

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Vom Dezibel bis zum Link Budget

The Things Network MeetUp Munic, 18.03.2019

Axel Treßel, DH5AT & KW4YK

Das Dezibel

Inhalt

- Das Dezibel
- Dämpfung
 - Kabeldämpfung
- Referenzantennen
- Freiraumdämpfung
- Link-Budget

Das Dezibel

Grundlagen

- In der Nachrichtentechnik wird mit Größen gearbeitet, die sehr klein und sehr groß sein können.
Zum Beispiel:
 - Sendeleistung: 20.000 Watt
 - Empfangsleistung: $8,58 \cdot 10^{-20}$ Watt
 - Es wird daher eine Vereinfachung gesucht.
Lösung: Ausnutzung der Eigenschaften des Logarithmus...
- Das Dezibel drückt das logarithmisch Verhältnis zwischen zwei Feldgrößen oder Leistungsgrößen aus.

Das Dezibel

Grundlagen

$$L = \log (P_1 / P_0) \text{ [Bel]}$$

Da die Zahlengrößen in Bel ungünstig sind, wird heute nahezu ausschließlich das Dezibel verwendet

$$L = 10 * \log (P_1 / P_0) \text{ [Dezibel]}$$

Das Dezibel

Grundlagen

$$L = 10 * \log (P1 / P0) \text{ [Dezibel]}$$

Beispiel 1:

$$P0 = 1\text{mW}$$

$$P1 = 10\text{mW}$$

$$\begin{aligned} L &= 10 * \log (10\text{mW} / 1\text{mW}) \\ &= 10 \text{ dB} \end{aligned}$$

Beispiel 2:

$$P0 = 1\text{mW}$$

$$P1 = 20\text{mW}$$

$$\begin{aligned} L &= 10 * \log (20\text{mW} / 1\text{mW}) \\ &= 13 \text{ dB} \end{aligned}$$

Beispiel 3:

$$P0 = 1\text{mW}$$

$$P1 = 100\text{mW}$$

$$\begin{aligned} L &= 10 * \log (100\text{mW} / 1\text{mW}) \\ &= 20 \text{ dB} \end{aligned}$$

Beispiel 4:

$$P0 = 1\text{mW}$$

$$P1 = 0,05 \text{ mW}$$

$$\begin{aligned} L &= 10 * \log (0,05\text{mW} / 1\text{mW}) \\ &= -13 \text{ dB} \end{aligned}$$

Das Dezibel

Grundlagen

$$I = U / R$$

ohmsches Gesetz

$$P = U * I$$

Leistungsberechnung

$$P = U * U / R$$

$$= U^2 / R$$

$$L = 10 * \log (P1 / P0)$$

$$= 10 * \log (U_1^2 / U_0^2)$$

$$= 2 * 10 * \log (U_1 / U_0)$$

$$= 20 * \log (U_1 / U_0)$$

Das Dezibel

Grundlagen

$$L = 20 * \log (U_1 / U_0) \text{ [Dezibel]}$$

Beispiel 1:

$$U_0 = 1V$$

$$U_1 = 10V$$

$$\begin{aligned} L &= 20 * \log (10V / 1V) \\ &= 20 \text{ dB} \end{aligned}$$

Beispiel 2:

$$U_0 = 1V$$

$$U_1 = 20V$$

$$\begin{aligned} L &= 20 * \log (20V / 1V) \\ &= 26 \text{ dB} \end{aligned}$$

Beispiel 3:

$$U_0 = 1V$$

$$U_1 = 100V$$

$$\begin{aligned} L &= 20 * \log (100V / 1V) \\ &= 40 \text{ dB} \end{aligned}$$

Beispiel 4:

$$U_0 = 1V$$

$$U_1 = 0,05 V$$

$$\begin{aligned} L &= 20 * \log (0,05V / 1V) \\ &= -26 \text{ dB} \end{aligned}$$

Das Dezibel

Grundlagen

Um die verwendete Referenzleistung /-spannung anzuzeigen, wird an das dB ein Buchstabe angehängt:

Referenzgröße

dBm \rightarrow $P_0 = 1\text{mW}$

dBW \rightarrow $P_0 = 1\text{W}$

dBV \rightarrow $U_0 = 1\text{V}$

dBu \rightarrow $U_0 = 0,775\text{V}$ (600 Ohm, 1mW)

Das Dezibel

Dämpfung

Signale werden bei der Übertragung schwächer.
D.h. die Ausgangsspannung/ -leistung ist kleiner
als die Eingangsspannung/ -leistung.

