

Satellitenempfang (4)

Die geschichtliche Entwicklung, der Aufbau eines Satellitensystems und die Satelliten-Positionen sowie Ausrichtung von Antennen wurden bereits aufgezeigt. Dieser Beitrag befasst sich mit der Sendeleistung und Ausleuchtung, Polarisation und Übertragungsbändern.

Sendeleistung und Ausleuchtung

Ein Satellit im Orbit verfügt nur über geringe elektrische Leistung. Sie wird von der Sonne zugewandten Solarzellen erzeugt, die zu flügelähnlichen Paneelen angeordnet sind. Bei den Eutelsat-II-Satelliten beträgt die Spannweite dieser „Flügel“ 22,4 m. Am Ende der Lebensdauer des Satelliten erzeugen sie noch 3000 W elektrische Leistung. Die Hochfrequenzleistung der Sendeendstufen (Wanderfeldröhren) eines Transponders liegt bei etwa 50 W. Damit trotz dieser geringen Leistung nach knapp 40 000 km auf der Erde noch ein verwertbares Signal ankommt, muss die Sendeleistung scharf in das Zielgebiet (Ausleuchtezone, footprint = Fußabdruck) gebündelt werden. Bild 1 zeigt aus dem Eutelsat II Handbuch Linien gleicher Empfangsstärke. Sie sind in dBW, der Maßeinheit für die sogenannte EIRP, beschriftet. **EIRP.** Die „äquivalente, isotrop abgestrahlte Leistung“ (Equivalent Isotropically Radiated Power) ist eine fiktive Größe. Sie gibt im logarithmischen Maßstab an, welche Leistung eine Antenne am Ort des Satelliten rundum gleichförmig in alle Richtungen (isotrop) abstrahlen müsste, um die gleichen Empfangsbedingungen im Zielgebiet auf der Erde zu erzeugen, wie die reale Sendeantenne des Satelliten mit ihrer Richtwirkung. Im Kern der Ausleuchtezone liegt die EIRP moderner Rundfunksatelliten bei 50 bis 55 dBW.

$$EIRP = 10 \cdot \lg P \quad \text{bzw.} \quad (1)$$

$$P = 10^{\frac{EIRP}{10}}$$

EIRP = Equivalent Isotropically Radiated Power in dBW

P = Sendeleistung des isotropen Radialstrahlers in Watt

$\lg = \log_{10}$ = Logarithmus zur Basis 10

Der Satellit mit dem Footprint aus Bild 1 strahlt im Kerngebiet seiner Ausleuchtezone mit 51 dBW ein. Dem entspricht eine fiktive Leistung von $P = 10^{5,1} \text{ W} = 125\,893 \text{ W}$. In der Realität sendet der Satellit aber mit nur 50 W, was nach Gleichung (1) einer EIRP von $10 \cdot \lg 50 \text{ dBW} = 17 \text{ dBW}$ gleichkommt. Die Differenz 51 dBW – 17 dBW = 34 dBW ist der Bündelungsgewinn der Sendeantenne.

PFD. Eine andere Art, die Empfangsverhältnisse in der Ausleuchtezone zu charakterisieren, bietet die Leistungsflussdichte PFD (Power Flux Density) in dBW/m². Sie gibt an, welche Leistung der Satellit am Empfangsort senkrecht in eine Fläche von 1 m² einstrahlt. Dazu denkt man sich am Ort des Satelliten einen isotropen Strahler als Mittelpunkt einer Kugel. Auf deren Oberfläche soll sich die Empfangsantenne befinden. Durch einen Quadratmeter der Kugeloberfläche fällt nun

eine Leistung entsprechend der EIRP, dividiert durch die gesamte Kugeloberfläche $4\pi D^2$ in m², wobei D der Abstand zwischen Satellit und Empfangsantenne in m ist.

$$PFD = 10 \cdot \lg \left(\frac{P}{4\pi D^2} \right)$$

$$PFD = 10 \cdot \lg P - 10 \cdot \lg(4\pi D^2) \quad (2)$$

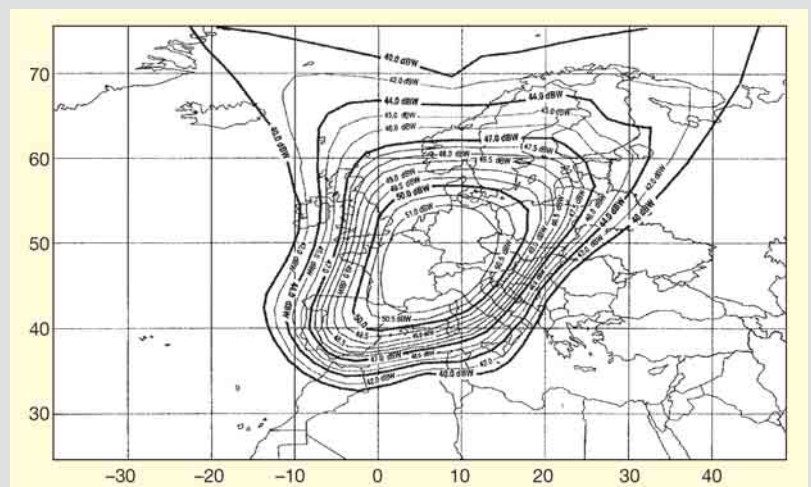
$$PFD = EIRP - \underbrace{10 \cdot \lg(4\pi D^2)}_{\text{Ausbreitungsdämpfung } L_s}$$

