



Bundesnetzagentur

# Modellbeschreibung zur funkdienstübergreifenden Koordinierung Rundfunk – Flugfunk





**Modellbeschreibung  
zur funkdienstübergreifenden  
Koordinierung  
Rundfunk – Flugfunk**

Stand: 19.01.2016

**Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,  
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen**

Referat 222

Canisiusstr. 21

55122 Mainz

Tel.: +49 6131 18-0

Fax: +49 6131 18-5614

E-Mail: [Rundfunk@bnetza.de](mailto:Rundfunk@bnetza.de)

# Anwendungsbereich

Ziel und Zweck dieser Modellbeschreibung ist die Sicherstellung der Verträglichkeit des analogen Hörfunkdienstes im Frequenzbereich 87.5 bis 107.9 MHz mit dem Flugnavigationfunk im Frequenzbereich 108.0 bis 117.975 MHz gemäß TKG §55 Abs. 5.

Die Durchführung der Verträglichkeitsbetrachtung erfolgt durch die Bundesnetzagentur nach den luftverkehrsrechtlich erforderlichen Vorgaben des Bundesaufsichtsamtes für Flugsicherung.



# Inhaltsverzeichnis

Anwendungsbereich .....	3
Inhaltsverzeichnis.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis .....	9
<b>I    PHYSIKALISCHE MODELLE UND BEGRIFFSBESTIMMUNGEN.....</b>	<b>11</b>
<b>A    Physikalische Modelle .....</b>	<b>13</b>
1.    Ausbreitungsmodelle .....	13
1.1    Freiraumausbreitung.....	13
1.2    Ausbreitungsmodell nach ITU-R P.1812 .....	13
1.3    Radiohorizont.....	14
2.    Intermodulation .....	14
3.    Koordinaten und Höhen.....	15
4.    Bestimmung von Schrägentfernung, Elevationswinkel und Azimutwinkel.....	15
4.1    Berechnung von $\alpha$ , $\beta$ , $c$ ( $b_0$ ) mit Hilfe der sphärischen Trigonometrie gemäß Abbildung 3....	18
4.2    Berechnung von $c$ über den Seitenkosinussatz gemäß Abbildung 3.....	18
4.3    Berechnung des Elevationswinkels $\Theta$ und der Schrägentfernung $s$ gemäß Abbildung 1 .....	18
4.4    Alternative Berechnung des Mittelpunktwinkel $c$ mit den Methoden der Differentialgeometrie gemäß Abbildung 1 .....	19
4.5    Empfohlene Bestimmung des Elevationswinkels $\Theta'$ sowie der Schrägentfernung $s'$ beim höhenabhängigen Brechwertverlauf in Mitteleuropa unter Berücksichtigung der Invariante $b_0$ .....	19
<b>B    Rundfunk.....</b>	<b>20</b>
1.    Spektren .....	20
1.1    Frequenzmodulierter Rundfunk (FM).....	20
1.2    FM mit DARC .....	22
1.3    DRM+ .....	24
1.4    HD-Radio.....	25
1.5    Spektraler Pegelverlauf von Intermodulationsprodukten.....	26
2.    Rundfunksendeantennen .....	27
3.    Störungsbereich.....	31
<b>C    Flugnavigationsfunk.....</b>	<b>32</b>
1.    Systembeschreibung.....	32
1.1    Instrumentenlandesystem (ILS).....	32
1.2    VHF Omnidirectional Range (VOR) .....	33
1.3    Ground Based Augmentation System (GBAS) .....	34
2.    Empfangsantennen und Empfänger .....	35
3.    Definition des frequenzkoordinierten Nutzungsbereiches (FPSV) für Flugnavigationsanlagen.....	36
3.1    Allgemeine Beschreibung von FPSV-Gebieten.....	36
3.1.1    FPSV aus Radialsektoren.....	36