U_1

U_2



P_1

P_2

$$D = 10 * \log (P_1 / P_2)$$

$$D = 20 * \log (U_1 / U_2)$$

Das Dezibel

Dämpfung

Beispiel 1:

$$P_1 = 100W$$

$$P_2 = 25W$$

$$\begin{aligned} D &= 10 * \log (100W/ 25W) \\ &= 6dB \end{aligned}$$

$$U_1 = 100 V$$

$$U_2 = 50V$$

$$\begin{aligned} D &= 20 * \log (100V/50V) \\ &= 6dB \end{aligned}$$

Das Dezibel

Kabeldämpfung

Hochfrequente Signale werden auf Kabel gedämpft. Je höher die Frequenz, desto größer ist die Dämpfung, aufgrund der auftretenden elektrischen Verluste.

- ohmsche Verluste
- kapazitiver Belag
- induktiver Belag
- Dielektrizitätsverluste

Hinzu kommen noch mechanische Gegebenheiten, die die Verluste beeinflussen können.

- Veränderungen der Geometrie eines Kabels

Das Dezibel

Kabeldämpfung

Kabeldämpfung bei typischen Kabeltypen:

RG 58

RG 213

RG 174

(siehe Datenblatt)

Das Dezibel

Rechnen mit Dezibel

Ein Sender hat eine Ausgangsleistung von 25mW. Das verwendete Antennenkabel mit 10m Länge hat bei der Betriebsfrequenz eine Dämpfung von 6dB.

Fragen:

- a) Welche Sendleistung in dBm hat der Sender?
- b) Welche Leistung kommt am Ende des Kabels in dBm und in mW an?

a)

$$\begin{aligned} L &= 10 * \log (25\text{mW} / 1\text{mW}) \\ &= \underline{14 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} L_{10} &= 14 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} \\ &= \underline{8 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 10^{(L / 10)} * 1\text{mW} \\ &= 10^{(8 / 10)} * 1\text{mW} \\ &= \underline{6,3 \text{ mW}} \end{aligned}$$

Puhhh...



Referenzantennen

Der Isotropenstrahler

- wird auch Kugelstrahler oder isotrope Antenne genannt
- ist ein theoretisches Modell
- strahlt gleichmäßig in alle Raumrichtungen
- wird in der Hochfrequenztechnik als Referenzantenne verwendet

Referenzantennen

Der Lambda/2-Dipol

- ist eine häufig verwendete Grundantenne
- strahlt nicht gleichmäßig in alle Raumrichtungen
 - die Leistung wird daher in gewisse Raumrichtungen stärker abgestrahlt, als bei dem Isotropenstrahler
- daher ergibt sich ein Antennengewinn von 2,15dB



