

# **Anlage 10**

**Bestimmung der Grundübertragungsdämpfung im festen Funkdienst**

## **Prognoseverfahren für die Bewertung der Grundübertragungsdämpfung**

### **1. Einleitung**

Das im vorliegenden Kapitel beschriebene Prognoseverfahren basiert auf der Empfehlung ITU-R P.452-9. Dieses Verfahren eignet sich für Richtfunkverbindungen im Frequenzbereich von etwa 0,7 GHz bis 30 GHz. Da jedoch keine Modelle für den Frequenzbereich bis 39,5 GHz verfügbar sind, wurde entschieden, es auch dort einzusetzen. Das Verfahren umfaßt eine komplementäre Reihe von Ausbreitungsmodellen, die sicherstellen, dass die Prognosen alle signifikanten Ausbreitungsmechanismen in Bezug auf langfristige Störungen berücksichtigen. Es werden auch Verfahren für die Untersuchung der radiometeorologischen und topographischen Eigenschaften des Ausbreitungsweges zur Verfügung gestellt, so dass Prognosen für jeden möglichen Störweg erstellt werden können, der in den Rahmen des Verfahrens fällt.

Die Prognose erfolgt in vier Schritten, die in den Abschnitten 3, 4, 5 und 6 beschrieben sind.

### **2. Grundlagen für die zur Prognose verwendeten Modelle**

Es wird davon ausgegangen, dass eine Störung, die für eine kleine Zeitwahrscheinlichkeit (kurzfristig) signifikant ist, die Übertragungsqualität nicht verschlechtern kann, weshalb Mechanismen zur Ausbreitung kurzfristiger Störungen nicht in das Prognoseverfahren aufgenommen wurden. Infolge dieser Annahme werden nur langfristige Störungen berücksichtigt; deshalb wird unterstellt, dass die errechnete Grundübertragungsdämpfung in 20 % der Zeit nicht überschritten wird. Folglich werden die drei nachstehend aufgeführten Ausbreitungsmodelle für das Verfahren angewandt:

- Sichtverbindung (einschließlich Signalverstärkung aufgrund von Mehrwege- und Fokussierungseffekten)
- Beugung (umfaßt Fälle von glatter Erde, rauhem Gelände und Unterwege)
- Troposcatter

Je nach der Art des Ausbreitungswegs, die durch eine Analyse des Geländeschnitts festgestellt wird, werden ein oder mehrere dieser Modelle angewendet, um die erforderliche Vorhersage bezüglich der Grundübertragungsdämpfung zu treffen.

Die Ausbreitungsprognosemodelle sagen die durchschnittliche jährliche Verteilung der Grundübertragungsdämpfung voraus.

Da die radiometeorologischen und topographischen Eigenschaften des Geländes aller Signatarländer beinahe identisch erschienen, wurden die gemeinsamen Werte angenommen. Die Werte für derartige Parameter lauten wie folgt:

$\Delta N$ : Der durchschnittliche senkrechte Gradient des Funkbrechungsindex im Verlauf des untersten 1 km der Atmosphäre (N-Einheiten / km) = 45

$N_0$ : Oberflächenrefraktivität auf Meereshöhe, (N-Einheiten) = 325

$p$ : Druck = 1013 hPa

$t$ : Temperatur = 15°C

### **3. Schritt 1 des Prognoseverfahrens: Vorbereitung der Eingabedaten**

Die grundlegenden Eingabedaten, die für das Verfahren benötigt werden, sind in Tabelle 1 angeführt. Alle sonstigen erforderlichen Informationen werden während der Ausführung des Verfahrens von diesen grundlegenden Daten abgeleitet.

**TABELLE 1**  
**Grundlegende Eingabedaten**

Parameter	Bevorzugte Auflösung	Beschreibung
f	0,00001	Frequenz (GHz)
$\varphi_t, \varphi_r$	1	Geographische Breite der Funkstelle (Sekunden)
$\Psi_t, \Psi_r$	1	Geographische Länge der Funkstelle (Sekunden)
$h_{tg}, h_{rg}$	1	Höhe der Antennenschwerpunkte über dem Boden (m)
$h_{ts}, h_{rs}$	1	Höhe des Antennenschwerpunktes über der mittleren Meereshöhe (m)
$G_t, G_r$	0,1	Antennengewinn in Richtung des Horizonts entlang des Großkreisstörwegs (dBi)

#### **ANMERKUNG 1**

Für die störende und die gestörte Funkstelle:

t = störende Funkstelle

r = gestörte Funkstelle

### **4. Schritt 2 des Prognoseverfahrens: radiometeorologische Daten**

Die Werte der radiometeorologischen Parameter, die für alle Länder West-, Süd- und Mitteleuropas als gemeinsam ermittelt werden konnten, sind unter § 2 angegeben. Im Prognoseverfahren muß  $\beta_0$  (%), d.h. die Zeitwahrscheinlichkeit, für die in den ersten 100 m der unteren Atmosphäre senkrechte Brechungsindexgradienten von mehr als 100 N-Einheiten / km erwartet werden können, bewertet werden. Dieser Parameter wird verwendet, um die relative Inzidenz voll ausgebildeter anomaler Ausbreitung in der betrachteten geographischen Breite abzuschätzen. Der Wert von  $\beta_0$ , der zu verwenden ist, ist jener, der der geographischen Breite der Mitte des Ausbreitungsweges entspricht. Die Punktinzidenz anomaler Ausbreitung,  $\beta_0$  (%), für die Mitte des Ausbreitungsweges wird mit Hilfe der folgenden Formel bestimmt:

$$\beta_0 = 10^{-0,015 |\varphi| + 1,67} \mu_1 \mu_4 \quad (\%) \quad (1)$$

wobei:

$\varphi$  : geographische Breite (Grad) der Mitte des Ausbreitungsweges, nicht nördlicher als  $70^\circ$  und nicht südlicher als  $-70^\circ$ .

