

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.452-13. Dieses Verfahren eignet sich für Richtfunkverbindungen im Frequenzbereich von etwa 0,7 GHz bis 50 GHz. 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. 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 vier 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;

Bodenduct und Reflexion an atmosphärischen Schichten.

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:

- ΔN : 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

TABELLE 1 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 2

Grundlegende Eingabedaten

Parameter	Bevorzugte Auflösung	Beschreibung
f	0,00001	Frequenz (GHz)
φ_t, φ_r	1	Geographische Breite der Funkstelle (Sekunden)
p	1	Erforderliche Zeitwahrscheinlichkeit(en), in der (denen) die berechnete maximale Grundübertragungsdämpfung nicht überschritten wird
ψ_t, ψ_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 β_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 β_0 , der zu verwenden ist, ist jener, der der geographischen Breite der Mitte des Ausbreitungsweges entspricht. Die Punktinzidenz anomaler Ausbreitung, β_0 (%), für die Mitte des Ausbreitungsweges wird mit Hilfe der folgenden Formel bestimmt:

$$(i) \quad \beta_0 = \begin{cases} 10^{-0.015|\varphi|+1.67} \mu_1 \mu_4 & \% & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4.17 \mu_1 \mu_4 & \% & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases} \quad (1.)$$

wobei

:

φ : geographische Breite (Grad) der Mitte des Ausbreitungsweges, nicht nördlicher

als 70° und nicht südlicher als -70° .

Der Parameter μ_1 hängt von dem Ausmaß ab, in dem der Ausbreitungsweg über Land (Binnenland und/oder Küstenland) und Wasser führt, und errechnet sich wie folgt:

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

wobei der Wert von μ_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 definiert in Tabelle 2.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0.935 + 0.0176|\varphi|)\log \mu_1} & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 10^{0.3 \log \mu_1} & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases} \quad (4.)$$

TABELLE 3
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 km², 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 km², 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:

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

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

$$a_e = 6371 \cdot k_{50} \quad (6.)$$

Der effektive Erdradius [km], der für $\beta_0\%$ der Zeit überschritten wird, a_β , ergibt sich aus:

$$a_\beta = 6371 \cdot k_\beta \quad (7.)$$

wobei $k_\beta = 3.0$ eine Schätzung des effektiven Erdradiusfaktors ist, der für $\beta_0\%$ der Zeit überschritten wird.

5. Schritt 3 des Prognoseverfahrens: Analyse des Geländeschnittes

Werte für eine Anzahl wegbezogener Parameter, die für die Berechnungen erforderlich und in den Tabellen 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 als Trans-Horizont oder Sichtverbindung eingeordnet.

TABELLE 4

Parameter, die aus der Analyse des Geländeschnittes abzuleiten sind

Parameter	Beschreibung
d	Großkreis-Wegentfernung (km)
d_t, d_r	Bei einem Trans-Horizontweg, Entfernung von den Sende- und Empfangsantennen zu ihrem jeweiligen Horizont (km). Bei einer Sichtverbindung wird jede auf die Entfernung vom Terminal zu dem Profilpunkt gesetzt, der im Beugungsmodell für 50% der Zeit als Hauptkante ermittelt wurde.
θ_t, θ_r	Bei einem Trans-Horizontweg, Elevationswinkel des Sende- und Empfangshorizonts (mrad). Bei einer Sichtverbindung wird jede auf den Elevationswinkel des anderen Terminals gesetzt.
θ	Winkelabstand des Ausbreitungswegs (mrad)
h_{ts}, h_{rs}	Höhe des Antennenschwerpunktes über der durchschnittlichen Meereshöhe (m)
d_b	Gesamtlänge der Wegabschnitte über Wasser (km)
ω	Über Wasser verlaufender Anteil am Gesamtweg: $\omega = d_b / d \quad (8.)$ wobei d die Großkreisentfernung (km) ist. Für Gesamtausbreitungswege über Land gilt $\omega = 0$
d_{ct}, d_{cr}	Entfernung über Land von der Sende- und Empfangsantenne zur Küste entlang des Großkreis-Störweges (km). Wird im Falle eines Terminals an Bord eines Schiffes oder auf einer Plattform auf See auf Null gesetzt.

5.1 Erstellung des Wegprofils

Auf der Grundlage der geographischen Koordinaten der störenden (φ_t, ψ_t) und der gestörten (φ_r, ψ_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 0 und der Punkt an der gestörten Funkstelle als Punkt n. Das Wegprofil besteht deshalb aus $n + 1$ 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.

