

## Anlage 2

## Ermittlung der Systemdämpfung

## 1. Allgemeines

Die Systemdämpfung ist die Dämpfung des Funksignals bei Punkt zu Punkt-Verbindungen zwischen dem Ausgang des Senders und dem Eingang des Empfängers.

Dabei wird der Gewinn der Antennen in Richtung zur Gegenstelle bzw. zum Hindernis, die Kabeldämpfung, die Freiraumdämpfung und die Zusatzdämpfung durch Hindernisse berücksichtigt.

Die ermittelte Systemdämpfung bildet die Grundlage für die Bemessung der erforderlichen Ausgangsleistung des Senders.

## 2. Ermittlung grundlegender Werte

Es ist ein Geländeschnitt zwischen den Antennen des Senders und des Empfängers zu erstellen (siehe Bild 1). Wenn die Morphologie unbekannt ist, muss - in Richtung von T nach R betrachtet - von 1000 m nach T bis 1000 m vor R jeweils pauschal 10 m zu den topographischen Höhen addiert werden.

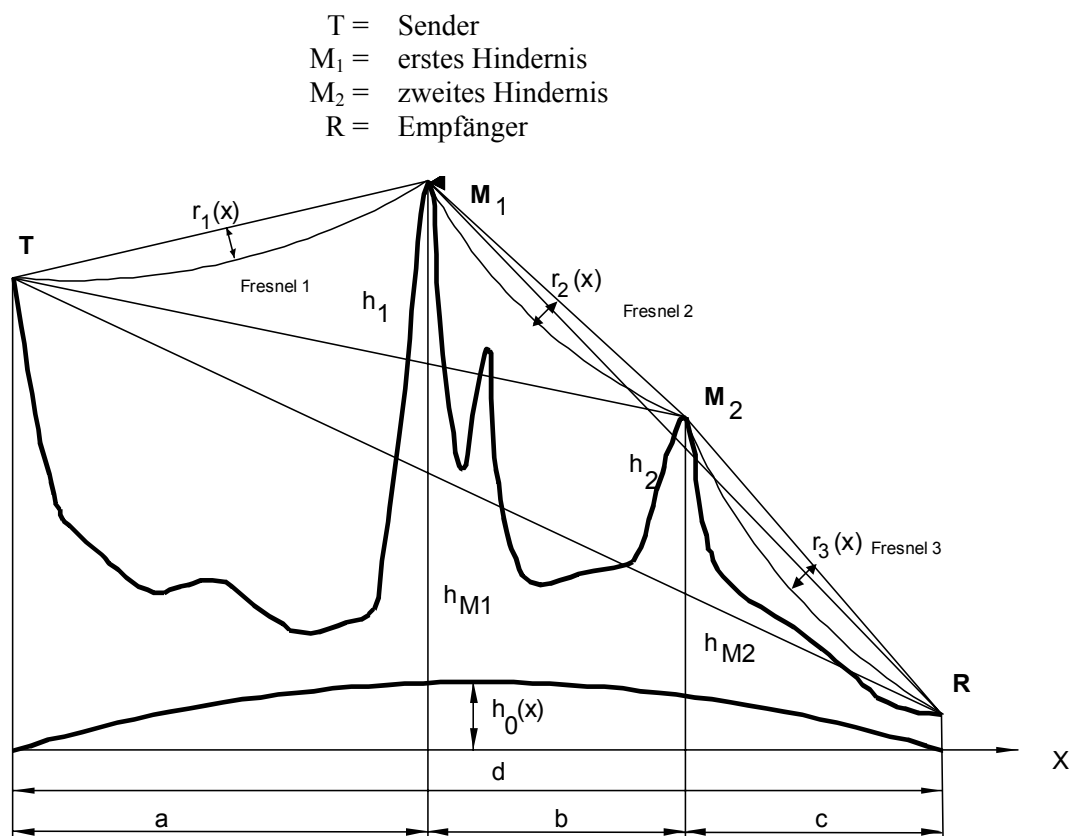


Bild 1: Geländeschnitt mit zwei zu berücksichtigenden Hindernissen

Die zu berücksichtigende 4/3-Erdüberhöhung

ist

$$h_0(x) = \frac{x \cdot (d - x)}{17 \cdot 10^6} \quad (m)$$

wobei die Maßeinheiten einheitlich in Metern zu setzen sind.

Es sind die Höhen  $h_1$  und  $h_2$  und die Fresnelzonen  $r_1(x)$  bis  $r_3(x)$  (bei einem Hindernis entsprechend nur  $h$  und die Fresnelzonen  $r_1(x)$  und  $r_2(x)$ ) zu ermitteln.