Der Parameter  $\mu_1$  hängt von dem Ausmaß ab, in dem der Ausbreitungsweg über Land (Binnenland und/oder Küstenland) und Wasser führt, und errechnet sich wie folgt:

$$\mu_1 = \left[ 10^{\frac{-d_{tm}}{16 - 6.6 \tau}} + \left[ 10^{-(0.496 + 0.354 \tau)} \right]^5 \right]^{0.2} \quad (2)$$

wobei der Wert von  $\mu_1$  auf  $\mu_1 \leq 1$  begrenzt ist.

Dabei gilt:

$$\tau = \left[ 1 - e^{-\left(4.12 \times 10^{-4} \times d_{lm}^{2.41}\right)} \right] \quad (3)$$

wobei:

$d_{tm}$  längster durchgehender über Land (Binnenland + Küstenland) führender Abschnitt des Großkreisweges (km)

$d_{lm}$  längster durchgehender über Binnenland führender Abschnitt des Großkreisweges (km)

Die für die Ableitung von  $d_{tm}$  und  $d_{lm}$  zu verwendenden Radioklimazonen sind in Tabelle 2 definiert.

$$\mu_4 = 10^{(-0.935 + 0.0176 |\varphi|) \log \mu_1} \quad (4)$$

**TABELLE 2**  
**Radioklimazonen**

Zonentyp	Code	Definition
Küstenland	A1	Küstenland und Ufergebiete, d.h. Landgebiete am Meer bis zu einer Höhe von 100 m relativ zur durchschnittlichen Meeres- oder Wasserhöhe, maximal 50 km vom nächsten Meeresgebiet entfernt. Wenn exakte 100m-Daten nicht verfügbar sind, kann ein Näherungswert verwendet werden.
Binnenland	A2	Jegliches Land mit Ausnahme der oben als "Küstenland" definierten Küsten- und Ufergebiete.
Gewässer	B	Meere, Ozeane und andere große Wasserflächen (d.h. die einen Kreis von mindestens 100 km Durchmesser abdecken)

## Große Wasserflächen im Binnenland

Eine "große Wasserfläche" im Binnenland, die als in Zone B gelegen anzusehen ist, ist definiert als eine Wasserfläche von mindestens 7800 km<sup>2</sup>, wobei die Fläche von Flüssen ausgenommen ist. Inseln innerhalb derartiger Wasserflächen sind als Wasser in die Berechnung dieser Flächen einzubeziehen, wenn mehr als 90% ihrer Fläche aus Erhebungen besteht, die niedriger als 100 m über der durchschnittlichen Wasserhöhe liegen. Inseln, die diesen Kriterien nicht entsprechen, sollten zum Zweck der Berechnung der Wasserfläche als Land klassifiziert werden.

## Große Seenlandschaften oder Feuchtgebiete im Binnenland

Große Gebiete im Binnenland mit einer Fläche von mehr als 7800 km<sup>2</sup>, die viele kleine Seen oder ein Netz von Flüssen enthalten, sollten von den Verwaltungen als "Küstenland", Zone A1, klassifiziert werden, wenn sie mehr als 50% Wasserfläche umfassen und mehr als 90% des Landes sich weniger als 100 m über der durchschnittlichen Wasserhöhe befinden.

Klimaregionen, die der Zone A1 angehören, große Wasserflächen im Binnenland und große Seenlandschaften und Feuchtgebiete im Binnenland eindeutig zu bestimmen, ist schwierig. Deshalb werden die Verwaltungen dazu aufgefordert, jene Regionen innerhalb ihrer territorialen Grenzen, die sie als einer dieser Kategorien zugerechnet wissen möchten, bei der TWG HCM zu melden. Falls keine anderweitigen Informationen registriert werden, werden alle Landflächen der Klimazone A2 zugerechnet.

## Effektiver Erdradius

Der mediane effektive Erdradiusfaktor  $k_{50}$  für den Ausbreitungsweg wird bestimmt wie folgt:

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N} \quad (5)$$

Wenn man einen realen Erdradius von 6371 km und den durchschnittlichen Funkbrechungsindex  $\Delta N$  (N-Einheiten / km) für West-, Süd- und Mitteleuropa von 45 annimmt, errechnet sich der Medianwert des effektiven Erdradius  $a_e$  wie folgt:

$$a_e = 6\,371 \text{ km} \cdot k_{50} = 8930,8 \text{ km} \quad (6)$$

## 5. Schritt 3 des Prognoseverfahrens: Analyse des Geländeschnittes

Werte für eine Anzahl wegbezogener Parameter, die für die Berechnungen erforderlich und in Tabelle 3 und 4 genannt sind, müssen mittels einer anfänglichen Analyse des Geländeschnittes auf der Grundlage des mit Hilfe von Gleichung (6) errechneten Werts  $a_e$  abgeleitet werden. Für eine Analyse des Geländeschnittes benötigt man ein Wegprofil von Geländehöhen über der durchschnittlichen Meereshöhe. Nach einer solchen Analyse des Profils ist damit auch der Ausbreitungsweg einer der drei in Tabelle 5 genannten geometrischen Kategorien zugeordnet.