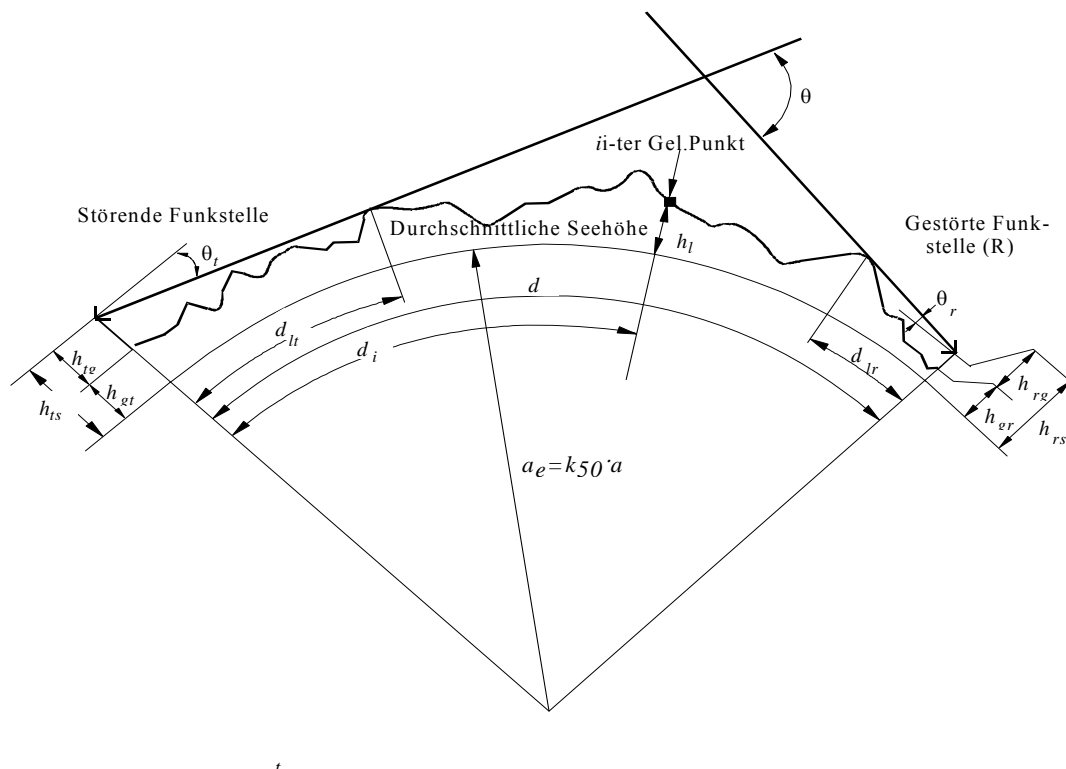
Tabelle 4 definiert die Parameter, die im Lauf der Analyse des Geländeschnittes verwendet oder abgeleitet werden.

Die Weglänge, d (km), sollte entsprechend der Formel in bezug auf die Großkreisentfernung berechnet werden:

$$d = 6371 \cdot \arccos(\sin(\varphi_t) \sin(\varphi_r) + \cos(\varphi_t) \cos(\varphi_r) \cos(\psi_t - \psi_r)) \quad (9.)$$

ABBILDUNG 1

Beispiel für ein (Trans-Horizont)-Wegprofil



Anmerkung 1: Der Wert von θ_t wird laut Zeichnung negativ.

TABELLE 5
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)
λ	Wellenlänge (m)
h_{ts}	Antennenhöhe des Störers (m) über der durchschnittlichen Meereshöhe
h_{rs}	Antennenhöhe der gestörten Funkstelle (m) über der durchschnittlichen Meereshöhe
θ_t	Bei einem Trans-Horizontweg, Elevationswinkel des Horizonts über der lokalen Horizontalen (mrad), von der störenden Antenne aus gemessen. Bei einer Sichtverbindung sollte dies der Elevationswinkel der gestörten Antenne sein
θ_r	Bei einem Trans-Horizontweg, Elevationswinkel des Horizonts über der lokalen Horizontalen (mrad), von der gestörten Antenne aus gemessen. Bei einer Sichtverbindung sollte dies der Elevationswinkel der störenden Antenne sein

5.2 Wegklassifizierung

Der Weg muss als Sichtverbindung oder Trans-Horizont eingestuft werden. Das Wegprofil dient dazu, um anhand des medianen effektiven Erdradius a_e zu ermitteln, ob es sich um eine Sichtverbindung oder um einen Trans-Horizontweg handelt.

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:

$$\theta_{\max} > \theta_{td} \quad (\text{mrad}) \quad (10.)$$

wobei

$$\theta_{\max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i) \quad (\text{mrad}) \quad (11.)$$

θ_i : Elevationswinkel am i -ten Geländepunkt

$$\theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (12.)$$

wobei

h_i : Höhe des i -ten Geländepunktes (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)

$$\theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (13.)$$

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.)).

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, θ_t

Der Elevationswinkel des Horizonts der störenden Antenne ist der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes, wenn Gleichung (11.) auf die $n - 1$ Geländeprofilhöhen angewendet wird.

$$\theta_t = \theta_{\max} \quad (\text{mrad}) \quad (14.)$$

wobei θ_{\max} nach Gleichung (11.) bestimmt wird.