Der Term $-10 \lg(4\pi D^2)$ wird auch Ausbreitungsdämpfung (L_s : Spreading Loss) genannt. D ist für die in Deutschland „sichtbaren“ Satelliten im Mittel 38 500 000 m, woraus sich ergibt $10 \lg(4\pi D^2) = 162,7$. In guter Näherung beschreibt Gleichung (3) deshalb den Zusammenhang zwischen EIRP und PFD:

$$PFD \approx EIRP - 163 \quad (3)$$

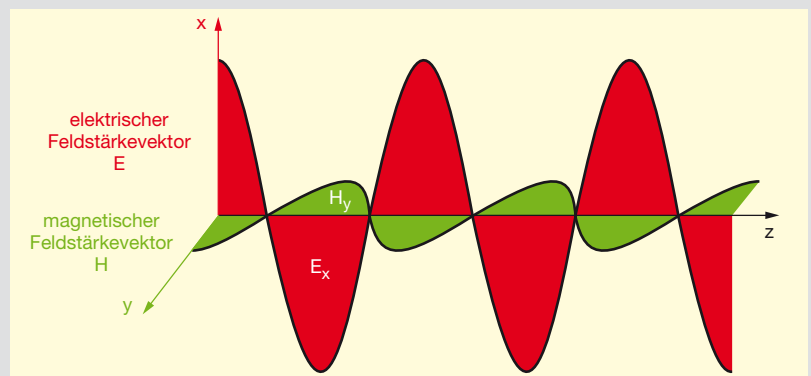
Der obigen EIRP-Angabe von 51 dBW entspricht also die PFD-Angabe von $(51 - 163) \text{ dBW/m}^2 = -112 \text{ dBW/m}^2$.

Wer ohne Näherung rechnen will, kann mit Gleichung (4) die Entfernung D zwischen seiner Empfangsantenne und



1 Ausleuchtezone eines Satelliten

Quelle Eutelsat



2 Elektrische und magnetische Komponente eines elektromagnetischen Feldes stehen senkrecht aufeinander

dem Satelliten (slant distance) genau bestimmen.

$$D = \sqrt{r^2 + R^2 - 2 \cdot r \cdot R \cdot \cos B \cdot \cos \Delta L} \quad (4)$$

$r = 6387000$ m (Erdradius)

$R = 42167000$ m (GEO-Radius)

$\Delta L =$ Längengrad Satellit –
Längengrad Empfangsort

$B =$ Breitengrad Satellit

Polarisation

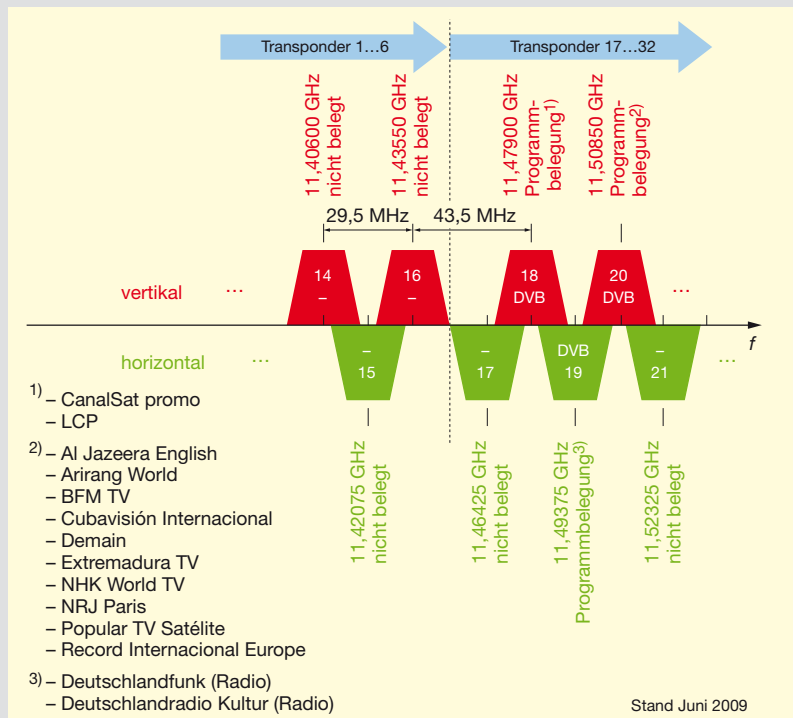
Frequenzen sind ein knappes und daher teures Gut, das es möglichst effizient zu verwenden gilt. Das gilt auch für die verfügbare Übertragungsbandbreite eines Satelliten. Um sie besser ausnutzen zu können, strahlen dessen Sendeantennen in zwei Polarisationsrichtungen ab – vertikal und horizontal. Für ein tiefer gehendes Verständnis der elektromagnetischen Wellen und des Polarisationsbegriffs sind Kenntnisse der Maxwell'schen Theorie erforderlich. Auf das Wesentliche vereinfacht, besteht eine elektromagnetische Welle aus einer elektrischen und einer magnetischen Komponente, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und zueinander orientiert sind.

