Satellitenempfang (5)

Die geschichtliche Entwicklung [1], der Aufbau eines Satellitensystems [2] und Ausrichtung von Antennen [3] sowie die Sendeleistung und Ausleuchtung [4] wurden bereits aufgezeigt. Dieser Beitrag befasst sich u. a. mit den Antennentypen, Reflektorformen und dem f/d-Verhältnis.

Antennentypen

Antennen lassen sich zum Senden und Empfangen von elektromagnetischen Wellen verwenden. Ihre Eigenschaften sind in beiden Fällen die gleichen. Man spricht deshalb von reziproken Gebilden. Im Sendefall dienen Antennen der Überführung leitungsgeführter Hochfrequenzenergie in eine im freien Raum ausbreitungsfähige elektromagnetische Welle. Im Empfangsfall nehmen sie die freie Raumwelle auf und wandeln sie in eine leitungsgeführte Welle. Die Antenne dient also der Umwandlung einer Leitungswelle in eine Freiraumwelle und umgekehrt. Sie wird deshalb auch als Wellentypwandler bezeichnet (Bild ❶).

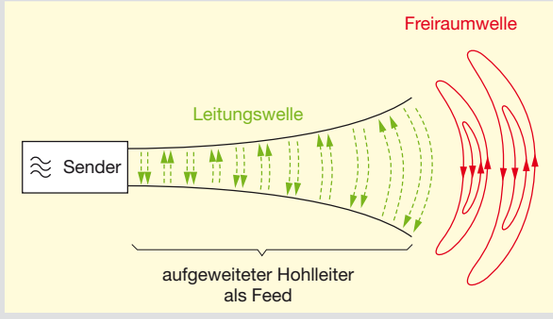
Wir unterscheiden beim Satellitenempfang im Wesentlichen Reflektorantennen, Dipolarrays und Schlitzstrahler. Die größte Bedeutung hat die Reflektorantenne, die aus einer parabolisch gekrümmten reflektierenden Fläche mit der Form eines Rotationsparaboloiden besteht, in deren Brennpunkt das so genannte Feed die empfangene und gebündelte Freiraumwelle in eine Hohlleiterwelle überführt. Das Feed erfüllt also die Aufgabe des Wellentypwandlers. Der Begriff Feed (Einspeisung) rührt ursprünglich aus der Sendeanwendung her, wo die über Hohlleiter zugeführte Hochfrequenzenergie in die Reflektorfläche eingestrahlt wird. Am Häufigsten trifft man heute eine Feedbauform an, bei der skalare Ringe um den Hohlleitereingang angeordnet sind – Rillenfeed (Bild ❷). Der dielektrische Linsentyp (Bild ❹) ist weniger häufig. Bei den heute üblichen Sat-Empfangsantennen sind Feed und Empfangsumsetzer (LNC, LNB) mechanisch zum Speisesystem vereint (Bilder ❸ und ❹)

Reflektorformen

Eine metallische (leitfähige) Fläche reflektiert einfallende elektromagnetische Strahlung an ihrer Oberfläche, so wie es ein Spiegel mit dem sichtbaren Licht tut. Dabei gilt an jedem Punkt der Fläche: „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“. Hat die metallische Fläche die Form eines Paraboloiden (eine um ihre Hauptachse rotierende Parabel), werden achsenparallel einfallende Strahlen in einem einzigen Punkt auf der Achse – dem Brennpunkt oder Fokus – gebündelt. Bei Satellitenantennen hat der Reflektor die Gestalt eines Kalottenabschnitts des Rotationsparaboloiden.

Wird von dem Paraboloiden eine Kalotte mit einem Schnitt senkrecht zur Hauptachsenrichtung abgetrennt, ist der entstandene Reflektor rotationssysmmetrisch (Bild ❺). Man spricht von einer zentral erregten Antenne, weil der Fokus gewissermassen im Zentrum des Reflektors liegt.

