

**Hochfrequenztechnik**  
**Duale Hochschule Karlsruhe**  
 Dozent: Gerald Oberschmidt

## 1 Antennen und Wellenausbreitung (8 Punkte)

Eine Funkstrecke, wie in Bild 1 gezeigt, ist zu analysieren. Die Anwendung ist eine aus dem Bereich der drahtlosen breitbandigen In-House Datenkommunikation.

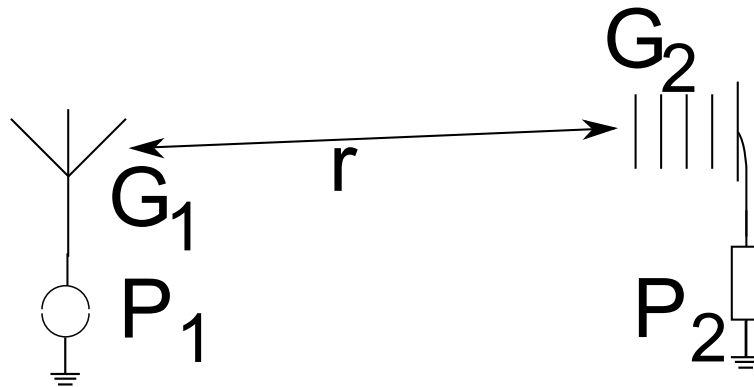


Bild 1: Kommunikationssystem

Die Antenne 1 (links) sei ein isotroper Kugelstrahler, Antenne 2 ist eine Yagi-Uda Antenne. Die Übertragungsfrequenz beträgt 100 GHz. Das Richtdiagramm der Antenne 2 ist separat beigelegt. Bemerkung: Wenn Sie Berechnungen/ Zeichnungen auf dem Beiblatt durchführen, dann geben Sie es bitte mit ab!

- (a) Bestimmen Sie aus dem Richtdiagramm den Gewinn der Antenne 2 und ihren 3 dB Öffnungswinkel! Wie groß ist die Nebenzipfelunterdrückung ("Side-lobes") (2 Punkte)
- (b) Wie schon bekannt, handelt es sich um eine Yagi-Antenne. Geben Sie (innerhalb eines Fehlerbereichs von  $\pm 10\%$ ) die Länge der Strahler an! Wie sollte die von der Yagi-Antenne empfangene EM-Welle polarisiert sein, um maximale Empfangsleistung zu ermöglichen? (2 Punkte)

Gehen Sie bei den folgenden Überlegungen von einem Antennengewinn von  $G = 10$  dBi aus! Wenn nötig, dürfen Sie  $\pi = 3$  annehmen.

- (c) Die Eingangsempfindlichkeit des Empfängers ( $P_2$ ) ist mit  $-80$  dBm spezifiziert. Mit welcher Leistung  $P_1$  muss der Sender arbeiten, um eine Reichweite von 10 m zu ermöglichen (Freiraumausbreitung kann angenommen werden)? (2 Punkte)
- (d) Eine ungünstige Aufstellung der Empfangsantenne (etwa versteckt in einem Bücherregal) führt zu einer zusätzlichen Dämpfung von 10 dB. Wie groß ist nun die Reichweite des Systems? (2 Punkte)