3.1.2	FPSV in Form einer Reihe von Koordinatenpunkten.....	37
3.2	ILS LOC .....	37
3.3	VOR .....	38
3.4	GBAS .....	39
3.5	Nutzfeldstärke im FPSV .....	41
<b>II</b>	<b>KOORDINIERUNGSMODELL.....</b>	<b>43</b>
<b>A</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>44</b>
1.	Definition der Störpotenziale.....	44
2.	Einbeziehung Azimut- und Elevationsdiagramm in die Störpotenzialberechnung.....	44
<b>B</b>	<b>Störpotenziale .....</b>	<b>46</b>
1.	A1-Störung .....	46
1.1	Feldstärkeberechnung durch Rauschaussendung .....	46
1.1.1	aRausch - Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung.....	47
1.1.2	aFilter - Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung durch Filter .....	48
1.2	Berechnung von Intermodulationsaussendungen.....	48
1.2.1	aIM - Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung für Intermodulationsprodukte.....	49
1.2.2	aIM - Intermodulationsabhängige Erleichterung .....	50
1.3	A1-Untersuchungsbereich für Rundfunksender.....	51
2.	A2-Störung .....	51
2.1	A2-Untersuchungsbereich für Rundfunksender.....	53
3.	B1-Störung .....	53
3.1	Berechnung des B1-Störpotenzials.....	53
3.1.1	aB1 - frequenzabhängige Intermodulationsunterdrückung .....	54
3.2	B1-Untersuchungsbereich für Rundfunksender .....	55
3.2.1	Cut-off-Kriterium: .....	55
3.2.2	Trigger-Kriterium: .....	55
4.	B2-Störung .....	56
4.1	LC - Korrektur-Term .....	57
4.2	B2-Untersuchungsbereich für Rundfunksender .....	57
	<b>ANHANG .....</b>	<b>61</b>
	<b>Anhang 1: Übergangsregelung.....</b>	<b>62</b>
	<b>Anhang 2: Zugrundeliegende Normen.....</b>	<b>63</b>
	<b>Anhang 3: Beschreibung der FPSV mit Hilfe einer Definition im XML-Format .....</b>	<b>64</b>
	<b>Anhang 4: Änderungsübersicht .....</b>	<b>69</b>



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schrägentfernung, Elevations- und Azimutwinkel bei negativem Elevationswinkel $\Theta$ .....	15
Abbildung 2: Schrägentfernung, Elevations- und Azimutwinkel bei positivem Elevationswinkel $\Theta$ .....	16
Abbildung 3: Sphärische Darstellung von Schrägentfernung, Elevationswinkel und Azimutwinkel .....	16
Abbildung 4: Tabelle Mittleres Spektrum des FM-Stereosignals .....	21
Abbildung 5: Modellierung des FM Stereosignals (mittleres HF-Spektrum) .....	21
Abbildung 6: Tabelle Mittleres Spektrum des FM-Stereosignals mit DARC.....	23
Abbildung 7: Modellierung des FM Stereosignals mit DARC (mittleres HF-Spektrum) .....	23
Abbildung 8: Tabelle Mittleres Spektrum des DRM+ Rundfunksignals.....	24
Abbildung 9: Modellierung des DRM+ Signals (mittleres Spektrum) .....	25
Abbildung 10: Schematische Darstellung des HD-Radio-Signals .....	25
Abbildung 11: Tabelle Spektraler Verlauf von Intermodulationsprodukten .....	27
Abbildung 12: Tabelle Leistungsabhängige Standard-Parameter für die vertikale Antennenausdehnung und die vertikalen Gewinnabsenkung .....	28
Abbildung 13: Darstellung des Elevationsdiagramms mit $VDE=34,22^\circ, VDA =5\text{dB}, n=1[\lambda]$ .....	29
Abbildung 14: Darstellung des Elevationsantennendiagramms $VDE=11,51^\circ, VDA =14 \text{ dB}, n=2[\lambda]$ .....	29
Abbildung 15: Darstellung des Elevationsdiagramms $VDE=11,51^\circ, VDA =14 \text{ dB}, n=4[\lambda]$ .....	30
Abbildung 16: Darstellung des Elevationsdiagramms $VDE=7,23^\circ, VDA =18 \text{ dB}, n=8[\lambda]$ .....	30
Abbildung 17: Schematisches Antennendiagramm eines Landekurssenders .....	32
Abbildung 18: Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines VOR .....	33
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Spektrums eines VOR .....	33
Abbildung 20: Spektrum einer GBAS-Aussendung.....	34
Abbildung 21: Empfängermodell gemäß ITU-R SM.1009-1.....	35
Abbildung 22: Beschreibung Unterkante ILS .....	38
Abbildung 23: Beschreibung Oberkante ILS .....	38
Abbildung 24: Beschreibung Unterkante GBAS .....	40
Abbildung 25: Beschreibung Oberkante GBAS .....	40
Abbildung 26: Tabelle Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung $a_{\text{Rausch}}$ für Rundfunksender.....	47

