

# 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

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

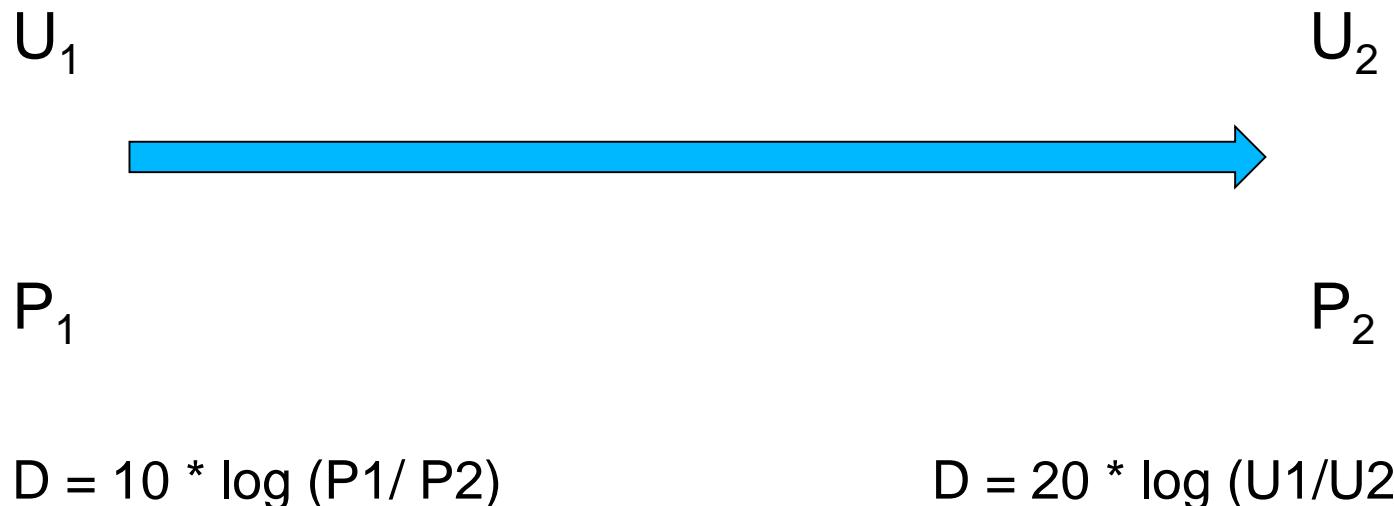
$$\text{dBW} \quad \rightarrow \quad P_0 = 1\text{W}$$

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

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

# Das Dezibel Dämpfung

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



# Das Dezibel Dämpfung

Beispiel 1:

$$P_1 = 100W$$

$$P_2 = 25W$$

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

---

$$U_1 = 100V$$

$$U_2 = 50V$$

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

# 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:

- Welche Sendeleistung in dBm hat der Sender?
- Welche Leistung kommt am Ende des Kabels in dBm und in mW an?

a)

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

b)

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

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

Puhhh...