Gewinnt man die Reflektorkalotte durch einen schrägen Schnitt, scheint ihr Brennpunkt aus dem Zentrum versetzt (Versatz



❶ Aufgeweiteter Hohlleiter als elementarer Wellentypwandler (Feed)



❷ Feed mit Rillenhorn



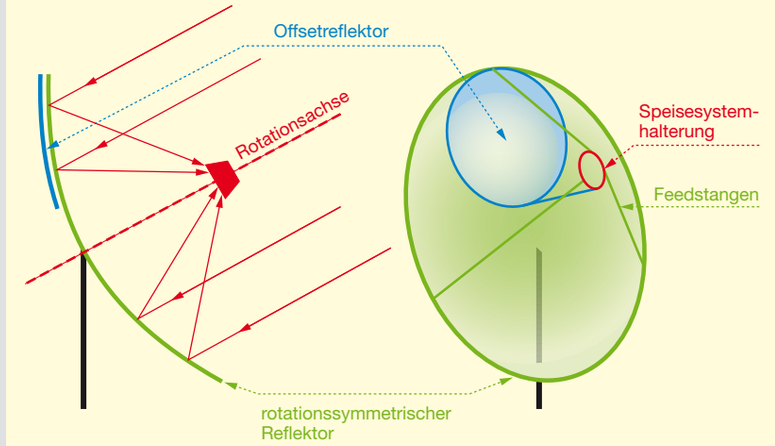
❸ LNB mit integriertem Rillenhornfeed

Foto: Hama

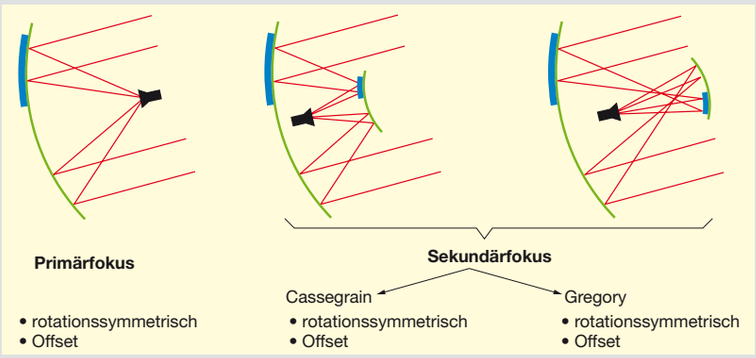


❹ LNB mit integriertem dielektrischen Linsenfeed

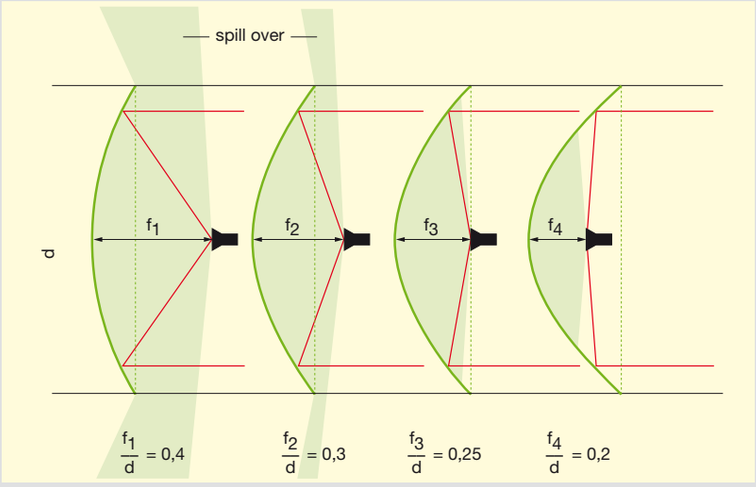
Foto: ALPS



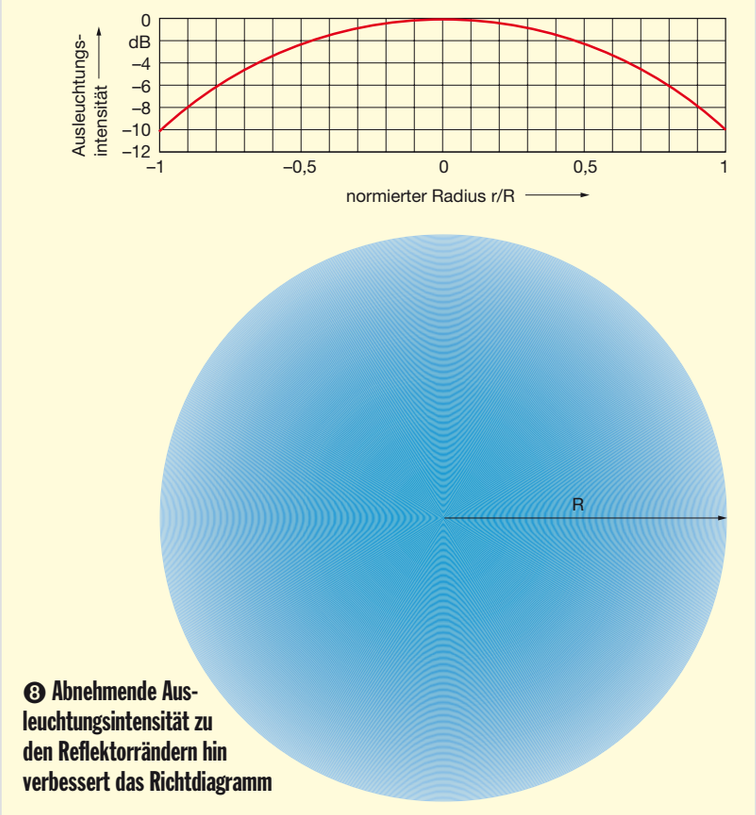
❺ Rotationsymmetrische und asymmetrische Reflektoren (Offset-Reflektoren) als Paraboloidabschnitte



❻ Antennenbauformen



❼ f/d-Verhältnis bestimmt im Zusammenwirken mit dem Feed die Ausleuchtung der Antenne



❽ Abnehmende Ausleuchtungsintensität zu den Reflektorrändern hin verbessert das Richtdiagramm

= offset), daher der Name Offsetantenne. Bild ❺ zeigt den Vorteil der Offsetantenne gegenüber der zentral erregten: Steilerer Reflektor (weniger Schneeablagerungen!) und kein Schattenwurf des Speisesystems, wodurch die gesamte einfallende Strahlung im Feed gebündelt wird. Allerdings steht die Antennenfläche jetzt schräg zur einfallenden Wellenfront, was die effektive Antennenfläche etwas verringert.
Bei Parabolantennen unterscheidet man grundsätzlich zwischen Primärfokusantennen, bei denen das Speisesystem – genauer das so genannte Phasenzentrum des Feeds – direkt im Brennpunkt angeordnet ist und Sekundärfokusantennen (Cassegrain und Gregory), bei denen ein Sekundärspiegel (Subreflektor) im Strahlengang des Primärspiegels die Strahlen auf seinen Sekundärfokus bündelt (Bild ❻). Wir wollen uns im Folgenden nur mit Primärfokusantennen beschäftigen.

f/d-Verhältnis

Mit dem Verhältnis von Brennweite zu Durchmesser (f/d-Verhältnis; f focal length; d diameter) charakterisiert man die „Flachheit“ einer Parabolantenne. Mit zunehmender Krümmung (bei gleichem Durchmesser) wandert der Brennpunkt auf den Scheitel des Paraboloiden zu, wodurch f/d kleiner wird (Bild ❼). Bezüglich des f/d-Verhältnisses muss man einen Kompromiss eingehen. Flache Antennen sind zwar gut „auszuleuchten“, haben aber eine geringere Polarisationsentkopplung und stärker ausgeprägte Nebenkeulen der Richtcharakteristik. Letztere entsprechen einer Überbelegung der reflektierenden Fläche (spill over), wodurch terrestrisches Rauschen und Signale von benachbarten Satelliten aufgenommen werden können. Bei stark gekrümmten Antennen verhält es sich genau umgekehrt. Jetzt leuchtet das Feed zwar nicht mehr über den Antennenrand hinaus, es wird deshalb aber auch nicht mehr die volle Aperturfläche genutzt. Satellitenantennen haben deshalb ein f/d-Verhältnis zwischen 0,3 und 0,5. Bei f/d = 0,25 liegt der Brennpunkt auf Höhe des Antennenrandes.
Eine optimale Ausleuchtung der Aperturfläche ist nur durch ein auf ihr Brennweiten/Durchmesserverhältnis (f/d) optimiertes Feed möglich.