## Beiblatt: Antennenaufgabe,

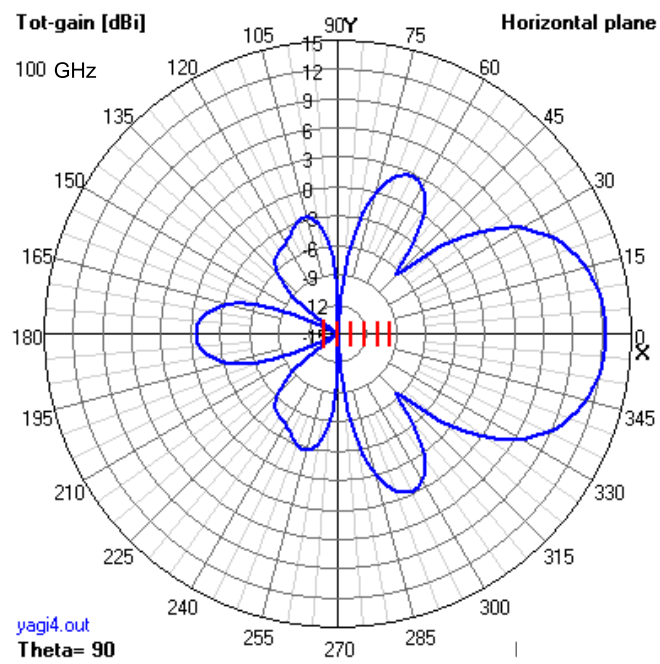


Bild 2: Richtdiagramm

## 2 Antennen und Wellenausbreitung (8 Punkte)

Ein GPS Empfängersystem ist auszulegen. Die Satelliten umkreisen die Erde in 20.000 km Höhe über der Erdoberfläche und Senden im L-Band (ca. 1,5 GHz) bei einer Wellenlänge von 20cm. Der Sender hat eine Ausgangsleistung von 25 W. Die Antenne des Satelliten, die den ganzen Erdball übertrahlen muss, hat einen Gewinn von 13 dBi.

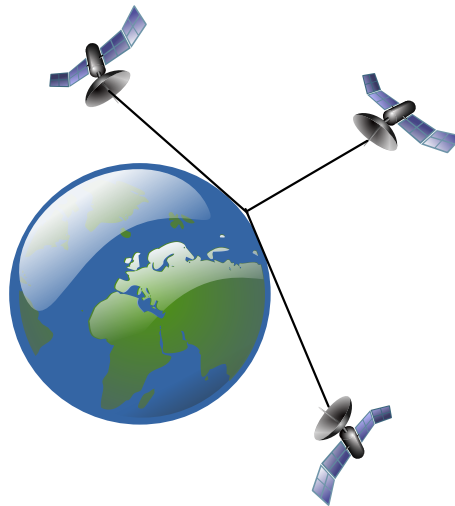


Bild 3: Kommunikationssystem

- (a) Wie groß ist die effektive Leistung, die an einen isotropen Kugelstrahler gegeben werden müsste, um die gleiche Strahlungsdichte wie im Zentrum der Strahlungskeule der Richtantenne zu erzeugen (EIRP)? (1 Punkt)

**Lösung:**

25 W entsprechen 14 dBW. EIRP ist also Leistung an der Antenne [dBW] + Gewinn derselben [dBi]

$$\text{EIRP} = 14 \text{ dBW} + 13 \text{ dBi} = 27 \text{ dBW} = 500 \text{ W}$$

- (b) Wie groß ist die Freiraumdämpfung auf der Strecke vom Satelliten zur Erde? [Sie können  $\pi^2 = 10$  vereinfachen] (1 Punkt)

**Lösung:**

Für die Freiraumdämpfung gilt

$$L = \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 = \left( \frac{0,2 \text{ m}}{4\pi \cdot 2 \cdot 10^7 \text{ m}} \right)^2$$

$$L = \frac{1}{\pi^2} \frac{1}{4^2} \cdot 10^{-16} \approx \frac{1}{16} \cdot 10^{-17}$$

Aus Tabelle der dB-Rechnung folgt, dass ein Faktor von 4 (linear) 6 dB (logarithmisch) entspricht. 1/16 entspricht also -12 dB.

Damit ist das Endergebnis  $L = -12 - 170 \text{ dB} = -182 \text{ dB}$  für die Freiraumdämpfung.

- (c) Welche Leistung kann ein isotroper Kugelstrahler auf der Erde empfangen? Wie groß ist das Signal-Rausch-Verhältnis bei einer Bandbreite von 2 MHz bei idealem (rauschfreiem) Empfänger? (2 Punkte)

**Lösung:**

Verwende nun die schon vorbereitete Frijsche Formel. Danach ist

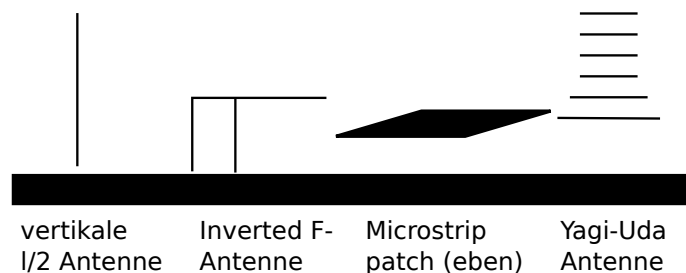
$\frac{P_2}{P_1} = G_1 \cdot G_2 \cdot L$  in linearer Schreibweise wobei 1 die Sendeantenne, 2 die Empfangsantenne ist und  $P$  die Leistung,  $G$  die Gewinne meint. Mit den bekannten Informationen und in logarithmischer Schreibweise erhalten wir

$P_2 = P_1 + G_1 + L = 27\text{dBW} - 182\text{dB} = -155\text{dBW}$  für die empfangene Leistung in der Empfangsantenne.