# Referenzantennen

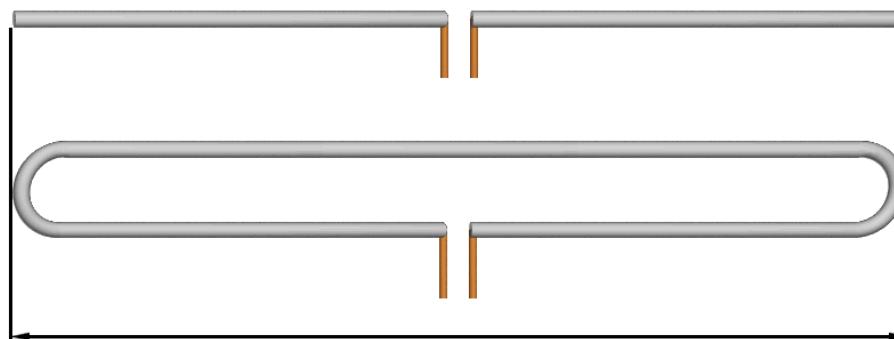
## Der Isotopenstrahler

- 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



$$\frac{\lambda}{2} \cdot \text{Verkürzungsfaktor}$$

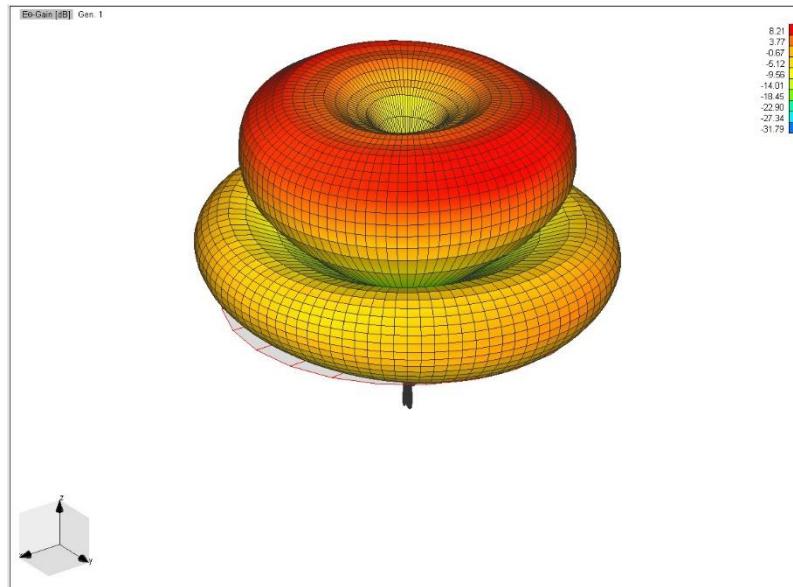
# Antennengewinn

- 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.
- 
- $\text{dBi}$  = im Verhältnis zum Isotropenstrahler
  - $\text{dBd}$  = im Verhältnis zur Dipolantenne

# Antennengewinn

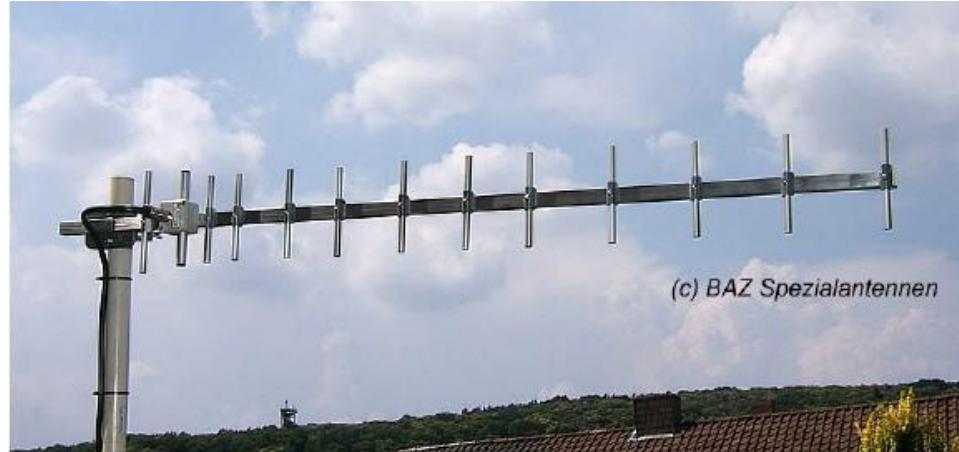
## Groundplane-Antenne

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

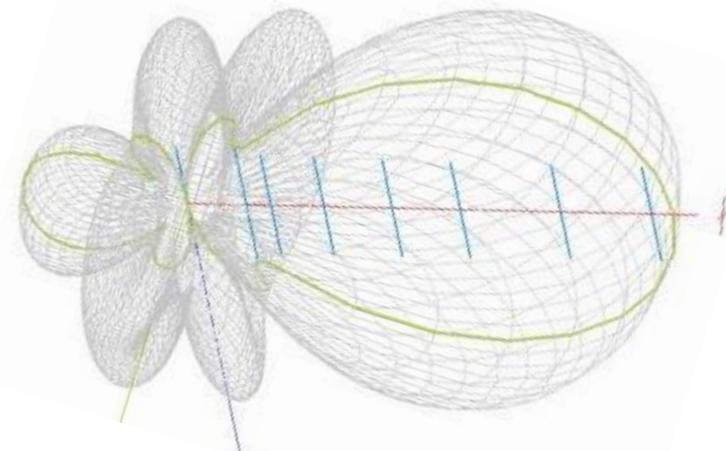


# Antennengewinn

## 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 Freifelddämpfung 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?

$$F = 10 * \log (4 * \pi * r / \lambda)^2$$

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

mit  $\lambda$  = Frequenz / Lichtgeschwindigkeit

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

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

$$\underline{= 91 \text{ dB}}$$

Puhhh...