Horizontentfernung der störenden Antenne, d_{lt}

Die Horizontentfernung ist die Mindestentfernung vom Sender, bei der der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes aus Gleichung (11.) berechnet wird.

$$d_{lt} = d_i \quad (\text{km}) \text{ für } \max(\theta_i) \quad (15.)$$

Elevationswinkel des Horizonts der gestörten Antenne, θ_r

Der Elevationswinkel des Horizonts der gestörten Empfangsantenne ist der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes, wenn Gleichung (11.) auf die $n - 1$ Geländeprofilhöhen angewendet wird.

$$\theta_r = \max_{j=1}^{n-1} (\theta_j) \quad (\text{mrad}) \quad (16.)$$

$$\theta_j = \frac{h_{ji} - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3 (d - d_j)}{2a_e} \quad (\text{mrad}) \quad (17.)$$

Streustrahlwinkel θ (mrad)

Der Streustrahlwinkel θ wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$\theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad (\text{mrad}) \quad (18.)$$

Horizontentfernung der gestörten Antenne, d_{lr}

Die Horizontentfernung ist die Mindestentfernung vom Empfänger, bei der der maximale Elevationswinkel des Antennenhorizontes aus Gleichung (11.) berechnet wird.

$$d_{lr} = d - d_j \quad (\text{km}) \quad \text{für} \quad \max(\theta_j) \quad (19.)$$

6 Schritt 4 des Prognoseverfahrens: Berechnung von Ausbreitungsvorhersagen

Die maximale Grundübertragungsdämpfung L_b (dB), die für die erforderliche jährliche prozentuale Zeitwahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, p , wird wie in den nachfolgenden Unterabschnitten beschrieben bewertet.

6.1 Ausbreitung bei Sichtverbindung (einschließlich kurzfristiger Effekte)

Für sowohl Sichtverbindungen als auch Trans-Horizontwege sollte Folgendes bewertet werden. Maximale Grundübertragungsdämpfung aufgrund von Freiraumausbreitung und Dämpfung durch atmosphärische Gase:

$$L_{bfsq} = 92.5 + 20 \log f + 20 \log d + A_g \quad \text{dB} \quad (20.)$$

wobei

A_g : Gesamte Gasabsorption (dB):

$$A_g = [\gamma_o + \gamma_w(\rho)]d \quad \text{(dB)} \quad (21.)$$

wobei

$\gamma_o, \gamma_w(\rho)$: Spezifische Dämpfung aufgrund von trockener Luft bzw. Wasserdampf wird mit Hilfe der Gleichungen (23.), (24.) ermittelt.

ρ : Wasserdampfdichte:

$$\rho = 7.5 + 2.5 \omega \quad (\text{g/m}^3) \quad (22.)$$

ω : Anteil des Gesamtweges über Wasser.

Für trockene Luft erhält man die Dämpfung γ_o (dB/km) gemäß Empfehlung ITU-R P.676-7 wie folgt:

$$\gamma_o = \left[\frac{7.2 r_t^{2.8}}{f^2 + 0.34 r_p^2 r_t^{1.6}} + \frac{0.62 \xi_3}{(54 - f)^{1.16 \xi_1} + 0.83 \xi_2} \right] f^2 r_p^2 \times 10^{-3} \quad (23.)$$

wobei

f : Frequenz (GHz)

$r_p = p / 1013$

$r_t = 288 / (273 + t)$

p : Druck (hPa) - siehe § 2

t : Temperatur (°C) siehe § 2.

$\xi_1 = \varphi(r_p, r_t, 0.0717, -1.8132, 0.0156, -1.6515)$

$\xi_2 = \varphi(r_p, r_t, 0.5146, -4.6368, -0.1921, -5.7416)$

$\xi_3 = \varphi(r_p, r_t, 0.3414, -6.5851, 0.2130, -8.5854)$

$\varphi(r_p, r_t, a, b, c, d) = r_p^a r_t^b \exp[c(1 - r_p) + d(1 - r_t)]$

Für Wasserdampf wird die Dämpfung γ_w (dB/km) wie folgt ermittelt:

$$\gamma_w = \left\{ \frac{3.98\eta_1 \exp[2.23(1-r_t)]}{(f-22.235)^2 + 9.42\eta_1^2} g(f,22) + \frac{11.96\eta_1 \exp[0.7(1-r_t)]}{(f-183.31)^2 + 11.14\eta_1^2} \right. \\ + \frac{0.081\eta_1 \exp[6.44(1-r_t)]}{(f-321.226)^2 + 6.29\eta_1^2} + \frac{3.66\eta_1 \exp[1.6(1-r_t)]}{(f-325.153)^2 + 9.22\eta_1^2} \\ + \frac{25.37\eta_1 \exp[1.09(1-r_t)]}{(f-380)^2} + \frac{17.4\eta_1 \exp[1.46(1-r_t)]}{(f-448)^2} \\ + \frac{844.6\eta_1 \exp[0.17(1-r_t)]}{(f-557)^2} g(f,557) + \frac{290\eta_1 \exp[0.41(1-r_t)]}{(f-752)^2} g(f,752) \\ \left. + \frac{8.3328 \times 10^4 \eta_2 \exp[0.99(1-r_t)]}{(f-1780)^2} g(f,1780) \right\} f^2 r_t^{2.5} \rho \times 10^{-4} \quad (24.)$$

wobei

$$\eta_1 = 0.955 r_p r_t^{0.68} + 0.006 \rho \\ \eta_2 = 0.735 r_p r_t^{0.5} + 0.0353 r_t^4 \rho \\ g(f, f_i) = 1 + \left(\frac{f - f_i}{f + f_i} \right)^2$$