Apertur und Wirkungsgrad

Die Fläche, die der Parabolreflektor der einfallenden Wellenfront zeigt (genauer gesagt, die Projektion des Reflektors auf eine Ebene senkrecht zur Einstrahlungs-

richtung) heißt geometrische Apertur(fläche) A_{Ap}. Durch verschiedene Einflüsse ist es nicht möglich, die gesamte, in die geometrische Aperturfläche eingestrahlte Energie im Brennpunkt zu bündeln. Nur ein Teil der geometrischen Aperturfläche ist wirksam, die effektive Apertur(fläche) A_{eff}. Diese hängt gemäß Gleichung (1) mit der geometrischen über den Flächenwirkungsgrad η zusammen.

$$A_{eff} = \eta \cdot A_{Ap}$$

A_{Ap} = geometrische Apertur(fläche)

A_{eff} = effektive Apertur(fläche) (1)

η = Flächenwirkungsgrad (0<η<1)

η_{typ} = 0,6 ...0,7 (typischer Wert für η)

Einige wichtige Einflüsse auf den Flächenwirkungsgrad η sind:

- die „Belegung“ der Aperturfläche (Ausleuchtefunktion),
- Abschattungen durch das Speisesystem und seine Halterung,
- Beugungsverluste an den Rändern des Reflektors (Fresnel-Beugung),
- Streuung an Oberflächenrauigkeiten des Reflektors,
- Abweichungen von der paraboloidischen Idealform des Reflektors,
- Fehlausrichtung des Feeds.

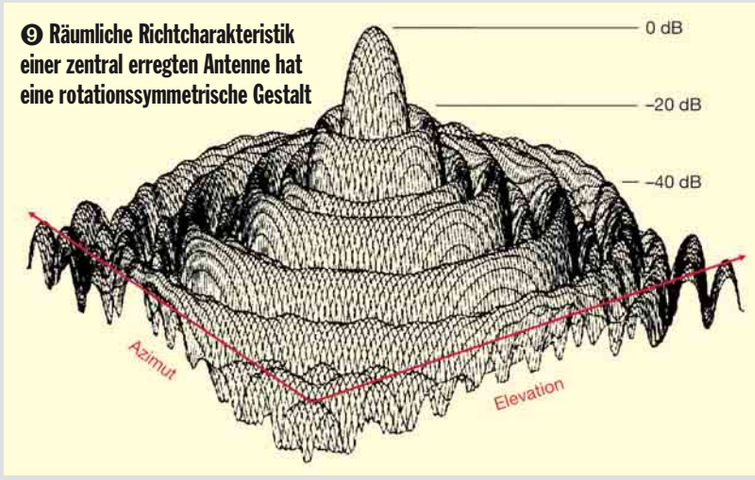
Durch eine entsprechende Dimensionierung des Feeds lässt sich erreichen, dass die Randbereiche der Aperturfläche weniger zum Empfangssignal beitragen als das Zentrum (edge tapering: Kantenreduktion). Das verschlechtert zwar den Antennenwirkungsgrad, verringert aber auch die Aufnahme von Signalanteilen außerhalb der Hauptachsenrichtung (dies entspricht kleineren Nebenkeulen zugunsten einer breiteren Hauptkeule des Richtdiagramms), also von solchen, die von Nachbarsatelliten herrühren und von der Erdoberfläche abgestrahltem thermischen Rauschen. Eine solchermaßen zu den Rändern hin schwächer „ausgeleuchtete“ Aperturfläche, bei der die Ausleuchtungsintensität von der Mitte bis zum Rand um 10–12 dB abnimmt, ist also durchaus gewollt (Bild ❽).