Abbildung 27: Tabelle Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung $a_{\text{Filter}}$ für Rundfunksender .....	48
Abbildung 28: Tabelle Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung $a_{\text{IM}}$ für Rundfunksender .....	50
Abbildung 29: Tabelle Intermodulationsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung $a_{\text{IM},2/3}$ für Rundfunksender .....	51
Abbildung 30: Tabelle Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung $a_{\text{A},j}$ für Rundfunksender .....	52
Abbildung 31: Tabelle frequenzabhängige Intermodulationsunterdrückung $a_{\text{B}1}$ .....	54
Abbildung 32 .....	58
Abbildung 33 .....	59
Abbildung 34 .....	59
Abbildung 35 .....	60

# Abkürzungsverzeichnis

BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BNetzA	Bundesnetzagentur
DARC	Data Radio Channel
DRM+	Data Radio Mondiale+
ERP	Effective Radiated Power
FM	Frequenzmodulierter Rundfunk
FPSV	Frequency Protected Service Volume (frequenzkoordinierter Nutzungsbereich)
GBAS	Ground Based Augmentation System
GPS	Global Positioning System
HF	Hochfrequenz
ILS	Instrumentenlandesystem
IMC	Instrument Meteorological Conditions
LOC	Localizer (Landekursender)
MPX	Multiplex
NF	Niederfrequenz
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PRBS	Pseudo Random Bit Stream
RDS	Radio Data System
RMS	Root Mean Square (Effektivwert)
UKW	Ultrakurzwellen
VDA	Vertical Directed Attenuation

VDE	Vertical Directed Elevation
VHF	Very High Frequency, gleichbedeutend mit UKW
VOR	VHF Omnidirectional Range
WGS84	World Geodetic System 1984

# **I Physikalische Modelle und Begriffsbestimmungen**



# A Physikalische Modelle

## 1. Ausbreitungsmodelle

Als Ausbreitungsmodell werden das Modell der ITU-R P.1812 und das Freiraumausbreitungsmodell nach ITU-R P.525 angewendet. Das Modell nach ITU-R P.1812 wird bis zu einer Höhendifferenz zwischen Rundfunksender und Flugnavigationsempfänger von 3000 m angewendet. Bei einer größeren Höhendifferenz findet das Modell der Freiraumausbreitung Anwendung.

### 1.1 Freiraumausbreitung

Die nachfolgende Formel beschreibt die Berechnung der Feldstärke an einem Analysepunkt unter der Annahme von Freiraumausbreitung und eines winkelabhängigen Strahlungsdiagramms.

$$E = 76.9 + ERP(\theta, \varphi) - 20 * \lg(s') \quad \text{Formel 1}$$

mit:

- **E**: Feldstärkepegelmaß in  $dB(\mu V/m)$
- **ERP( $\theta, \varphi$ )**: Strahlungsleistung *ERP* in Raumrichtung ( $\theta, \varphi$ ) eines Senders in  $dB(W)$
- **s'**: Abstand zwischen Sendeantenne und Analysepunkt in km. Die Berechnung des Abstands *s'* erfolgt gemäß Kapitel IA4.