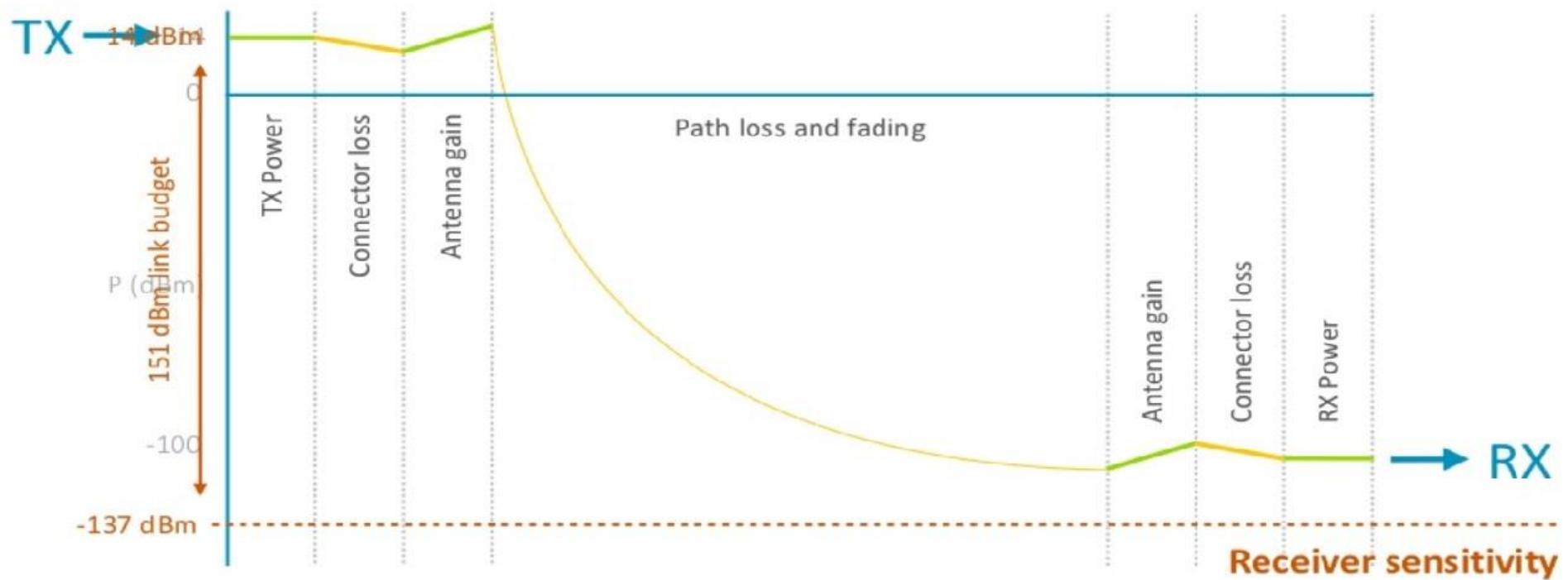
# Link Budget

- 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 (-)

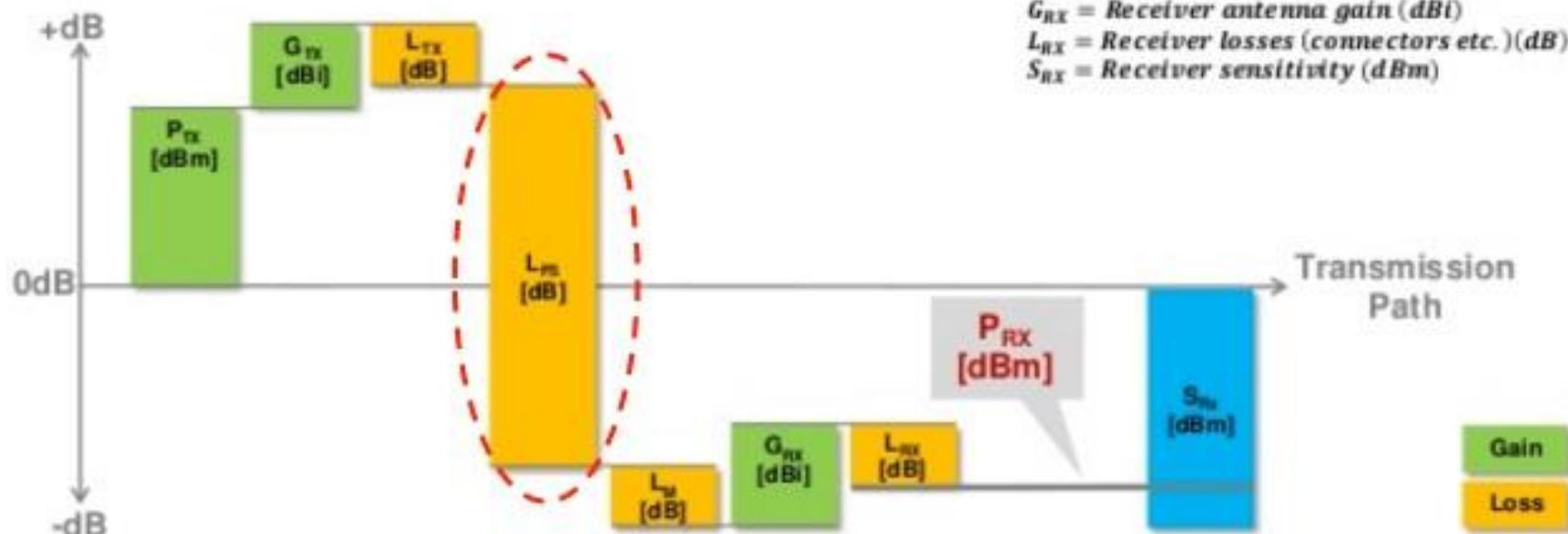
# Link Budget



# 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!