

## 1. Allgemeines

### Frequenz und Wellenlänge

Lichtgeschwindigkeit:  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$

$$f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

### dBm

dBm (Dezibel Milliwatt) ist die Einheit des Leistungspegels LP, der das Verhältnis einer Leistung P im Vergleich zur Bezugsleistung von 1 mW beschreibt.

$$L_p[\text{dBm}] = 10 \lg \left( \frac{P}{1\text{ mW}} \right)$$

$$P[\text{mW}] = 10^{\left( \frac{L_p[\text{dBm}]}{10} \right)} \cdot 1\text{ mW}$$

Rechnen mit dBm oder dBW

$$dB \pm dB = dB$$

$$dBm \pm dB = dBm$$

$$dBm - dBm = dB$$

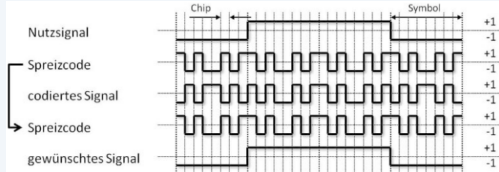
$$dBm + dBm : \text{nicht definiert}$$

## 2. (Wideband) Code Division Multiple Access

### Signalspreizung

Direct Sequence CDMA.

Datenstrom wird bei Sender & Empfänger mit Spreizcode multipliziert. Mehrere Datenströme können im gleichen Frequenzband übertragen werden.



Das Spektrum des gespreizten Nutzsymbols ist um ein vielfaches breiter, als das originäre Signal.

### Formelzeichen

Spreizfaktor:  $SF$

Processing Gain:  $PG$

Chiprate:  $b_c$

Nutzdatenrate:  $b_n$

Störabstand:  $SIR$

Signalleistung:  $S$

Anzahl der aktiven Signale in der Funkzelle:  $N$

Mittlere Nutzenergie pro Bit:  $E_b$

Rauschenergie pro Bit:  $N_0$

$$PG = 10 \lg SF \text{ dB}$$

$$SF = \frac{b_c}{b_n}$$

$$SIR = \frac{S}{(N-1)S} = \frac{1}{N-1}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/b_n}{((N-1)S)/b_c} = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{b_c}{b_n} = SIR \cdot SF$$

$$10 \cdot \lg \left( \frac{E_b}{N_0} \right) = 10 \cdot \lg(SIR) + PG \text{ dB}$$

$$N = \frac{b_c}{E_b/N_0 \cdot b_n} + 1$$

## 3. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

### Formelzeichen

Bandbreite:  $W$

Anzahl der Unterträger:  $n$

Breite der Unterträger:  $B_U +$

Symboldauer:  $T_D$

Zeitintervall:  $T_S$

Datensymbole:  $D_0 \dots D_{n-1}$

Grundfrequenz:  $f_G$

Kanalfrequenz:  $f_k$

Abtastrate:  $f_A$

### Formeln

$$B_U = \frac{W}{n}$$

$$f_k = k \cdot f_G \quad k \text{ ganzzahlig mit } -\frac{n}{2} \geq k \geq \frac{n}{2} - 1$$

$$f_A = f_G = \frac{1}{T_S}$$

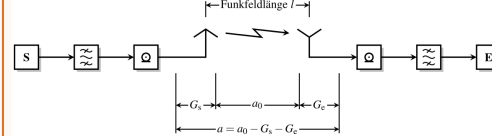
$$T_S = n \cdot T_D$$

$$\Delta f = f_k - f_{k-1} = k \cdot f_G - (k-1) \cdot f_G = f_G$$

## 4. Funkfelddämpfung

### 4.1. Allgemeines

### Formelzeichen



Gewinn der Sendeantenne:  $G_s$

Gewinn der Empfangsantenne:  $G_e$

Sendeleistung:  $P_s$

Empfangsleistung:  $P_e$

Funkfelddämpfung:  $a$

Freiraumdämpfung:  $a_0$

### Formeln

$$a = \frac{P_s}{P_e} = \frac{(4\pi l)^2}{\lambda^2 G_s G_e} \text{ als Faktor.}$$

$$a = P_s - P_e = 20 \lg \frac{4\pi l}{\lambda} - G_s - G_e \text{ in dB.}$$

$$a_0 = 20 \lg \frac{4\pi l}{\lambda} = 20 \lg \frac{4\pi \cdot f}{c}$$

### 4.2. Einwegausbreitung

#### Einwegausbreitung

Übertragungsfunktion (Einwegausbreitung):

$$H(f) = a_1 e^{j\varphi_1} = a_1 e^{-j2\pi f \tau_1}$$

Laufzeit:  $\tau_1$

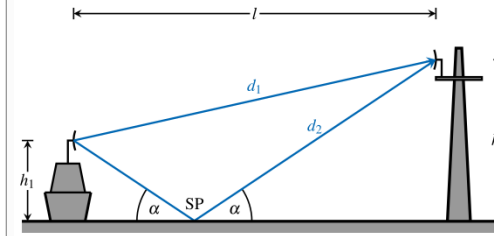
$$\text{Komplexe Amplitude der Übertragungsfunktion: } a_1 = \frac{4\pi d_1}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{G_s G_e}}$$

Phasenwinkel der Übertragungsfunktion:  $\varphi_1$

$$|H(f)| = a_1$$

$$\text{Laufweg: } d_1 \tau_1 \cdot c$$

### 4.3. Zweiwegeausbreitung



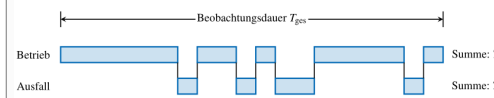
Impulsantwort:  $h(t) = a_1 \delta(t - \tau_1) + a_2 \delta(t - \tau_2)$

Phasendifferenz:  $\Delta\varphi = 2n\pi$  mit  $n \in \mathbb{N} \rightarrow$  Feldstärke verdoppelt.