**TABELLE 3**  
**Parameter, die aus der Analyse des Geländeschnittes abzuleiten sind**

Art des Ausbreitungsweges	Parameter	Beschreibung
Trans-Horizont	D	Großkreis-Wegentfernung (km)
Trans-Horizont	$d_{lt}$ , $d_{lr}$	Entfernung von den Sende- und Empfangsantennen zu ihrem jeweiligen Horizont (km)
Trans-Horizont	$\theta_t$ , $\theta_r$	Elevationswinkel des Sende- und Empfangshorizonts (mrad)
Trans-Horizont	$\theta$	Winkelabstand des Ausbreitungsweges (mrad)
Alle	$h_{ts}$ , $h_{rs}$	Höhe des Antennenschwerpunktes über der durchschnittlichen Meereshöhe (m)
Alle	$d_b$ (1)	Gesamtlänge der Wegabschnitte über Wasser (km)
Alle	$\omega(1)$	Über Wasser verlaufender Anteil am Gesamtweg:  $\omega = d_b / d \quad (7)$ wobei d die Großkreisentfernung (km) ist. Für Gesamtausbreitungswege über Land gilt $\omega = 0$
Trans-Horizont	$d_{ct}$ (1)	Entfernung vom ersten Terminal (Störquelle) zur Küste entlang des Großkreis-Störweges (km)
Trans-Horizont	$d_{cr}$ (1)	Entsprechende Entfernung für die zweite (gestörte) Funkstelle (km)

(1) Diese Parameter sind nur erforderlich, wenn der Ausbreitungsweg einen oder mehrere Abschnitte umfaßt, die über Wasser verlaufen.

Die exakten Werte von  $d_{ct}$  und  $d_{cr}$  sind nur wichtig, wenn  $d_{ct}$  und  $d_{cr} \leq 5$  km. Wenn in einem oder beiden Fällen die Entfernungen offensichtlich mehr als 5 km betragen, braucht nur der Zustand  $> 5$  km angemerkt werden. Eine detaillierte Bewertung dieser beiden Parameter wird in der Praxis nur für wenige Störwege erforderlich sein.

**TABELLE 4**  
**Definition der Wegprofilparameter**

Parameter	Beschreibung
$a_e$	Effektiver Erdradius (km)
$d$	Großkreiswegentfernung (km)
$d_i$	Großkreisentfernung des i-ten Geländepunkts vom Störer (km)
$d_{ii}$	Inkrementabstand für regelmäßige Wegprofilaten (km)
$f$	Frequenz (GHz)
$\lambda$	Wellenlänge (m)
$h_{ts}$	Antennenhöhe des Störers (m) über der durchschnittlichen Meereshöhe
$h_{rs}$	Antennenhöhe der gestörten Funkstelle (m) über der durchschnittlichen Meereshöhe
$\theta_t$	Elevationswinkel des Horizonts über der lokalen Horizontalen (mrad), von der störenden Antenne aus gemessen
$\theta_r$	Elevationswinkel des Horizonts über der lokalen Horizontalen (mrad), von der gestörten Antenne aus gemessen
$\theta$	Winkelabstand des Ausbreitungsweges (mrad)
$h_{st}$	Höhe der glatten Erdoberfläche über der durchschnittlichen Meereshöhe am Standort der störenden Funkstelle (m)
$h_{sr}$	Höhe der glatten Erdoberfläche über der durchschnittlichen Meereshöhe am Standort der gestörten Funkstelle (m)
$h_i$	Höhe des i-ten Geländepunkts über der durchschnittlichen Meereshöhe (m) ANMERKUNG 1 – $h_0$ : Geländehöhe der störenden Funkstelle $h_n$ : Geländehöhe der gestörten Funkstelle
$h_m$	Geländerauhigkeit (m)
$h_{te}$	Effektive Höhe der störenden Antenne (m)
$h_{re}$	Effektive Höhe der gestörten Antenne (m)

**TABELLE 5**  
**Störwegklassifizierung und erforderliche Ausbreitungsmodelle**

Klassifizierung	Erforderliche Modelle
Sichtverbindung mit hindernisfreier erster Fresnel-Zone	Sichtverbindung (§ 6.1.1)
Sichtverbindung mit Unterwegbeugung, d.h. Gelände reicht in die erste Fresnel-Zone	Sichtverbindung (§ 6.1.1) Beugung (§ 6.1.2)
Trans-Horizont	Beugung (§ 6.1.2 für $d \leq 200$ km) Troposcatter (§ 6.1.3)