Richtdiagramm

Die richtungsabhängige Empfindlichkeit einer Antenne beschreibt ihr räumliches Richtdiagramm (Bild ❾). Es ist bei zentral erregten Antennen wegen ihrer Rotationssymmetrie ebenfalls ein rotationssymmetrisches, räumliches Gebilde, mit dem Maximum im Zentrum (Hauptkeule) und in wachsendem Abstand zum Zentrum in der Stärke abnehmenden Nebenmaxima (Nebenkeulen).

Wegen der Rotationssymmetrie, die weitgehend auch bei Offsetantennen besteht, genügt es, einen beliebigen Schnitt durch das „Richtgebirge“ zu machen, der zu einem zweidimensionalen Richtdiagramm führt.

Man kann dem Beispiel in Bild ❿ entnehmen, dass in etwa 2,3° Abweichung von der Hauptrichtung, ein Empfangsminimum vorliegt, die erste Nullstelle. In dieser Richtung ist die Antenne „blind“. Es folgt das erste Nebenmaximum, aus dessen Richtung Störsignale aufgenommen werden können, die zweite Nullstelle usw. Häufig gelingt es, die Antenne ohne gravierende Folgen für das Nutzsignal so auszurichten, dass ein Störer in eine Nullstelle zu liegen kommt und damit unterdrückt wird. Die Skalierung des Richtdiagramms kann linear oder logarithmisch (Bild ⓫) erfolgen. Um unterschiedliche Antennen leichter vergleichbar zu machen, sind die die Maximalwerte der Richtcharakteristik auf 1 (linear) bzw. 0 dB (logarithmiert) normiert.



❾ Räumliche Richtcharakteristik einer zentral erregten Antenne hat eine rotationssymmetrische Gestalt

Literatur

[1] *Jungk, K.*: Satellitentechnik (1). Elektropraktiker Berlin 63(2009)7, Lernen und Können S. 9–10.

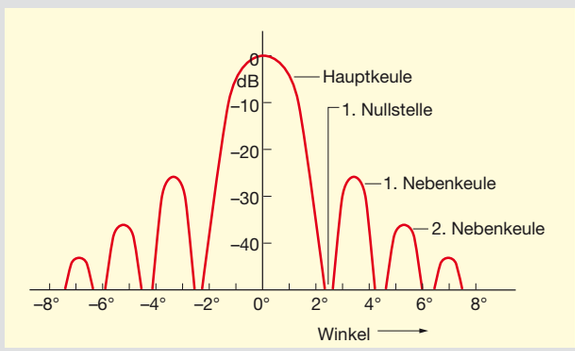
[2] *Jungk, K.*: Satellitentechnik (2). Elektropraktiker Berlin 63(2009)8, Lernen und Können S. 8–9.

[3] *Jungk, K.*: Satellitentechnik (3). Elektropraktiker Berlin 63(2009)9, Lernen und Können S. 8–9.

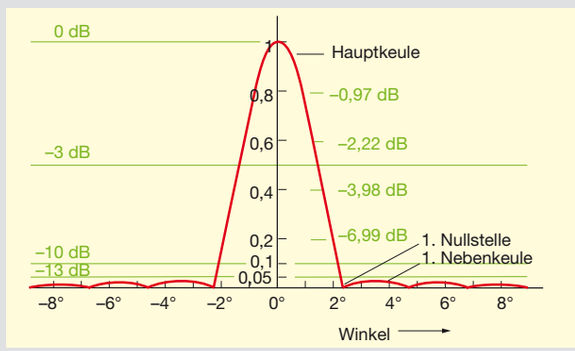
[4] *Jungk, K.*: Satellitentechnik (4). Elektropraktiker Berlin 63(2009)10, Lernen und Können S. 9–10. *K. Jungk*

Fortsetzung ep LERNEN & KÖNNEN

Antennenrauschen und Öffnungswinkel



❿ Zweidimensionale Richtcharakteristik als zentraler Schnitt durch die räumliche Richtcharakteristik



⓫ Zweidimensionale Richtcharakteristik in linearer Darstellung