Die Höhe 
$$h_1 = h_{M1} \cdot \left( h_T + \frac{h_R - h_T}{a + b + c} \cdot a \right)$$

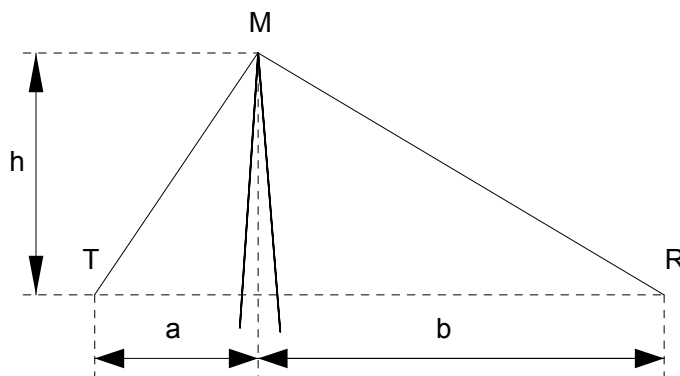
Die Höhe 
$$h_2 = h_{M2} \cdot \left( h_T + \frac{h_R - h_T}{a + b + c} \cdot (a + b) \right)$$

Die Fresnelzone 
$$r_1(x) = \sqrt{x \cdot \frac{(a-x) \cdot \lambda}{a}} = 1,73 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{\frac{x \cdot (a-x)}{f \cdot a}}$$

$\lambda$  ist die Wellenlänge. Die übrigen Größen ergeben sich aus Bild 1. Alle Werte sind in Grundeinheiten einzusetzen (Strecken in Meter, Frequenz  $f$  in Hertz).

### 3. Ermittlung der Beugungsdämpfung bei einem Hindernis

Mit Hilfe des Bildes 2 und den angegebenen Gleichungen wird die Beugungsdämpfung durch ein topographisches Hindernis errechnet.



**Bild 2:** Berechnung der Beugungsdämpfung bei einem topographischen Hindernis

Die Beugungsdämpfung ist 
$$a_m = 6,4 + 20 \log_{10} \left( \sqrt{v^2 + 1} + v \right) \quad (\text{dB})$$

Wenn  $a_m$  den Wert von 40 dB übersteigt, wird der Wert 40 dB für weitere Berechnungen verwendet.

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)} = 8,16 \cdot 10^{-5} \cdot h \cdot \sqrt{f \cdot \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)}$$

Wenn  $v$  kleiner ist als -1, wird der Wert -1 für weitere Berechnungen verwendet.

Für die rechnerische Ermittlung von  $h$  gilt folgende Gleichung:

$$h = h_M - \left( h_T + \frac{h_R - h_T}{a + b} \cdot a \right)$$

$h$  kann auch negative Werte (unterhalb der Sichtlinie von T nach R) annehmen.

#### 4. Ermittlung der Beugungsdämpfung bei zwei Hindernissen

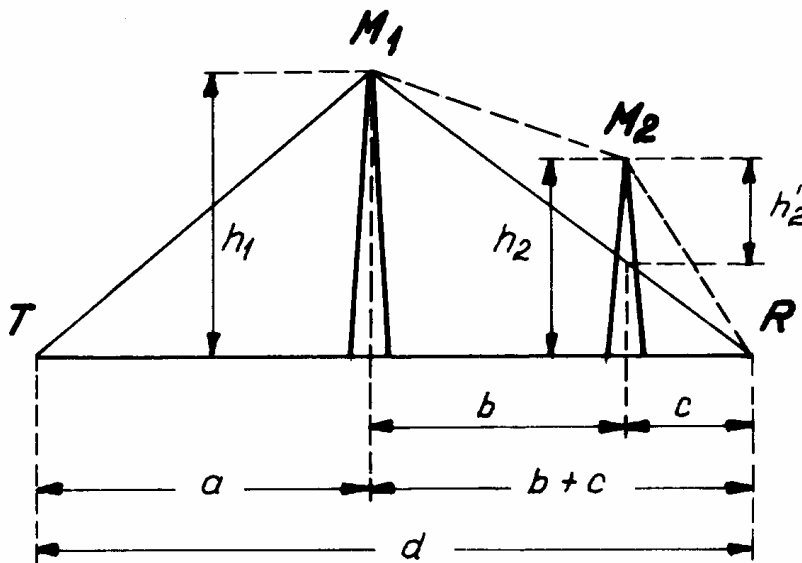


Bild 3: Berechnung der Beugungsdämpfung bei zwei topographischen Hindernissen

Zuerst muss das Haupthindernis bestimmt werden.