## 5.1 Erstellung des Wegprofils

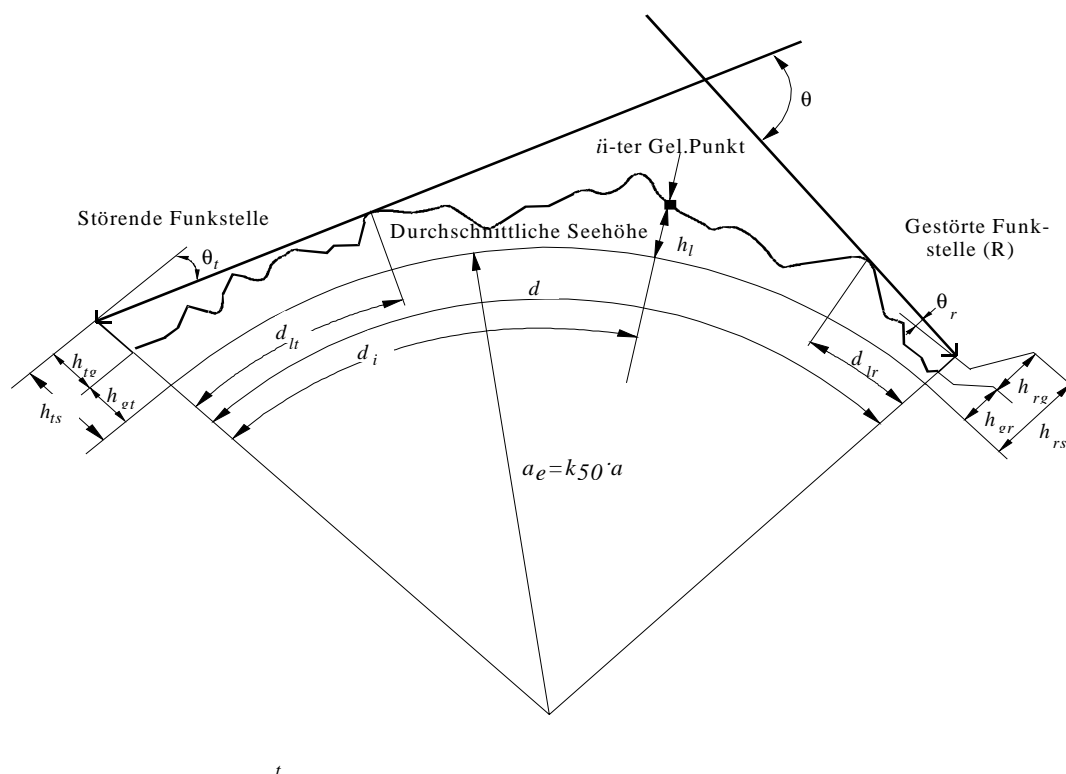
Auf der Grundlage der geographischen Koordinaten der störenden ( $\varphi_t, \Psi_t$ ) und der gestörten ( $\varphi_r, \Psi_r$ ) Funkstellen sollten aus einer topographischen Datenbank oder aus Konturlandkarten mit ausreichend großem Maßstab die Geländehöhen (über der durchschnittlichen Meereshöhe) entlang des Großkreisweges abgeleitet werden. Die bevorzugte Entfernungsauflösung für das Profil wäre jene, die ein ganzzahliges Vielfaches von 0,1 km-Schritten aufweist. Das Profil sollte die Geländehöhen an den Standorten der störenden und der gestörten Funkstelle als Anfangs- und Endpunkt beinhalten. Zu den Höhen im Verlauf des Weges sollte die erforderliche Erdkrümmung auf der Grundlage des durch Gleichung (6) ermittelten  $a_e$ -Wertes addiert werden.

In dieser Anlage gilt der Punkt des Wegprofils am Störer als Punkt 1 und der Punkt an der gestörten Funkstelle als Punkt n. Das Wegprofil besteht deshalb aus n Punkten. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für ein Wegprofil von Geländehöhen über der mittleren Meereshöhe und zeigt die verschiedenen Parameter in bezug auf das tatsächliche Gelände. Tabelle 4 definiert die Parameter, die im Lauf der Analyse des Geländeschnittes verwendet oder abgeleitet werden.

Die Weglänge,  $d$  (km), sollte entsprechend der Formeln in bezug auf die Großkreisentfernung berechnet werden.

## ABBILDUNG 1

### Beispiel für ein (Trans-Horizont)-Wegprofil





## 5.2 Wegklassifizierung

Das Wegprofil dient nun dazu, den Weg in eine der drei geometrischen Kategorien, die auf der Grundlage eines effektiven Erdradius von  $a_e$  basieren, zuzuordnen. Die Störwegkategorien sind in Tabelle 5 angegeben.

### 5.2.1 Klassifizierung – Schritt 1: Überprüfung auf Vorliegen eines Trans-Horizontweges

Ein Trans-Horizontweg liegt dann vor, wenn der Elevationswinkel des physikalischen Horizonts von der störenden Antenne aus gesehen (relativ zur lokalen Horizontalen) größer als der Winkel (wiederum relativ zur lokalen Horizontalen des Störers) ist, der der gestörten Antenne gegenüber liegt.

Die Testbedingungen für einen Trans-Horizontweg sind:

$$\theta_{\max} > \theta_{td} \quad (\text{mrad}) \quad (8)$$

wobei

$$\theta_{\max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i) \quad (\text{mrad}) \quad (9)$$

$\theta_i$ : Elevationswinkel am i-ten Geländepunkt

$$\theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (10)$$

wobei

$h_i$ : Höhe des i-ten Geländepunkts (m) über der durchschnittlichen Meereshöhe  
 $h_{ts}$ : Antennenhöhe (m) des Störers über der durchschnittlichen Meereshöhe  
 $d_i$ : Entfernung vom Störer zum i-ten Geländeelement (km)

$$\theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (11)$$

wobei

$h_{rs}$ : Höhe der gestörten Antenne (m) über der durchschnittlichen Meereshöhe  
 $d$ : Gesamte Großkreis-Wegentfernung (km)  
 $a_e$ : Dem Ausbreitungsweg entsprechender medianer effektiver Erdradius (Gleichung (6)).

Wenn die Bedingung der Gleichung (8) erfüllt ist, kann die verbleibende für Trans-Horizontwege erforderliche Analyse des Geländeschnittes durchgeführt werden. Unter diesen Bedingungen ist Schritt 2 der Wegklassifizierung nicht erforderlich.