Das Signal-Rausch-Verhältnis berechnet sich aus o.g. Wert und der empfangenen (verfügbaren Rauschleistung)

$N = -174\text{dBm} + 10 \log B/\text{Hz} = -174 - 30 + 63\text{dBW} = -141\text{dBW}$ .

Das Signal-Rausch-Verhältnis ist also  $\text{SNR} = -13\text{dB}$ . Das eigentliche Signal kann also nur durch zusätzliche Algorithmik gewonnen werden. Dieses ist gegeben. Das GPS-Signal ist ein durch PN-Sequenzen aufgespreiztes Signal, das in der DSP entspreizt wird. Der hier gegebene Signal-Rausch-Abstand wird also nochmal erheblich verbessert.



- (d) Diese Leistung erlaubt nur unter günstigen Verhältnissen einen genügenden Empfang. Daher soll die Antenne optimiert werden. Vier Vorschläge (siehe Zeichnung) stehen zur Auswahl. Bewerten Sie die Vorschläge und erläutern Sie deren Vor- und Nachteile in Bezug auf Richtwirkung in den gesamten oberen Halbraum, Polarisation (das GPS-Signal ist zirkular polarisiert) und Kosten/ Praktikabilität! Wählen Sie eine Antenne aus! (3 Punkte)

**Lösung:**

Vertikaler Halbwellendipol:

schlecht geeignet, da er eine lineare Polarisation empfängt und von oben, also das Signal von den Satelliten direkt oberhalb des Beobachters, kaum etwas empfängt. Der Dipol weist in axialer Richtung eine Null im Richtdiagramm auf.

Invertierte F-Antenne

Ist recht gut geeignet, sie empfängt aus dem gesamten oberen Halbraum recht gut. Auch diese Antenne bevorzugt die lineare Polarisation, so dass ein Teil der Leistung vom Satelliten verloren geht. Darüberhinaus ist sie vergleichsweise klein und günstig.

Mikrostreifen-Patch

empfängt aus dem gesamten oberen Halbraum und kann so angesteuert werden, dass er eine zirkular polarisierte Welle optimal empfängt. Die Patchantenne ist zudem sehr einfach und günstig herstellbar.

Yagi-Uda Antenne

ist hier völlig ungeeignet, da sie recht teuer ist, und eine klare Richtwirkung nach oben hat, also die Satelliten an den Seiten nur noch schlecht oder gar nicht empfängt. Zudem ist sie teuer, ungünstig aufzubauen und empfängt auch nur den linear polarisierten Anteil der Welle.

**Der Mikrostreifenpatch mit Ansteuerung für zirkulare Polarisation ist zu bevorzugen**

- (e) Betrachten wir den Satelliten: Welche Grösse muss die Sendeantenne prinzipiell mindestens (Flächenwirkungsgrad 100 %) haben? Wenn nötig können Sie  $\pi = 3$  annehmen! (1 Punkt)

**Lösung:**

Für die Effektive Fläche einer Antenne gilt ( $G = 13 \text{ dBi} = 20$ )

$$A_e = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 20 \frac{0,2^2 \text{ m}^2}{4\pi} \quad A_e = \frac{20}{\pi} 10^{-2} \text{ m}^2 \approx 0,067 \text{ m}^2$$

Oben angegebene effektive Fläche ist die Fläche, die eine solche Antenne absolut mindestens haben muss. Real wird die Antenne noch um den Faktor 1,5 bis 2 grösser sein müssen.

Zusatzbemerkung (nicht für volle Punktzahl notwendig): Die Antenne hätte also mindestens einen Durchmesser von a. 30 cm.

### 3 Antennen und Wellenausbreitung (12 Punkte)

Auf der geostationären Bahn in 30.000 km über der Erdoberfläche befinden sich die bekannten Kommunikationssatelliten. Sie senden bei einer Wellenlänge von 3 cm. Die ausgesendete Leistung entspricht - verglichen mit dem isotropen Kugelstrahler - EIRP=100 kW.