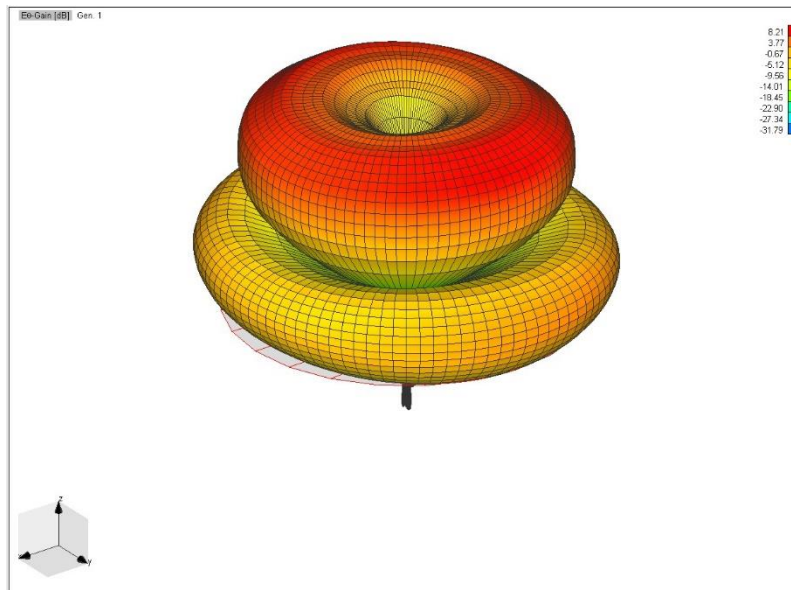
Antennengewinn

- Der Antennengewinn ist das Verhältnis der Leistung in Hauptstrahlrichtung zu der Leistung einer Referenzantenne (Isotropenstrahler oder Dipolantenne)
- Das Verhältnis der Leistung wird in Dezibel angegeben.
- dBi = im Verhältnis zum Isotropenstrahler
- dBd = im Verhältnis zur Dipolantenne

Antennengewinn

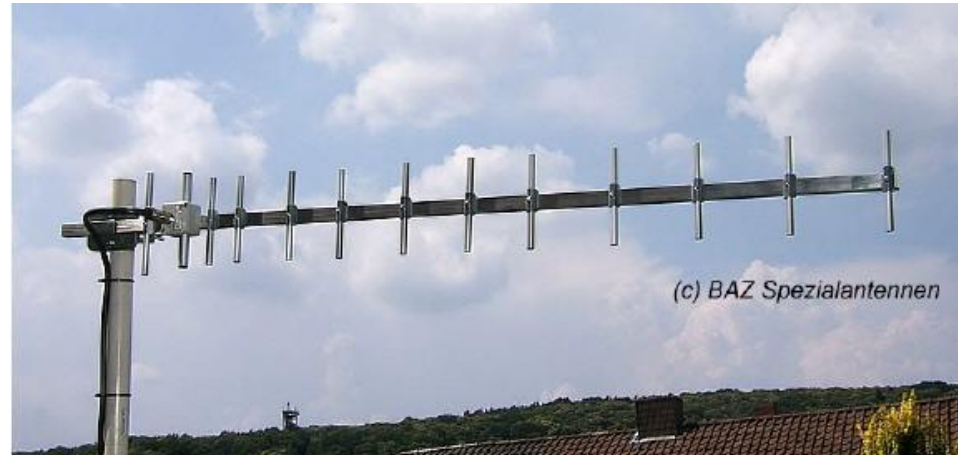
Groundplane-Antenne

- Ist eine häufig verwendete, omnidirektional strahlende Antenne.
- typischer Antennengewinn: 3dBd oder 5,15 dBi

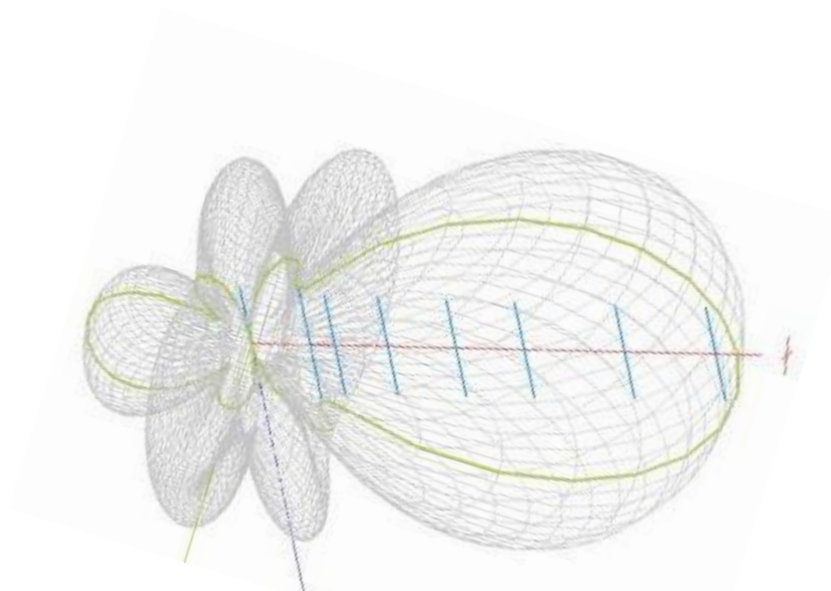


Antennengewinn

Yagi-Antenne



- Ist eine häufig verwendete Richtantenne.
- typischer Antennengewinn bei 13 Elementen (1 Reflektor, 1 Dipol, 11 Direktoren): 14,5 dBi, Raumwinkel: ca. 40 Grad