### 1.2 Ausbreitungsmodell nach ITU-R P.1812

Für die Anwendung des Ausbreitungsmodell nach ITU-R P.1812 sind folgende Eingangsgrößen erforderlich:

- **f**: Frequenz des zu betrachtenden Senders in *MHz*
- **p**: Zeitwahrscheinlichkeit in %: Wahrscheinlichkeit, mit der eine Feldstärke innerhalb eines Jahres überschritten wird. Dabei wird für die Feldstärkeberechnung von Versorgungssendern eine Wahrscheinlichkeit von 95% empfohlen, für die Feldstärkeberechnung von Störern eine Wahrscheinlichkeit von 5%
- **p<sub>L</sub>**: Ortswahrscheinlichkeit in %: Wahrscheinlichkeit, mit der innerhalb eines betrachteten Minimalgebietes (Pixel) eine Feldstärke überschritten wird. Dabei wird für die Feldstärkeberechnung von Versorgungssendern eine Wahrscheinlichkeit von 99 % empfohlen, für die Feldstärkeberechnung von Störern eine Wahrscheinlichkeit von 50 %
- **Koordinaten**: des Senders nach WGS84 in (°)
- **h**: Antennenhöhe über Grund in *m*
- **Polarisation**: Vertikal, Horizontal oder Mixed

- $w^s$ : Straßenbreite in  $m$

Entgegen der Rec. ITU-R P.1812 findet bei diesem Modell nicht die Großkreisdistanz Anwendung sondern die Schrägentfernung gemäß Kapitel IA4.

Das Geländeprofil ist auf Basis der kartografischen Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie zu bestimmen. Daraus sind ebenfalls die radioklimatische Zone, die Clutter-Informationen, die Entfernung zur Gewässergrenze sowie die radiometeorologischen Parameter herzuleiten.

### 1.3 Radiohorizont

Der Radiohorizont berechnet sich nach folgender Näherungsformel unter Berücksichtigung der atmosphärischen Refraktion und dem sich daraus ergebenden äquivalenten Erdradius von  $4/3 * r$ :

$$s'_{RLOS} = 4.12 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{Formel 2}$$

mit:

- $s'_{RLOS}$ : Entfernung zum Radiohorizont in  $km$  zwischen zwei Punkten P1 und P2 unter Beachtung des höhenabhängigen Brechungsindex (Strahlkrümmung).
- $h_1$ : Höhe des Punktes P1 in  $m$  über Normal Null (NN)
- $h_2$ : Höhe des Punktes P2 in  $m$  über Normal Null (NN)

Analysepunkte hinter dem Radiohorizont  $s'_{RLOS}$  werden nicht betrachtet. Dabei werden weder Beugungs- noch troposphärische Wellenleitereffekte berücksichtigt.

## 2. Intermodulation

Intermodulationssignale sind Mischprodukte, die in Sende- und Empfangszweigen an nichtlinearen Komponenten entstehen können. Dabei kann aus mehreren Rundfunksignalen ein Störsignal auf einer Flugfunkfrequenz entstehen.

Hier werden nur Intermodulationen 3. Ordnung im Flugnavigationsband betrachtet, so dass lediglich zwischen dem Intermodulationsprodukt 3. Ordnung durch 2 Sender bzw. 3 Sender unterschieden werden muss.

Die Frequenz des Intermodulationsproduktes berechnet sich nach

$$f_{IM} = \begin{cases} 2 * f_1 - f_2 & \text{für } f_1 > f_2 \quad (2 \text{ Senderfall}) \\ f_1 + f_2 - f_3 & \text{für } f_1 \geq f_2 > f_3 \quad (3 \text{ Senderfall}) \end{cases} \quad \text{Formel 3}$$

unabhängig ob Sende- oder Empfangsintermodulation untersucht wird. Die Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  entsprechen hierbei den Frequenzen der untersuchten Rundfunksender.



Die in Formel 3 festgelegten Bedingungen für  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  (für den 3-Senderfall) erfüllen die notwendige Bedingung für ein Intermodulationsprodukt innerhalb des Flugnavigationbandes. Alle Frequenzkombinationen, die diese Bedingungen nicht erfüllen, müssen nicht berücksichtigt werden.