Wenn die Bedingung der Gleichung (8) nicht erfüllt ist, besteht Sichtverbindung, und zwar mit oder ohne in die erste Fresnel-Zone reichende Geländeanteile.

## Ableitung von Parametern vom Wegprofil für Trans-Horizontwege

Die Parameter, die vom Wegprofil abzuleiten sind, sind die in Tabelle 4 genannten.

### Elevationswinkel des Horizonts der störenden Antenne, $\theta_t$

Der Elevationswinkel des Horizonts der störenden Antenne ist der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes, wenn Gleichung (9) auf die  $n - 1$  Geländeprofilhöhen angewendet wird.

$$\theta_t = \theta_{\max} \quad (\text{mrad}) \quad (12)$$

wobei  $\theta_{\max}$  nach Gleichung (9) bestimmt wird.

### Horizontentfernung der störenden Antenne, $d_{it}$

Die Horizontentfernung ist die Mindestentfernung vom Sender, bei der der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes aus Gleichung (9) berechnet wird.

$$d_{it} = d_i \quad (\text{km}) \quad \text{für } \max(\theta_i) \quad (13)$$

### Elevationswinkel des Horizonts der gestörten Antenne, $\theta_r$

Der Elevationswinkel des Horizonts der gestörten Empfangsantenne ist der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes, wenn Gleichung (9) auf die  $n - 1$  Geländeprofilhöhen angewendet wird.

$$\theta_r = \max_{j=1}^{n-1}(\theta_j) \quad (\text{mrad}) \quad (14)$$

$$\theta_j = \frac{h_{ji} - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3(d - d_j)}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (15)$$

### Streustrahlwinkel $\theta$ (mrad)

Der Streustrahlwinkel  $\theta$  wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$\theta = \frac{10^3 d}{a_e} \pm \theta_t \pm \theta_r \quad (\text{mrad}) \quad (15a)$$

### Horizontentfernung der gestörten Antenne, $d_{ir}$

Die Horizontentfernung ist die Mindestentfernung vom Empfänger, bei der der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes aus Gleichung (9) berechnet wird.

$$d_{ir} = d - d_j \quad (\text{km}) \quad \text{für } \max(\theta_j) \quad (16)$$

### 5.2.2 Schritt 2: Überprüfung auf Vorliegen von Sichtverbindung mit Unterwegbeugung (d.h. die erste Fresnel-Zone ist nicht vollständig frei von Hindernissen)

Ein Ausbreitungsweg, der kein Trans-Horizontweg ist, ist als Sichtverbindung mit Unterwegbeugung zu klassifizieren, wenn der von der Störanenne aus gesehene Elevationswinkel (relativ zur lokalen Horizontalen), am Horizontpunkt größer ist als der Winkel (wieder relativ zur lokalen Horizontalen des Störers), der der gestörten Antenne gegenüber liegt, und zwar unter Annahme von Hindernisfreiheit im Ausmaß des Radius des ersten Fresnel-Ellipsoids.

Der Ausbreitungsweg unterliegt einer Unterwegbeugung, wenn

$$\theta_{\text{fmax}} > \theta_{\text{td}} \quad (\text{mrad}) \quad (17)$$

wobei

$$\theta_{\text{fmax}} > \max_{i=1}^{n-1} (\theta_{\text{fi}}) \quad (\text{mrad}) \quad (18)$$

Um diese Prüfung abzuschließen, wird deshalb in Gleichung (10) ein weiterer Term benötigt, um das erste Fresnel'sche Ellipsoid zu berücksichtigen. Der Radius dieses Ellipsoids,  $R_i$  (m) ist an jedem Punkt des Wegs durch die folgende Formel gegeben:

$$R_i = 17.392 \sqrt{\frac{d_i (d - d_i)}{d \cdot f}} \quad (\text{m}) \quad (19)$$

wobei  $f$  die Frequenz (GHz) ist.

Der geeignete Radius,  $R_i$  (m), wird jeder Geländehöhe  $H_i$  (m) in Gleichung (10) hinzugezählt, wodurch man die Gleichung (20) erhält. Wenn man Hindernisfreiheit in der ersten Fresnel-Zone,  $q_{\text{fi}}$ , annimmt, erhält man den Elevationswinkel der Antenne (rad) am  $i$ -ten Punkt durch Anwendung der folgenden Gleichung:

$$\theta_{f_i} = \frac{(h_i + R_i) - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (20)$$

Wenn die Bedingung von Gleichung (17) erfüllt ist, kann die restliche Analyse des Geländeschnittes, die für Fälle von Unterwegbeugung erforderlich ist, vorgenommen werden.

Wenn die Bedingung von Gleichung (17) nicht erfüllt ist, handelt es sich bei dem Weg um Sichtverbindung und es ist keine weitere Analyse des Geländeschnittes erforderlich.

## 6. Schritt 4 des Prognoseverfahrens: Berechnung von Ausbreitungsvorhersagen

Tabelle 5 gibt für jede Art von Ausbreitungsweg die geeigneten Ausbreitungsmodelle an. Die erforderlichen Gleichungen für diese einzelnen Prognosen von Ausbreitungsmechanismen finden sich in den in der Tabelle angegebenen Textabschnitten. Um eine Gesamtvorhersage zu erstellen, müssen die einzelnen Prognosen von Ausbreitungsmechanismen berechnet und in der Tabelle 6 angegebenen Art und Weise kombiniert werden. Sobald dies erfolgt ist, ist die Prognose vollständig.