Korrekturen für Mehrwege- und Fokussiereffekte bei der Zeitwahrscheinlichkeit p und β_0 :

$$E_{sp} = 2.6 [1 - \exp(-0.1 \{d_{lt} + d_{lr}\})] \log(p/50) \quad \text{dB} \quad (25.)$$

$$E_{s\beta} = 2.6 [1 - \exp(-0.1 \{d_{lt} + d_{lr}\})] \log(\beta_0/50) \quad \text{dB} \quad (26.)$$

Bei Sichtverbindung wird die maximale Grundübertragungsdämpfung mit einer Zeitwahrscheinlichkeit von $p\%$ nicht überschritten:

$$L_{b0p} = L_{bfsg} + E_{sp} \quad \text{dB} \quad (27.)$$

Bei Sichtverbindung wird die maximale Grundübertragungsdämpfung mit einer Zeitwahrscheinlichkeit von $\beta_0\%$ nicht überschritten:

$$L_{b0\beta} = L_{bfsg} + E_{s\beta} \quad \text{dB} \quad (28.)$$

6.2 Beugung

Mit dem Beugungsmodell werden die folgenden, in § 6.5 geforderten Mengen berechnet:

- L_{dp} : Beugungsdämpfung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird
- L_{bd50} : mediane maximale Grundübertragungsdämpfung der Beugung
- L_{bd} : maximale Grundübertragungsdämpfung der Beugung, die $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird.

Die Beugungsdämpfung wird für alle Wege mit Hilfe eines Hybridverfahrens, das auf der Methode von Deygout beruht, sowie einer empirischen Korrektur berechnet. Dieses Verfahren ergibt eine Schätzung der Beugungsdämpfung für alle Wegearten, einschließlich über Gewässer oder im Binnenland oder in Küstenland, und unabhängig davon, ob es sich um ein glattes oder rauhes Gelände handelt.

Dieses Verfahren sollte auch dann verwendet werden, wenn die anhand der Deygout-Methode ermittelten Kanten nebeneinander gelegene Profilpunkte sind.

Dieses Verfahren nutzt auch in umfangreichem Maße eine Annäherung an die Beugungsdämpfung einer einzelnen Kante als Funktion des dimensionslosen Parameters, v , der sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad (29.)$$

Es ist zu beachten, dass $J(-0,78) \approx 0$, und dies definiert die untere Grenze, an der diese Annäherung Anwendung findet. $J(v)$ wird bei $v < -0,78$ auf Null gesetzt.

6.2.1 Mediane Beugungsdämpfung

Die mediane Beugungsdämpfung, L_{d50} (dB), wird mit Hilfe des Medianwertes des effektiven Erdradius, a_e , berechnet, der sich aus Gleichung (6.) ergibt.

Mediane Beugungsdämpfung für die Hauptkante

Eine Korrektur, ζ_m , wird errechnet für die gesamte Wegneigung mit:

$$\zeta_m = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} \right) \right) \quad (30.)$$

Die wichtigste (d.h. die Haupt-)Kante wird ermittelt und deren Beugungsparameter, v_{m50} , wird berechnet mit:

$$v_{m50} = \max_{i=1}^{n-1} \left(\zeta_m H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right), \quad (31.)$$

wobei die vertikale Hindernisfreiheit, H_i ,

$$H_i = h_i + 10^3 \frac{d_i (d - d_i)}{2a_e} \frac{h_{ts} (d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \quad (32.)$$

beträgt

und

$h_{ts,rs}$: Sender- und Empfängerhöhe über dem Meeresspiegel (m) (siehe Tabelle 3)

λ : Wellenlänge (m) = $0,3/f$

f : Frequenz (GHz)

d : Weglänge (km)

d_i : Entfernung des i -ten Profilpunktes zum Sender (km) (siehe § 5.2)

h_i : Höhe des i -ten Profilpunktes über dem Meeresspiegel (m) (siehe § 5.2).

i_{m50} wird auf den Index des Profilpunktes mit dem höchsten Wert, v_{m50} , gesetzt.

Die mediane Kantenbeugungsdämpfung für die Hauptkante, L_{m50} , wird wie folgt berechnet:

$$L_{m50} = \begin{cases} J(v_{m50}) & \text{wenn } v_{m50} \geq -0,78 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (33.)$$

Wenn $L_{m50} = 0$, betragen die mediane Beugungsdämpfung, L_{d50} , und die Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird, $L_{d\beta}$, beide Null, und es sind keine weiteren Berechnungen erforderlich.

Ansonsten sollten eine mögliche zusätzliche Dämpfung aufgrund sekundärer Kanten auf der Sender- und Empfängerseite der Hauptkante wie nachstehend beschrieben untersucht werden.