Freiraumdämpfung

Die Freifeldddämpfung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

- Reduzierung der Leistungsdichte, aufgrund der Entfernung zwischen Sender und Empfänger
- Abhängigkeit der Wirkfläche der Empfangsantenne von der Wellenlänge (Lambda)

$$F = \frac{A_{Kugel}}{A_{eff}} = 4\pi r^2 \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2$$

→ Die Freiraumdämpfung ist von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger und der Wellenlänge abhängig.

Freiraumdämpfung

Beispiel

Zwischen einem LoRaWAN Sender und Empfänger besteht eine Entfernung von 1km. Die Betriebsfrequenz beträgt 868 MHz. Wie groß ist die Freiraumdämpfung in dB?

$$F = 10 * \log (4 * \pi * r / \text{Lambda}) ^2$$

$$= 20 * \log (4 * \pi * r / \text{Lambda})$$

mit $\text{Lambda} = \text{Frequenz} / \text{Lichtgeschwindigkeit}$

$$= 20 * \log (4 * \pi * r * f / c)$$

$$= 20 * \log (4 * \pi * 1000\text{m} * 868 \text{ MHz} / 3 * 10^8 \text{ m/s})$$

$$= 91 \text{ dB}$$

Puhhh...



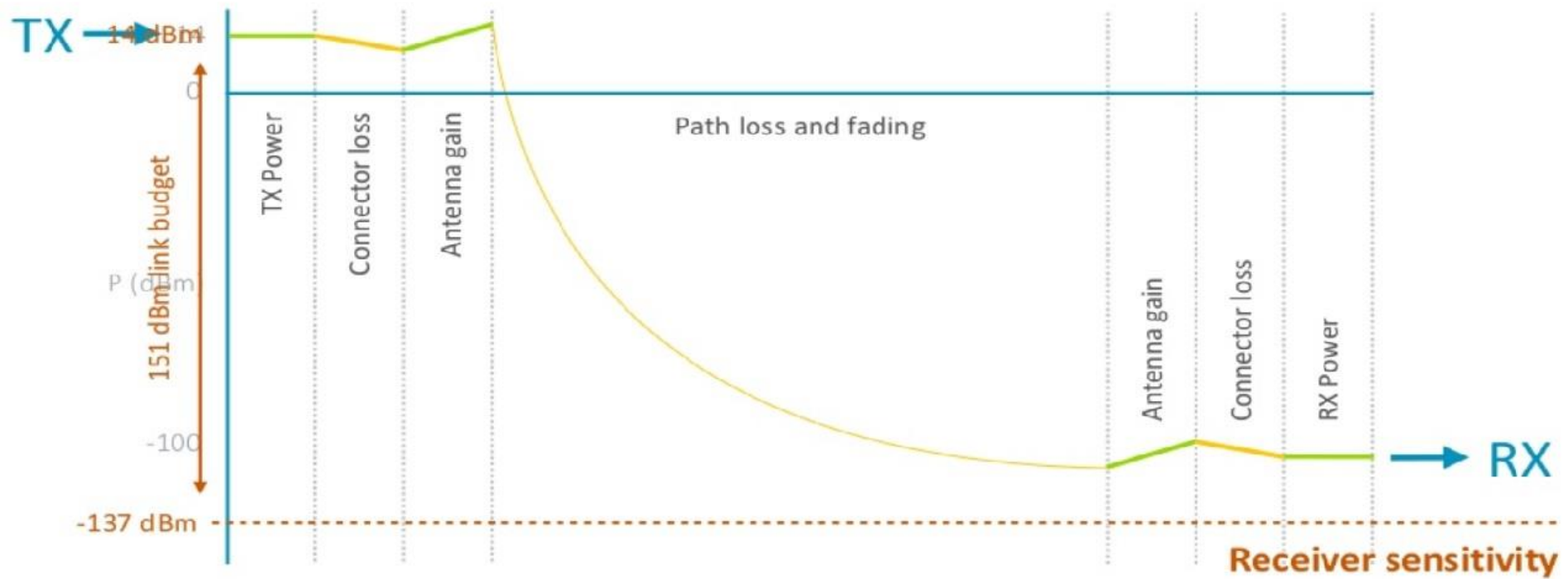
Link Budget

- Eine theoretische Betrachtung der Leistungsübertragungsbilanz einer Übertragungsstrecke vom Sender bis zum Empfänger.

Was wirkt sich auf das Link Budget aus?

- Sendeleistung (+)
- Kabeldämpfungen (-)
- Antennengewinne (+)
- Freiraumdämpfung (-)
- Weitere Effekte (-)

Link Budget



Link Budget

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX}$$

P_{RX} = Received power (dBm)

P_{TX} = Sender output power (dBm)

G_{TX} = Sender antenna gain (dBi)

L_{TX} = Sender losses (connectors etc.) (dB)

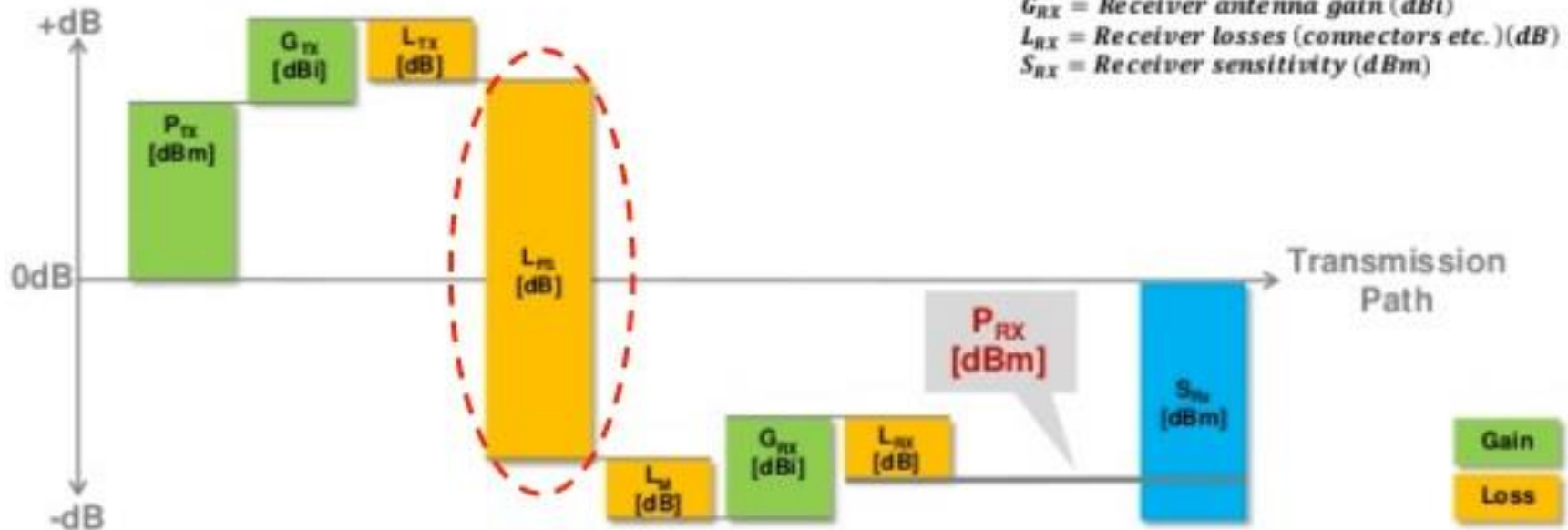
L_{FS} = Free space loss (dB)

L_M = Misc. losses (multipath etc.) (dB)

G_{RX} = Receiver antenna gain (dBi)

L_{RX} = Receiver losses (connectors etc.) (dB)

S_{RX} = Receiver sensitivity (dBm)





Danke für die
Aufmerksamkeit!