**TABELLE 6**  
**Methoden zur Ableitung von Gesamtvorhersagen für  $a_{\text{prop}}$**

Wegtyp	Erforderliche Maßnahmen
Sichtverbindung	<p>Man erhält die Prognose durch Anwendung der folgenden Formel:</p> $a_{\text{prop}} \equiv L_b = L_{b0} \text{ (20\%)} \quad \text{dB} \quad (21 \text{ a})$ <p>wobei:</p> <p><math>L_{b0}</math> (20%): vorhergesagte maximale Grundübertragungsdämpfung für 20 % Zeitwahrscheinlichkeit, gegeben durch das Modell für Sichtverbindung</p>
Sichtverbindung mit Unterweg-Beugung	<p>Man erhält die Prognose durch Anwendung der folgenden Formel:</p> $a_{\text{prop}} \equiv L_b = L_{bd} \text{ (20\%)} \quad \text{dB} \quad (21 \text{ b})$ <p>wobei:</p> <p><math>L_{bd}</math> (20%): vorhergesagte maximale Grundübertragungsdämpfung für 20 % Zeitwahrscheinlichkeit, gegeben durch das Beugungsmodell</p>
Trans-Horizont	<p>Die Gesamtprognose erhält man durch Anwendung des folgenden Hilfsalgorithmus:</p> $a_{\text{prop}} \equiv L_b = -5 \log (10^{-0,2 L_{bs} \text{ (20\%)}} + 10^{-0,2 L_{bd} \text{ (20\%)}}) \quad \text{dB} (21 \text{ c})$ <p>wobei:</p> <p><math>L_{bs}</math> (20%), <math>L_{bd}</math> (20%): einzelne vorhergesagte Grundübertragungsdämpfung für 20% Zeitwahrscheinlichkeit, gegeben durch Troposcatter- bzw. Beugungsausbreitungsmodelle.</p> <p>ANMERKUNG 1: Wenn ein Modell für einen Weg nicht vorgeschlagen wurde (weil die in Tabelle 5 genannten Bedingungen nicht erfüllt wurden), sollte der entsprechende Term in der Gleichung (21 c) weggelassen werden.</p>

Das oben beschriebene Verfahren führt zu einem oder mehreren einzelnen Ausbreitungsmodellen als Komponenten für die Gesamtvorhersage. Diese Ausbreitungsmodelle, die im vorliegenden Abschnitt genannt sind, werden auf der Grundlage der in § 2 genannten Annahmen abgeleitet.

## 6.1 Ausbreitung bei Sichtverbindung (einschließlich kurzfristiger Effekte)

Bei Sichtverbindung wird die maximale Grundübertragungsdämpfung  $L_{b0}$  (20%), der mit einer Zeitwahrscheinlichkeit von 20% nicht überschritten wird, mit folgender Formel errechnet:

$$L_{b0} (20\%) = 92,5 + 20\log f + 20 \log d + E_s (20\%) + A_g \quad (22)$$

wobei

$E_s$  (20%): Korrektur für Mehrwege- und Fokussiereffekte:

$$E_s (20\%) = 1,03 (e^{-d/10} - 1) \quad (23)$$

$A_g$ : Gesamte Gasabsorption (dB):

$$A_g = [\gamma_0 + \gamma_w (\rho)] d \quad (\text{dB}) \quad (24)$$

wobei

$\gamma_0$ ,  $\gamma_w (\rho)$ : Spezifische Dämpfung aufgrund von trockener Luft bzw. Wasserdampf wird mit Hilfe der Gleichungen (24a) ÷ (24c) ermittelt.

$\rho$ : Wasserdampfdichte

$$\rho = 7,5 + 2,5 \omega \quad (\text{g/m}^3) \quad (24a)$$

$\omega$ : Anteil des Gesamtweges über Wasser

Für trockene Luft erhält man die Dämpfung  $\gamma_0$  (dB/km) gemäß Empfehlung ITU-R P.676 wie folgt:

$$\begin{aligned} \gamma_0 &= \left[ \frac{7.27 r_t}{f^2 + 0.351 r_p^2 r_t^2} + \frac{7.5}{(f-57)^2 + 2.44 r_p^2 r_t^5} \right] f^2 r_p^2 r_t^2 \times 10^{-3} = \\ &= \left[ \frac{7.27}{f^2 + 0.351} + \frac{7.5}{(f-57)^2 + 2.44} \right] f^2 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad (24b)$$

wobei:

f: Frequenz (GHz)

$r_p = p / 1013$

$r_t = 288 / (273 + t)$

p: Druck (hPa) – siehe § 2

t: Temperatur (°C) – siehe § 2

Für Wasserdampf wird die Dämpfung  $\gamma_w$  (dB/km) wie folgt ermittelt:

$$\gamma_w = \left[ \begin{aligned} & 3.27 \times 10^{-2} r_t + 1.67 \times 10^{-3} \frac{\rho r_t^7}{r_p} + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5} + \frac{3.79}{(f-22.235)^2 + 9.81 r_p^2 r_t} \\ & + \frac{11.73 r_t}{(f-183.31)^2 + 11.85 r_p^2 r_t} + \frac{4.01 r_t}{(f-325.153)^2 + 10.44 r_p^2 r_t} \end{aligned} \right] f^2 \rho r_p r_t \times 10^{-4}$$

$$= \left[ \begin{aligned} & 3.27 \times 10^{-2} + 1.67 \times 10^{-3} \rho + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5} + \frac{3.79}{(f-22.235)^2 + 9.81} \\ & + \frac{11.73}{(f-183.31)^2 + 11.85} + \frac{4.01}{(f-325.153)^2 + 10.44} \end{aligned} \right] f^2 \rho \times 10^{-4}$$