Bild 4: Kommunikationssystem

1. Wie groß muss der Gewinn der Sendeantenne (in dBi) sein, wenn der Sender eine Ausgangsleistung von 100 W hat? (2 Punkte)

**Lösung:**

100 W entsprechen  $P_1 = 20$  dBW und 100 kW entsprechen  $P_{EIRP} = 50$  dBW. Der Gewinn der Antenne ist also  $G = P_{EIRP} - P_1 = 30$  dBi

2. Wie groß ist die Freiraumdämpfung (in dB) auf der Strecke vom Satelliten zur Erde? [Sie können  $\pi^2 = 10$  vereinfachen] (2 Punkte)

**Lösung:**

Für die Freiraumdämpfung gilt

$$L = \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 = \left( \frac{0,03m}{4\pi \cdot 3 \cdot 10^7 m} \right)^2$$

$$L = \frac{1}{\pi^2} \frac{1}{4^2} \cdot 10^{-18} \approx \frac{1}{16} \cdot 10^{-19}$$

Aus Tabelle der dB-Rechnung folgt, dass ein Faktor von 4 (linear) 6 dB (logarithmisch) entspricht. 1/16 entspricht also -12 dB.

Damit ist das Endergebnis  $L = -12 - 190 \text{ dB} = -202 \text{ dB}$  für die Freiraumdämpfung.

3. Die Empfangsantenne ist quadratisch und hat einen Gewinn von 33 dBi. Wie groß muss diese Antenne (Kantenlänge des Quadrates) bei einem Flächenwirkungsgrad von 60 % sein? (bei Bedarf ist  $\pi = 3$ ) (2 Punkte)

**Lösung:**

$$(G = 33 \text{ dBi} = 2000)$$

Für die Effektive Fläche einer Antenne gilt

$$A_e = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 2000 \frac{0,03^2 \text{ m}^2}{4\pi} \quad A_e = \frac{2000}{4\pi} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 1500 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,15 \text{ m}^2$$

Die Kantenlänge des Quadrates ist damit  $a = \sqrt{\frac{0,15}{0,6}} \text{ m} = \sqrt{\frac{1}{4}} \text{ m} = 50 \text{ cm}$

4. Nennen Sie verschiedene Möglichkeiten, eine solche Antenne zu realisieren. Diskutieren Sie die Funktion mindestens eines Ihrer Vorschläge! (Der Formfaktor "Quadrat" ist nicht zwingend!) (4 Punkte)

**Lösung:**

Als Lösung werden erwartet:

- Parabol-Antenne

Hier wird idR ein kreisrunder Reflektor als Paraboloid ausgeformt. Der Parabolspiegel bündelt die einfallende Welle auf einen Brennpunkt, in dem sich eine kleinere Antenne (in der Regel ein Horn) befindet. Dieses Horn empfängt die gebündelte Strahlung und wandelt sie in Signale auf einer Platine um. Diese können verarbeitet werden.

- Patch Array

Viele kleine Antennen, oft sind es Mikrostreifen-Patches, werden phasenstarr miteinander verkoppelt. Jedes Antennenelement empfängt einen Teil der Strahlung und leitet diesen in der Leistung weiter. Durch konstruktive Überlagerung der Signale der einzelnen Strahler entsteht ein gröSSeres Signal, das nun verarbeitet werden kann.

- Eine (Rechteck)Hornantenne

Hier wird die Strahlung mittels eines entsprechend aufgeweiteten Rechteckhohlleiters empfangen (sog. Horn). Die Strahlung wird durch die langsam zulaufende Form des Horns gebündelt und steht dann in einem üblichen Rechteckhohlleiter zur Verfügung. Durch geeignete Kopplung zur Platinenstruktur liegt nun ein Signal vor, das einfach weiterverarbeitet werden kann.

5. Worauf ist bei der Auslegung des Empfängers zu achten und warum? (2 Punkte)

**Lösung:**

Die erste Verstärkerstufe (LNA) ist besonders rauscharm auszulegen. Diese Stufe bestimmt die gesamte Rauschzahl des Systems. Da bei diesen Satelliten gestützten Kommunikationssystemen die Freiraumdämpfung sehr hoch ist, ist der empfangenen Signalpegel sehr gering und muss daher stark und vor allem rauscharm verstärkt werden.