Wenn  $h_1 \cdot \sqrt{(a+b) \cdot c} \geq h_2 \cdot \sqrt{(a+b) \cdot a}$ , so ist  $M_1$  das Haupthindernis;

Wenn  $h_1 \cdot \sqrt{(a+b) \cdot c} < h_2 \cdot \sqrt{(a+b) \cdot a}$ , so ist  $M_2$  das Haupthindernis;

Für das Haupthindernis wird die Beugungsdämpfung  $a_{\text{mHaupt}}$  so berechnet, als wäre es das einzige Hindernis (unter Punkt 3 beschrieben).

Für das Nebenhindernis wird die Beugungsdämpfung  $a_{\text{mNeben}}$  so berechnet, als führte die Funkverbindung vom Haupthindernis über das Nebenhindernis zur entsprechenden Funkstation.

Im Bild 3 ist  $M_1$  als Haupthindernis und  $M_2$  als Nebenhindernis dargestellt. Für die Bestimmungen von  $v_{\text{Haupt}}$  laut Gleichung

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)} = 8,16 \cdot 10^{-5} \cdot h \cdot \sqrt{f \cdot \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)}$$

sind die Größen  $a$ ,  $(b + c)$  und  $h_1$ , für die Berechnung von  $v_{\text{Neben}}$  sind  $b$ ,  $c$  und  $h_2$  zu benutzen.

$$\text{Dabei ist } h_2' = h_2 - h_1 \cdot \frac{c}{b + c}$$

Bei mehr als zwei Hindernissen erfolgt die Berechnung der Systemdämpfung durch das **Summenhindernisverfahren**:

An die Hindernisse werden jeweils vom Sender und vom Empfänger Tangenten gelegt. Der Schnittpunkt jener Tangenten, die den größten Winkel mit der Erdoberfläche einschließen, wird als Spitze eines Ersatzhindernisses angenommen. Die Berechnungen werden mit diesem Ersatzhindernis sinngemäß wie unter Punkt 3 durchgeführt.

## 5. Systemdämpfung bei freier Ausbreitung

Wenn die erste Fresnelzone frei von Hindernissen ist, wird die Systemdämpfung nach folgender Gleichung ermittelt:

$$a_{\text{sys}} = 28 + 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f - G_A - G_B + a_A + a_B$$

wobei

- $a_{\text{sys}}$  = Systemdämpfung in dB
- $d$  = Funkfeldlänge in km
- $f$  = Frequenz in MHz
- $G_A$  = Gewinn der Antenne am Standort A in dB bezogen auf einen  $\lambda/2$  Dipol in dB
- $G_B$  = Gewinn der Antenne am Standort B in dB bezogen auf einen  $\lambda/2$  Dipol in dB
- $a_A$  = Dämpfung durch Antennenkabel, Stecker (Sender) und externe Dämpfungsglieder am Standort A in dB
- $a_B$  = Dämpfung durch Antennenkabel, Stecker (Empfänger) und externe Dämpfungsglieder (in die Empfängerzuleitung eingeschaltet) am Standort B in dB

Der Gewinn der Antenne in Richtung zur Gegenstelle wird ermittelt durch Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Komponente. Der geometrische Mittelwert der beiden Komponenten wird für die weitere Berechnung verwendet:

$$G_A = \sqrt{G_{AH}^2 + G_{AV}^2}$$

- wobei
- $G_{AH}$  = Gewinn der Antenne aus dem Horizontaldiagramm in horizontaler Richtung zur Gegenstelle in dB
  - $G_{AV}$  = Gewinn der Antenne aus dem Vertikaldiagramm in vertikaler Richtung zur Gegenstelle in dB

## 6. Systemdämpfung bei behinderter Ausbreitung

Wird die Funkwelle durch eine beugende Kante (z.B. Bergrücken) behindert, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung verläuft, ergibt sich eine zusätzliche Dämpfung durch dieses Hindernis. Zur ermittelten Systemdämpfung entsprechend den Punkten 2, 3, 4 und 5 ist daher eine Zusatzdämpfung zu addieren.

Die Zusatzdämpfung hängt vom Verhältnis des Hindernisses zum Radius der Fresnelzone ab.

### **7. Dämpfung durch andere Hindernisse**

Wird die Funkwelle durch Hindernisse behindert, die nur eine Ausbreitung durch Reflexionen zulässt, so wird die Systemdämpfung durch eine Messung ermittelt.