(24c)

## 6.2 Beugung

Die maximale Grundübertragungsdämpfung für 20% Zeitwahrscheinlichkeit für einen Beugungsweg errechnet sich mittels folgender Formel:

$$L_{bd} (20 \%) = 92,5 + 20 \log f + 20 \log d + L_d(20\%) + E_{sd} (20\%) + A_g \quad (\text{dB}) \quad (25)$$

wobei:

$E_{sd} (p)$  : Korrektur für Mehrwege-Effekte zwischen den Antennen und den  
Horizonthindernissen.

$$E_{sd} (20\%) = -1,03 (1 - e^{-(d_{lt} + d_{lr}) / 10}) \quad (\text{dB}) \quad (25 a)$$

$A_g$ : Gasabsorption, zu berechnen mittels Gleichungen (24) und (24 a)

$d_{lt}, d_{lr}$ : siehe § 5.2

Die zusätzliche Beugungsdämpfung  $L_d(20\%)$  wird berechnet wie folgt:

$$L_d (20 \%) = L_d (50 \%) - F_i(20\%) [L_d (50 \%) - L_d (\beta_0)] \quad (26)$$

wobei:

$L_d (50 \%)$ : Beugungsdämpfung über rauhem Gelände für einen effektiven Erdradius

$a_e = a(50\%)$  km

$L_d (\beta_0)$ : Beugungsdämpfung über rauhem Gelände für einen effektiven Erdradius

$a_e = a(\beta_0)$  km

$a (p) = 6371 k (p)$

$k (50\%)$  ist durch Gleichung (5) zu errechnen

$k (\beta_0) = 3$

$F_i$ : Interpolationsfaktor, gegeben durch:

$$F_i = I(0.2) / I(\beta_0/100) \quad (27)$$

wobei  $I (x)$  die inverse-kumulative Normalfunktion ist und  $\beta_0$  durch Gleichung (1) errechnet wird.

Die folgende Annäherung an die inverse-kumulative Normalverteilung gilt für  $0,000001 \leq x \leq 0,5$  und weist einen Fehler von maximal 0,00054 auf. Sie kann für die Interpolationsfunktion in Gleichung (27) [ohne Bedenken] [im Vertrauensintervall] verwendet werden. Wenn  $x < 0,000001$ , was  $\beta_0 < 0,0001$  % impliziert, sollte  $x$  auf 0,000001 gesetzt werden. Die Funktion  $l(x)$  ist dann gegeben wie folgt:

$$l(x) = \xi(x) - T(x) \quad (28)$$

wobei

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (28a)$$

$$\xi(x) = \frac{(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x) + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2)T(x) + D_1]T(x) + 1} \quad (28b)$$

$$C_0 = 2,515516698 \quad (28 c)$$

$$C_1 = 0,802853 \quad (28 d)$$

$$C_2 = 0,010328 \quad (28 e)$$

$$D_1 = 1,432788 \quad (28 f)$$

$$D_2 = 0,189269 \quad (28 g)$$

$$D_3 = 0,001308 \quad (28 h)$$

Die folgende Methode wird für die Bewertung der Beugungsdämpfung  $L_d$  (50%) und  $L_d$  ( $\beta_0$ ) über rauhem Gelände (Sichtverbindung mit einem oder mehreren Hindernissen) empfohlen.

Die Methode basiert auf der Methode von Deygout, beschränkt auf ein Maximum von drei Kanten plus empirischer Korrektur gemäß Empfehlung ITU – R P.526.

Ein Profil des Funkausbreitungsweges sollte zur Verfügung stehen, bestehend aus einer Reihe von Punkten unterschiedlicher Geländehöhen über dem Meer, die in Abschnitten entlang des Weges angeordnet sind, wobei die erste und die letzte Höhe die Höhe des Senders und des Empfängers über der Meereshöhe sind, sowie einer entsprechenden Reihe horizontaler Entfernungen vom Sender. Jedes Höhe-Entfernungs-Paar wird als ein Profilverpunkt bezeichnet und erhält einen von einem Ende des Weges zum anderen ansteigenden Index. Die Punkte sollten vom Sender ausgehend alle 100 m angenommen werden.

Die Deygout-Methode wird auf die Gesamtheit oder einen Teil eines Wegprofils angewendet, indem man sie von Indexpunkt a bis Indexpunkt b ( $a < b$ ) definiert. Wenn  $a + 1 = b$  gibt es keinen Zwischenpunkt und die Beugungsdämpfung ist 0. Ansonsten wird die Methode angewendet, indem man  $v_n$  ( $a < n < b$ ) bewertet und den Punkt mit dem höchsten  $v$ -Wert auswählt. Der Wert von  $v$  für den  $n$ -ten Profilverpunkt errechnet sich wie folgt:

$$v_n = h \sqrt{2 d_{ab} / \lambda d_{an} d_{nb}} \quad (29)$$

wobei

$$h = h_n + [d_{an} d_{nb} / 2a_e] - [(h_a d_{nb} + h_b d_{an}) / d_{ab}] \quad (29 a)$$

$h_a, h_b, h_n$ : vertikale Höhen wie in Abbildung 2 dargestellt

$d_{an}, d_{nb}, d_{ab}$ : horizontale Entfernungen wie in Abbildung 2 dargestellt

$a_e$ : effektiver Erdradius = 8930.8 km for  $L_d$  (50%)  
oder  
= 19113 km für  $L_d$  ( $\beta_0$ )

$\lambda$ : Wellenlänge

und alle  $h$ ,  $d$ ,  $a_e$  und  $\lambda$  sind selbstkonsistente Einheiten.