Phasendifferenz:  $\Delta\varphi = (2n+1)\pi$  mit  $n \in \mathbb{N} \rightarrow$  Feldstärke ausgelöscht.

## 5. Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit

### 5.1. Verfügbarkeit



$$\text{Verfügbarkeit: } V = \frac{T_B}{T_{ges}} = \frac{T_B}{T_B + T_A} = 1 - \frac{T_A}{T_{ges}}$$

$$\text{Verfügbarkeit Serienschaltung: } V_{ges} = \prod_{i=1}^N V_i$$

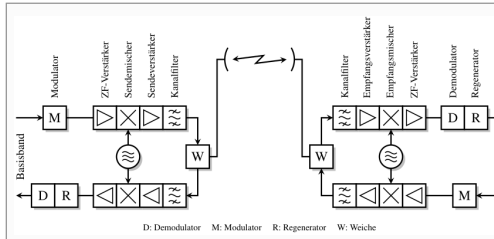
$$\text{Verfügbarkeit Parallelschaltung: } V_{ges} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - V_i)$$

### 5.2. Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein System innerhalb eines gegebenen Zeitabschnitts keinen Ausfall aufweist. Eine Messgröße für die Zuverlässigkeit ist die mittlere Abstand zwischen zwei Ausfällen, die Mean Time Between Failures (MTBF). Zusammen mit der mittleren Instandsetzungsdauer (Mean Time To Repair) ergibt sich:

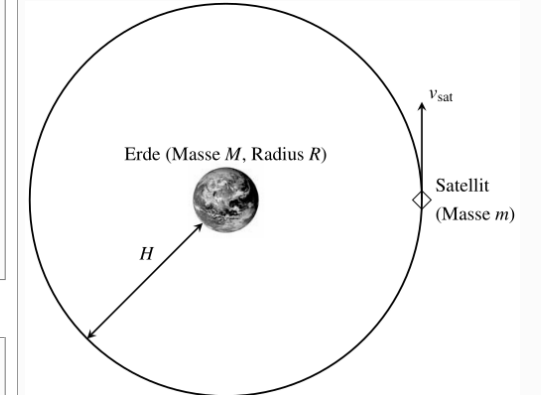
$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

## 6. Richtfunksysteme



## 7. Satellitenfunk

### 7.1. Satellitenbahnen



Gravitationskonstante:  $\gamma_s = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$$\text{Umlaufzeit: } T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+H)^3}{\gamma_s M_E}}$$

$$\text{Bahngeschwindigkeit: } v_{sat} = 2\pi \frac{H+R}{T}$$

$$\text{Umlaufzeit Erde: } T \approx 1,4 \text{ h} \left( 1 + \frac{H}{6378 \text{ km}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{T^2}{4\pi^2} \gamma_s M_E - R}$$

### EIRP

Alles in dB!

Boltzmann-Konstante:  $k_B = 228,6 \text{ dB(K/Ws)}$

Güte:  $(G_E - T_E)$

Margin:  $M$

Zusatzdämpfung:  $a_z$

Rauschbandbreite:  $B_r = 10 \lg(\text{Bandbreite})$

Rauschleistung:  $N = k_B T_e$

Trägerleistung:  $C = P_s G_s G_e / a_0 a_z$

Störabstand dez:  $C/N = \frac{P_s G_s G_e}{k_B T_e a_0 a_z M}$

Störabstand log:  $C/N = EIRP + (G_E - T_E) - a_0 - a_z - M - B_r + k_B$

Bei  $\lim_{C/N \rightarrow 0} : EIRP = -(G_E - T_E) + a_0 + B_r + M + a_z - k_B$

## 8. Mikrowellentechnik

### Ebene Wellen im Leiter

Permeabilität:  $\mu$

Permeabilität für Vakuum:  $\mu_0$

Leitwert für Kupfer:  $\kappa_{Cu} = 5,8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$

Leitwert für Aluminium:  $\kappa_{Al} = 3,66 \cdot 10^7 \text{ S/m}$

$$\text{Eindringtiefe: } \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu}}$$

$$\text{Eindringtiefe für Kupfer: } \delta_{Cu} = \frac{66,085 \mu\text{m}}{\sqrt{f \text{ MHz}}}$$

$$\text{Eindringtiefe für Aluminium: } \delta_{Al} = \frac{83,249 \mu\text{m}}{\sqrt{f \text{ MHz}}}$$

$$\text{Oberflächenwiderstand: } R_0 = \frac{1}{\kappa \cdot \delta} = \sqrt{\frac{\omega \mu}{2 \kappa}}$$

### Geführte Wellen

Bandleitungshöhe:  $h$

Relative Permeabilität eines Substrats:  $\epsilon_r$

$$\text{Feldwellenwiderstand: } Z_F = Z_0 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r}}$$