Man unterscheidet zwischen linearer (Bild 2) und zirkularer Polarisation. Letztere entsteht durch Überlagerung zweier senkrecht aufeinander stehender, linear polarisierter Wellen mit gleichem Wellenvektor und gleicher Amplitude und einem Phasenunterschied von 90° . Sie hat beim Satellitendirekttempfang keine praktische Bedeutung mehr.

Zur Kennzeichnung der Polarisationsrichtung der Satellitenabstrahlung wird die Orientierung der elektrischen Wellenkomponente verwendet: Senkrechter (Waagrecht) elektrischer Feldvektor → Vertikal (Horizontal) polarisierte Welle.

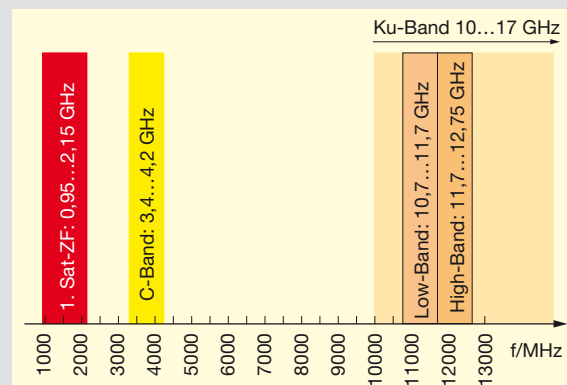
Das Vektorprodukt aus elektrischem und magnetischem Feldstärkevektor ($E \times H$) ist der Wellenvektor, auch Poyntingvektor genannt. Er zeigt in Ausbreitungsrichtung der Welle und ist dem Betrage nach der Energiefluss durch eine senkrecht durchstoßene Fläche.

Bei idealer Entkopplung der Polarisationssebenen durch die Empfangsantenne könnte man theoretisch gleiche Frequenzen auf zwei Abstrahlungen mit um 90° versetzten Polarisationssebenen doppelt belegen. In der Praxis ist die Polarisationsentkopplung jedoch endlich (typisch: $20 - 25$ dB), also ist eine vollständige Trennung beider Polarisationssebenen nicht möglich. Das ist sowohl durch die nicht idealen Eigenschaften der Sendeantenne des Satelliten als auch der terrestrischen Empfangsantenne sowie atmosphärische Einflüsse bedingt.



3 Der Ausschnitt aus dem ASTRA-Transponderplan zeigt, dass frequenzmäßig benachbarte Transponder jeweils auf einer anderen Polarisationssebene ausstrahlen. Die Frequenzüberlappung ist wegen der Polarisationsentkopplung zulässig und spart Übertragungsbandbreite.

4 Relevante Frequenzbereiche für den Satellitendirekttempfang



Aber auch mit einer endlichen Polarisationsentkopplung lassen sich beträchtliche Frequenzeinsparungen erzielen. Ein Ausschnitt aus einem Transponderplan von Astra erläutert dies (Bild 3). Obwohl die Transponderbandbreite hier etwa 26 MHz beträgt, liegen die Transpondermittelfrequenzen nur 14,75 MHz auseinander. Ohne Ausnutzung der Polarisationsentkopplung wäre die Überlappung der Spektren benachbarter Transponder nicht möglich.

Übertragungsbänder

Für den Direkttempfang geostationärer Satelliten sind heute drei Frequenzbänder von Interesse:

- 1.-Sat-ZF-Band,
- C-Band und
- K_u -Band.

In letzterem insbesondere das sog. Low- und High-Band (Bild 4). Weil sich die Frequenzen des C- und in noch stärkerem Maße des Low- und High-Bands nur mit großen Verlusten in einem Koaxialkabel von der Antenne zum Receiver transportieren lassen, werden sie zuvor vom Empfangsumsetzer (LNC: Low Noise Converter, LNB: Low Noise Block Converter) in eine tiefere Frequenzlage verschoben – in die des 1.-Sat-ZF-Bands. In diesem Frequenzbereich sind Koaxialkabel verlustarm genug, um die hochfrequenten Signale mit akzeptabler Dämpfung zum Receiver zu übertragen.

K. Jungk

Fortsetzung



LERNEN
& KÖNNEN

Antennentypen
und Reflektorformen