Die Beugungsdämpfung ist dann als Kantenbeugungsdämpfung  $J(v)$  durch die folgende Gleichung gegeben:

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad (\text{dB}) \quad (30)$$

für  $v > -0.78$  und ist anderenfalls gleich Null.

Die Geometrie der Gleichung (29a) ist in Abbildung 2 dargestellt. Der zweite Term der Gleichung (29a) ist eine gute Näherung für die zusätzliche Höhe an Punkt  $n$  aufgrund der Erdkrümmung.

Die Deygout-Methode wird zunächst auf das gesamte Profil vom Sender zum Empfänger angewendet. Der Punkt mit dem höchsten Wert  $v$  wird die Hauptkante,  $p$ , genannt, die entsprechende Dämpfung ist  $J(v_p)$ .

Wenn  $v_p > -0.78$ , wird die Konstruktion noch zwei weitere Male angewendet:

- vom Sender zum Punkt  $p$ , um  $v_t$  und damit  $J(v_t)$  zu erhalten.
- vom Punkt  $p$  zum Empfänger um  $v_r$  und damit  $J(v_r)$  zu erhalten.

Die zusätzliche Beugungsdämpfung für den Weg ist dann gegeben durch:

$$L_d = J(v_p) + T [J(v_t) + J(v_r) + C] \text{ für } v_p > -0.78 \quad (31a)$$

$$L_d = 0 \text{ für } v_p \leq -0.78 \quad (31b)$$

wobei

$C$ : empirische Korrektur

$$C = 8.0 + 0.04 D \quad (32)$$

$D$ : gesamte Weglänge (km)

und:

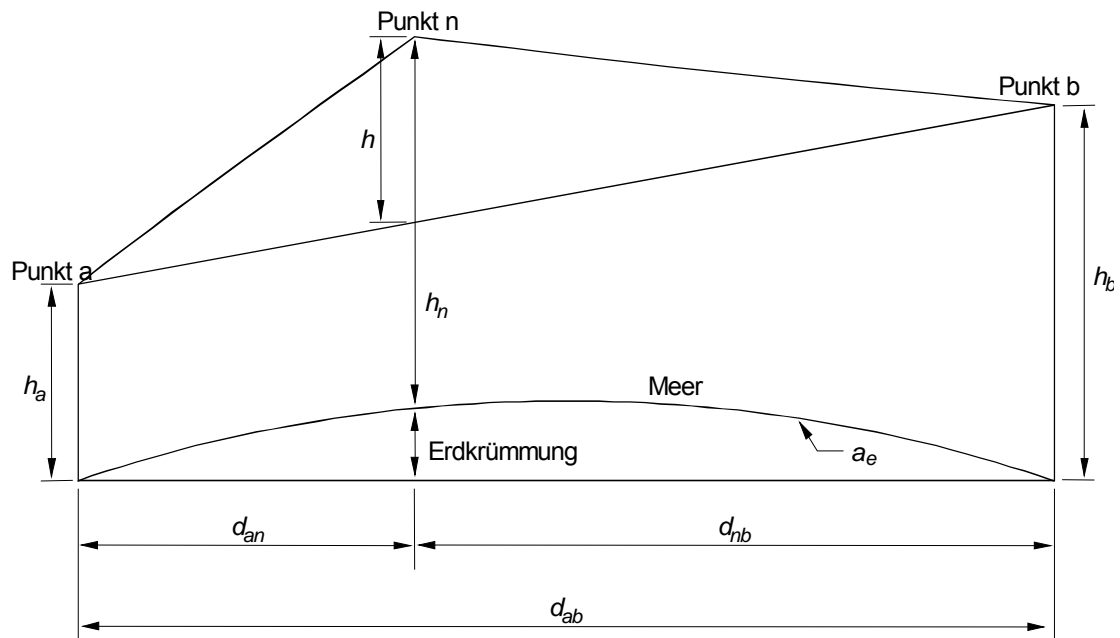
$$T = J(v_p) / 6 \text{ für } J(v_p) \leq 6 \quad (33a)$$

$$T = 1 \text{ für } J(v_p) > 6 \quad (33b)$$



## ABBILDUNG 2

### Geometrie für ein einzelnes Hindernis



### 6.3 Troposcatter

Die maximale Grundübertragungsdämpfung aufgrund von Troposcatter  $L_{bs}$  (20%) (dB), für eine Zeitwahrscheinlichkeit, 20% , ist gegeben durch:

$$L_{bs} (20\%) = 135,95 + L_f + 20 \log d + 0,573\theta + L_c + A_g \quad (\text{dB}) \quad (34)$$

wobei:

$L_f$ : Frequenzabhängige Dämpfung:

$$L_f = 25 \log f - 2,5 [\log(f/2)]^2 \quad (\text{dB}) \quad (35a)$$

$L_c$ : Kopplungsdämpfung an das Ausbreitungsmedium (dB):

$$L_c = 0,051 \cdot e^{0,055(Gt + Gr)} \quad (\text{dB}) \quad (35b)$$

$A_g$ : Gasabsorption abgeleitet aus Gleichung (24) mit  $p = g/m^3$  für die gesamte Weglänge.