Mediane Beugungsdämpfung für die senderseitige sekundäre Kante

Bei $i_{m50} = 1$ besteht keine senderseitige sekundäre Kante und die diesbezügliche Beugungsdämpfung, L_{t50} , sollte auf Null gesetzt werden. Ansonsten erfolgt die Berechnung wie folgt. Zunächst wird eine Korrektur, ζ_t , für die Neigung des Wegs vom Sender zur Hauptkante berechnet:

$$\zeta_t = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{im50} - h_{ts}}{d_{im50}} \right) \right) \quad (34.)$$

Die senderseitige sekundäre Kante wird ermittelt und deren Beugungsparameter, v_{t50} , ergibt sich aus:

$$v_{t50} = \max_{i=1}^{i_{m50}-1} \left(\zeta_t H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d_{im50}}{\lambda d_i (d_{im50} - d_i)}} \right) \quad (35.)$$

wobei

$$H_i = h_i + 10^3 \frac{d_i (d_{im50} - d_i)}{2a_e} - \frac{h_{ts} (d_{im50} - d_i) + h_{im50} d_i}{d_{im50}} \quad (36.)$$

i_{t50} wird auf den Index des Profilpunktes für die senderseitige sekundäre Kante gesetzt (d.h. den Index des Gelände-Entfernungs-Paars entsprechend dem Wert v_{t50}).

Die mediane Kantenbeugungsdämpfung für die senderseitige sekundäre Kante, L_{t50} , wird berechnet mit:

$$L_{t50} = J(v_{t50}) \quad \text{für } v_{t50} \geq -0,78 \text{ und } i_{m50} > 2$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (37.)$$

Mediane Beugungsdämpfung für die empfängerseitige sekundäre Kante

Bei $i_{m50} = n-1$ besteht keine empfängerseitige sekundäre Kante und die diesbezügliche Beugungsdämpfung, L_{r50} , sollte auf Null gesetzt werden. Ansonsten erfolgt die Berechnung wie folgt. Zunächst wird eine Korrektur, ζ_r , für die Neigung des Wegs von der Hauptkante zum Empfänger berechnet:

$$\zeta_r = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{rs} - h_{im50}}{d - d_{im50}} \right) \right) \quad (38.)$$

Die empfängerseitige sekundäre Kante wird ermittelt und deren Beugungsparameter, v_{r50} , ergibt sich aus:

$$v_{r50} = \max_{i=i_{m50}+1}^{n-1} \left(\zeta_r H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} (d - d_{im50})}{\lambda (d_i - d_{im50}) (d - d_i)}} \right) \quad (39.)$$

wobei

$$H_i = h_i + 10^3 \frac{(d_i - d_{im50}) (d - d_i)}{2a_e} - \frac{h_{im50} (d - d_i) + h_{rs} (d_i - d_{im50})}{d - d_{im50}} \quad (40.)$$

i_{r50} wird auf den Index des Profilpunktes für die empfängerseitige sekundäre Kante gesetzt (d.h. den Index des Gelände-Entfernungs-Paars entsprechend dem Wert v_{r50}).

Die mediane Kantenbeugungsdämpfung für die empfängerseitige sekundäre Kante, L_{r50} , wird berechnet mit:

$$L_{r50} = J(v_{r50}) \quad \text{für } v_{r50} \geq -0,78 \text{ und } i_{m50} < n-1$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (41.)$$

Kombination der Kantenbeugungsdämpfung für mediane Erdkrümmung

Die mediane Beugungsdämpfung, L_{d50} , wird berechnet mit:

$$L_{d50} = L_{m50} + \left(1 - e^{-\frac{L_{m50}}{6}}\right) (L_{t50} + L_{r50} + 10 + 0.04d) \quad \text{für } v_{m50} > -0,78$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (42.)$$

In Gleichung (42.) wird L_{t50} Null betragen, wenn es keine senderseitige sekundäre Kante gibt. Analog hierzu wird L_{r50} Null betragen, wenn es keine empfängerseitige sekundäre Kante gibt. Falls $L_{d50} = 0$, wird die Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird, ebenfalls Null betragen.

Wird die Prognose lediglich für $p = 50\%$ benötigt, sind keine weiteren Beugungsberechnungen erforderlich (siehe § 6.2.3). Ansonsten muss die Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird, wie nachstehend beschrieben berechnet werden.

6.2.2 Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird

Die Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird, wird mit dem effektiven Erdradius berechnet, der für $\beta_0\%$ der Zeit überschritten wird, a_β , die sich aus der Gleichung (7.) ergibt. Für diese zweite Beugungsberechnung sollten bei Deygout die gleichen Kanten, wie sie im medianen Fall ermittelt wurden, verwendet werden.

Die Berechnung dieser Beugungsdämpfung erfolgt wie folgt.

