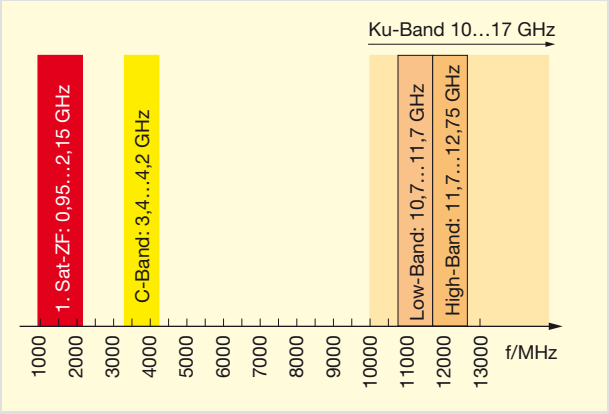
❷ Öffnungswinkel einer Antenne ist der Winkelbereich, in dem die Antenne über 50 % der maximalen Empfangsleistung aufnimmt



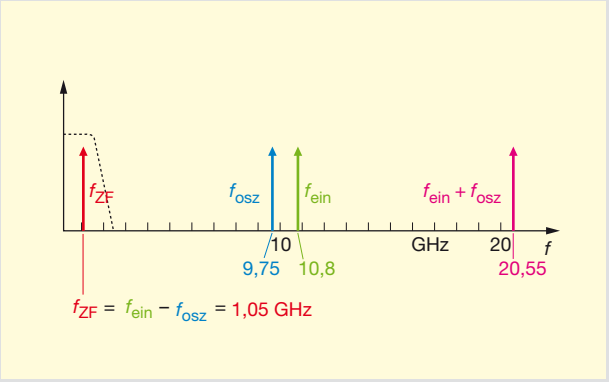
Tafel ❶ Werte für den Gewinn parabolischer Reflektoren für gegebene Frequenzen und Durchmesser

f/GHz	λ/m	d/m							η = 0,6
		0,3	0,55	0,75	0,9	1,2	1,5	1,8	Band
3,4	0,0882	18,4	23,6	26,3	27,9	30,4	32,3	33,9	
3,7	0,0811	19,1	24,3	27,0	28,6	31,1	33,1	34,6	C
4,2	0,0714	20,2	25,5	28,1	29,7	32,2	34,2	35,8	
10,7	0,0280	28,3	33,6	36,3	37,9	40,4	42,3	43,9	
11,7	0,0256	29,1	34,4	37,1	38,6	41,1	43,1	44,7	Ku
12,5	0,0240	29,7	34,9	37,6	39,2	41,7	43,6	45,2	

◀ ❸ Je größer die Antenne, umso höher ihr Gewinn und umso kleiner ihr Öffnungswinkel



❹ Relevante Frequenzbereiche für den Satellitendirektempfang



❺ Multiplikative Mischung – das untere entstehende Seitenband wird als 1. Satelliten-Zwischenfrequenz weiter verwendet

Gleichung (3) kann in zwei Terme zerlegt werden: Einen Term, der vom Durchmesser abhängt und einen weiteren Term, der die restlichen Größen η und λ enthält.

$$G = \underbrace{10 \cdot \log\left(\frac{\eta \cdot \pi^2}{\lambda^2}\right)}_{f(\eta,\lambda)} + \underbrace{20 \cdot \log d}_{f(d)} \qquad (4)$$

Bei sonst gleichen Eigenschaften nimmt der Antennengewinn mit der Frequenz zu.

Tafel ❶ liefert Werte für den Gewinn parabolischer Reflektoren für gegebene Frequenzen und Durchmesser.
Für den Wellenbereich der meisten direkt strahlenden Satelliten von etwa 12 GHz (λ = 0,025 m) und einen Antennenwirkungsgrad von η = 0,63 liefert der von Wellenlänge und Wirkungsgrad abhängige Term f(η, λ) in Gleichung (4) den Wert 40. Es ergibt sich somit ein Antennengewinn gemäß:

$$G = 40 + 20 \cdot \log d \qquad (5)$$

Der Gewinn von Antennen mit weniger als einem Meter Durchmesser ist kleiner als 40 dBi (Logarithmen von Zahlen zwischen Null und Eins sind negativ!). Mit wachsendem Antennendurchmesser nimmt der Öffnungswinkel ab, die Antenne bündelt also schärfer. Dies ist auch anschaulich, weil der höhere Gewinn gleichbedeutend mit einer schärferen Richtwirkung ist. Die Zusammenhänge zwischen Durchmesser, Gewinn und Öffnungswinkel veranschaulicht Bild ❸.

Multiplikative Frequenzmischung

Der Low Noise Block Converter (LNB oder LNC) dient dazu, dass komplette Empfangsband aus dem vom Satelliten abgestrahlten Frequenzbereich in die sogenannte 1.-Satelliten-Zwischenfrequenz umzusetzen (Bild ❹). Damit ist es nicht mehr erforderlich, eine Hohlleiterverteilstruktur aufzubauen, die Ähnlichkeit mit einem Wasserleitungsnetz hätte. Die Zuführung zum Receiver kann ab dem LNB-Ausgang mit herkömmlichen, dämpfungsarmen Koaxialkabeln erfolgen. Der Umsetzvorgang beruht auf dem Prinzip der „Multiplikativen Mischung". Dabei werden zwei Signale unterschiedlicher Frequenzen miteinander multipliziert, was zu einer Summen- und einer Differenzfrequenz führt. Mathematisch liegt dem das Additionstheorem für trigonometrische Funktionen zu Grunde:

$$\cos(2\pi f_1) \cdot \cos(2\pi f_2) = \tfrac{1}{2} \cdot \{\cos[2\pi (f_1 - f_2)] + \cos[2\pi (f_1 + f_2)]\} \qquad (6)$$

Bild ❺ illustriert dies am Beispiel einer Empfangsfrequenz im Low Band von f_{ein} = 10,8 GHz, die mit einer im LNC lokal erzeugten Oszillatorfrequenz f_{osz} von 9,75 GHz multiplikativ gemischt wird. Es entsteht, neben der hier nicht interessierenden Summenfrequenz von 20,55 GHz, die Differenzfrequenz von 10,8 GHz – 9,75 GHz = 1,05 GHz. Diese Frequenz wird als 1. Satelliten-Zwischenfrequenz bezeichnet und nach einer Tief- oder Bandpassfilterung über das Verteilnetz zum Receivereingang transportiert. Das gilt für jede einzelne Frequenz im Bereich des Low Bands von 10,7 bis 11,7 GHz, d. h. es findet sich vollständig in der 1.-Sat-Lage zwischen 0,95 GHz und 1,95 GHz wieder. Damit das High Band von 11,7 bis 12,75 GHz in die gleiche ZF-Lage zu liegen kommt, wird es mit einer höheren Oszillatorfrequenz von 10,6 GHz abgemischt. Es hat also nach Umsetzung die Bandgrenzen 1,1 GHz und 2,15 GHz. *K. Jungk*

Fortsetzung ep LERNEN & KÖNNEN
Aktuelle LNC-Typen