Hauptkanten-Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird

Zunächst wird der wichtigste (d.h. Haupt-)Kantenbeugungsparameter, $v_{m\beta}$, ermittelt, der sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$v_{m\beta} = \zeta_m H_{im\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d}{\lambda d_{im50} (d - d_{im50})}} \quad (43.)$$

wobei

$$H_{im\beta} = h_{im50} + 10^3 \frac{d_{im50} (d - d_{im50})}{2a_\beta} - \frac{h_{ts} (d - d_{im50}) + h_{rs} d_{im50}}{d} \quad (44.)$$

Die Kantenbeugungsdämpfung für die Hauptkante, $L_{m\beta}$, wird berechnet mit:

$$L_{m\beta} = J(v_{m\beta}) \quad \text{für } v_{m\beta} \geq -0,78$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (45.)$$

Senderseitige sekundäre Kantenbeugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird

Falls $L_{t50} = 0$, dann beträgt $L_{t\beta}$ Null. Ansonsten wird die senderseitige sekundäre Kantenbeugungsparameter, $v_{t\beta}$, berechnet mit:

$$v_{t\beta} = \zeta_t H_{it\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d_{im50}}{\lambda d_{it50} (d_{im50} - d_{it50})}} \quad (46.)$$

wobei

$$H_{it\beta} = h_{it50} + 10^3 \frac{d_{it50} (d_{im50} - d_{it50})}{2a_\beta} - \frac{h_{ts} (d_{im50} - d_{it50}) + h_{im50} d_{it50}}{d_{im50}} \quad (47.)$$

Die Kantenbeugungsdämpfung für die senderseitige sekundäre Kante, $L_{t\beta}$, wird berechnet mit:

$$L_{t\beta} = J(v_{t\beta}) \quad \text{für } v_{t\beta} \geq -0.78$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (48.)$$

Empfängerseitige sekundäre Kantenbeugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird

Falls $L_{r50} = 0$, dann beträgt $L_{r\beta}$ Null. Ansonsten wird die empfängerseitige sekundäre Kantenbeugungsparameter, $v_{r\beta}$, berechnet mit:

$$v_{r\beta} = \zeta_r H_{ir\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} (d - d_{im50})}{\lambda (d_{ir50} - d_{im50}) (d - d_{ir50})}} \quad (49.)$$

wobei

$$H_{ir\beta} = h_{ir50} + 10^3 \frac{(d_{ir50} - d_{im50}) (d - d_{ir50})}{2a_\beta} - \frac{h_{im50} (d - d_{ir50}) + h_{rs} (d - d_{im50})}{d - d_{im50}} \quad (50.)$$

Die Kantenbeugungsdämpfung für die empfängerseitige sekundäre Kante, $L_{r\beta}$, wird berechnet mit:

$$L_{r\beta} = J(v_{r\beta}) \quad \text{für } v_{r\beta} \geq -0.78$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (51.)$$

Kombination der Kantenbeugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird

Die Beugungsdämpfung, die für $\beta_0\%$ der Zeit nicht überschritten wird, $L_{d\beta}$, wird berechnet mit:

$$L_{d\beta} = L_{m\beta} + \left(1 - e^{-\frac{L_{m\beta}}{6}} \right) (L_{t\beta} + L_{r\beta} + 10 + 0.04d) \quad \text{für } v_{m\beta} > -0.78$$

$$= 0 \quad \text{sonst} \quad (52.)$$

6.2.3 Beugungsdämpfung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird

Die Anwendung der zwei möglichen Werten des effektiven Erdradiusfaktors wird durch einen Interpolationsfaktor, F_i , auf der Grundlage einer log-normalen Verteilung der Beugungsdämpfung über den Bereich $\beta_0\% < p < 50\%$, gesteuert. Ergibt sich aus:

$$F_i = 0 \quad p = 50\% \quad (53.)$$

$$= \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} \quad \text{für } 50\% > p > \beta_0\% \quad (54.)$$

$$= 1 \quad \text{für } \beta_0\% \geq p \quad (55.)$$

wobei $I(x)$ die inverse-kumulative Normalfunktion ist. Eine Näherung für $I(x)$, die zuverlässigerweise für $x < 0.5$ verwendet werden kann, ist in (59.) gegeben.

The Beugungsdämpfung, L_{dp} , die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird, ergibt sich jetzt aus:

$$L_{dp} = L_{d50} + F_i (L_{d\beta} - L_{d50}) \quad \text{dB} \quad (56.)$$

wobei L_{d50} und $L_{d\beta}$ durch die Gleichungen (42.) bzw. (52.) and F_i durch die Gleichungen (53. bis 55.) in Abhängigkeit der Werte von p und β_0 definiert werden.

Die mediane maximale Grundübertragungsdämpfung der Beugung, L_{bd50} , ergibt sich aus:

$$L_{bd50} = L_{bfsg} + L_{d50} \quad \text{dB} \quad (57.)$$

wobei L_{bfsg} sich aus der Gleichung (20.) ergibt.

Die maximale Grundübertragungsdämpfung der Beugung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird, ergibt sich aus:

$$L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB} \quad (58.)$$

wobei L_{b0p} sich aus der Gleichung (27.) ergibt.

Die folgende Näherung 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 (54.) [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 $I(x)$ ist dann gegeben wie folgt:

$$I(x) = \xi(x) - T(x) \quad (59.)$$

wobei

$$T(x) = \sqrt{-2 \ln(x)} \quad (60.)$$

$$\xi(x) = \frac{(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x) + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2)T(x) + D_1]T(x) + 1} \quad (61.)$$

$$C_0 = 2.515516698 \quad (62.)$$

$$C_1 = 0.802853 \quad (63.)$$

$$C_2 = 0.010328 \quad (64.)$$

$$D_1 = 1.432788 \quad (65.)$$

$$D_2 = 0.189269 \quad (66.)$$

$$D_3 = 0.001308 \quad (67.)$$

6.3 Troposcatter

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

$$L_{bs} = 190 + L_f + 20 \log d + 0.573\theta - 0.15 N_0 + L_c + A_g - 10.1 [-\log(p/50)]^{0.7} \quad (68.)$$

wobei

L_f : Frequenzabhängige Dämpfung:

$$L_f = 25 \log f - 2.5 [\log(f/2)]^2 \quad \text{(dB)} \quad (69.)$$

L_c : Kopplungsdämpfung an das Ausbreitungsmedium (dB):

$$L_c = 0,051 \cdot e^{0.055(G_t + G_r)} \quad \text{(dB)} \quad (70.)$$

A_g : Gasabsorption abgeleitet aus Gleichung (21.) mit $\rho = 3 \text{ g/m}^3$ für die gesamte Weglänge.

6.4 Duct-Ausbreitung/Reflexion an atmosphärischen Schichten

Die Prognose der maximalen Grundübertragungsdämpfung, L_{ba} (dB), die während Phasen anomaler Ausbreitung (Duct-Ausbreitung und Reflexion an atmosphärischen Schichten) auftritt, beruht auf folgender Funktion:

$$L_{ba} = A_f + A_d(p) + A_g \quad \text{dB} \quad (71.)$$

wobei

A_f : Gesamtwert der konstanten Ausbreitungsverluste durch Kopplung zwischen den Antennen und der anomalen Ausbreitungsstruktur in der Atmosphäre (Ausbreitungsverluste durch lokale Bebauung und Bewuchs ausgenommen):

$$A_f = 102,45 + 20 \log f + 20 \log (d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB} \quad (72.)$$

A_{st}, A_{sr} : Ausbreitungsverlust durch Beugung an Geländehindernissen in der Nähe der störenden bzw. gestörten Funkstelle:

$$A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log \left[1 + 0.361 \theta''_{t,r} (f \cdot d_{lt,lr})^{1/2} \right] + 0.264 \theta''_{t,r} f^{1/3} \quad \text{dB} & \text{für } \theta''_{t,r} > 0 \quad \text{mrad} \\ 0 \quad \text{dB} & \text{für } \theta''_{t,r} \leq 0 \quad \text{mrad} \end{cases} \quad (73.)$$

wobei

$$\theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \quad (74.)$$

A_{ct}, A_{cr} : Korrektur für Duct-Ausbreitung über Gewässer in der Nähe der störenden bzw. gestörten Funkstelle:

$$A_{ct, cr} = -3 e^{-0.25 d_{ct, cr}^2} \left[1 + \tanh (0.07(50 - h_{ts, rs})) \right] \quad \text{dB} \quad \text{for } \omega \geq 0,75$$

$$d_{ct, cr} \leq d_{lt, lr} \quad (75.)$$

$$d_{ct, cr} \leq 5 \text{ km}$$

$$A_{ct, cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{für alle anderen Bedingungen} \quad (76.)$$

Es ist hilfreich, die geringe Anzahl von Bedingungen, unter denen Gleichung (75.) benötigt wird, zur Kenntnis zu nehmen.

$A_d(p)$: Zeitwahrscheinlichkeits- und winkelabstandsabhängige Ausbreitungsverluste innerhalb des anomalen Ausbreitungsmechanismus:

$$A_d(p) = \gamma_d \theta' + A(p) \quad \text{dB} \quad (77.)$$

wobei

γ_d : Spezielle Dämpfung:

$$\gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad} \quad (78.)$$

θ' : Streustrahlwinkel (wo angemessen korrigiert (mittels Gleichung (79.)), um die Anwendung des Geländehindernissmodells in Gleichung (73.) zu ermöglichen):

$$\theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad} \quad (79.)$$

$$\theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{für } \theta_{t,r} \leq 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \\ 0.1 d_{lt,lr} & \text{für } \theta_{t,r} > 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \end{cases} \quad (80.)$$

$A(p)$: Zeitwahrscheinlichkeitsvariabilität (Summenfeldstärke):

$$A(p) = -12 + (1.2 + 3.7 \times 10^{-3} d) \log\left(\frac{p}{\beta}\right) + 12 \left(\frac{p}{\beta}\right)^\Gamma \quad \text{dB} \quad (81.)$$

$$\Gamma = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)^{1.012}} \times e^{-\left(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198 (\log \beta)^2\right) \times 10^{-6} \cdot d^{1.13}} \quad (82.)$$

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \% \quad (83.)$$

μ_2 : Korrektur für die Geometrie des Ausbreitungswegs:

$$\mu_2 = \left[\frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right]^\alpha \quad (84.)$$

Der Wert von μ_2 darf 1 nicht überschreiten.

$$\alpha = -0.6 - \varepsilon \cdot 10^{-9} \cdot d^{3.1} \cdot \tau \quad (85.)$$

wobei

$$\varepsilon = 3,5$$

τ : definiert in Gleichung (3.) ist
und der Wert von α $-3,4$ nicht unterschreiten darf

μ_3 : Korrektur für Geländerauhigkeit:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{für } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp \left[-4.6 \times 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_l) \right] & \text{für } h_m > 10 \text{ m} \end{cases} \quad (86.)$$

$$d_l = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km} \quad (87.)$$

A_g : Gesamtwert der Gasabsorption nach Gleichung (21.).

6.5 Gesamtprognose

Das nachstehend aufgeführte Verfahren sollte auf die Ergebnisse der obigen Berechnungen für alle Wege angewandt werden.

Ein Interpolationsfaktor, F_j , ist zu ermitteln, um den Streustrahlwinkel des Weges zu berücksichtigen:

$$F_j = 1.0 - 0.5 \left(1.0 + \tanh \left(3.0 \xi \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right) \quad (88.)$$

wobei

$$\Theta = 0,3$$

$$\xi = 0,8$$

θ : Streustrahlwinkel des Weges (mrad) (definiert in Tabelle 3).

Ein Interpolationsfaktor, F_k , ist zu ermitteln, um die Großkreiswegentfernung zu berücksichtigen:

$$F_k = 1.0 - 0.5 \left(1.0 + \tanh \left(3.0 \kappa \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right) \quad (89.)$$

wobei

d : Großkreisweglänge (km) (definiert in Tabelle 3)

d_{sw} : fester Parameter zur Ermittlung des Entfernungsbereichs für das zugehörige

Blending, auf 20 gesetzt

κ : fester Parameter zur Ermittlung des Abfalls des Blendings an den Enden des Bereichs, auf 0,5 gesetzt.

Eine fiktive minimale maximale Grundübertragungsdämpfung, L_{minb0p} (dB), wird berechnet, die im Zusammenhang mit Sichtverbindungsausbreitung und Unterwegbeugung über Gewässer steht.

$$L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{für } p < \beta_0 \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50}) \cdot F_i & \text{für } p \geq \beta_0 \end{cases} \text{ dB} \quad (90.)$$

wobei

L_{b0p} : fiktive maximale Grundübertragungsdämpfung einer Sichtverbindung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird, aus Gleichung (27.)

$L_{b0\beta}$: fiktive maximale Grundübertragungsdämpfung einer Sichtverbindung, die für $\beta\%$ der Zeit nicht überschritten wird, aus Gleichung (28.)

L_{dp} : Beugungsdämpfung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird und mit Hilfe des Verfahrens in § 6.2 berechnet wird.

Eine fiktive minimale maximale Grundübertragungsdämpfung, L_{minbap} (dB), wird berechnet, die im Zusammenhang mit Sichtverbindungs- und Trans-Horizont-Signalverbesserungen steht:

$$L_{minbap} = \eta \ln \left(\exp \left(\frac{L_{ba}}{\eta} \right) + \exp \left(\frac{L_{b0p}}{\eta} \right) \right) \text{ dB} \quad (91.)$$

wobei

L_{ba} : maximale Grundübertragungsdämpfung bei Duct-Ausbreitung/Reflexion an atmosphärischen Schichten, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird, aus Gleichung (71.)

L_{b0p} : fiktive maximale Grundübertragungsdämpfung einer Sichtverbindung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird, aus Gleichung (27.)

$$\eta = 2,5$$

Eine fiktive maximale Grundübertragungsdämpfung, L_{bda} (dB), wird berechnet, die im Zusammenhang mit Verbesserungen der Beugung und Sichtverbindung oder der Duct-Ausbreitung/Reflexion an atmosphärischen Schichten steht:

$$L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{für } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap})F_k & \text{für } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \text{ dB} \quad (92.)$$

wobei

L_{bd} : maximale Grundübertragungsdämpfung der Beugung, die für $p\%$ der Zeit nicht überschritten wird, aus Gleichung (58.).

F_k : Interpolationsfaktor aus Gleichung (89.) gemäß den Werten von p und

β_0 .

Eine modifizierte maximale Grundübertragungsdämpfung, L_{bam} (dB), wird berechnet, die die Verbesserungen der Beugung und Sichtverbindung oder der Duct-Ausbreitung/Reflexion an

atmosphärischen Schichten berücksichtigt

$$L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda}) F_j \quad \text{dB} \quad (93.)$$

Eine endgültige maximale Grundübertragungsdämpfung, die für $p\%$ der Zeit, L_b (dB), nicht überschritten wird, wird berechnet mit:

$$L_b = -5 \log(10^{-0.2L_s} + 10^{-0.2L_{bam}}) \quad \text{dB} \quad (94.)$$