Der Frequenzabstand  $\Delta f_{IM}$  der Intermodulationsfrequenz zur Flugnavigationfrequenz  $f_{NAV}$  ist

$$\Delta f_{IM} = |f_{NAV} - f_{IM}| \tag{Formel 4}$$

### 3. Koordinaten und Höhen

Alle Punkte im Raum werden durch sekundengenaue geographische Koordinaten im WGS84-Modell und einer Höhenangabe in Meter über NN (Normal Null = Meereshöhe) angegeben. Höhenangaben können grundsätzlich auf anderen Referenzen basieren. So kann beispielsweise eine Antennenhöhe auf die Standorthöhe referenziert sein. Letztendlich muss mindestens eine Höhenangabe vorhanden sein, die auf Meereshöhe bezogen ist.

### 4. Bestimmung von Schrägentfernung, Elevationswinkel und Azimutwinkel

Elevations- und Azimutwinkel beziehen sich auf den Rundfunksenderstandort. Der Azimutwinkel wird als Nord über Ost angegeben, der Elevationswinkel bezieht sich auf die Horizontaltangente.

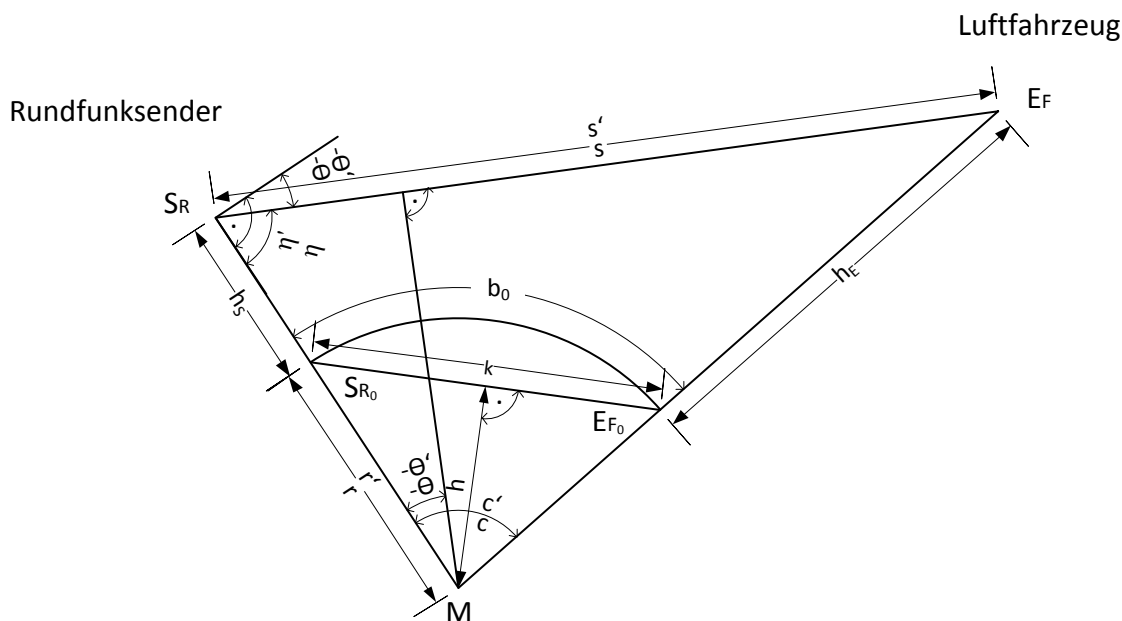


Abbildung 1: Schrägentfernung, Elevations- und Azimutwinkel bei negativem Elevationswinkel  $\theta$



mit:

- $b_0$ : invariante Großkreisentfernung auf der geometrischen Erdoberfläche (Kugeloberfläche) mit Radius  $r$  bzw. der äquivalenten Erdoberfläche mit Radius  $r'$  (Verminderung des Krümmungsmaßes von  $\frac{1}{r}$  auf  $\frac{1}{r'}$ )
- $h_S$ : Höhe der Sendeantenne über NN
- $h_E$ : Höhe des Luftfahrzeugs über NN
- $M$ : Mittelpunkt der Erde
- $r$ : Erdradius (6371km)
- $r'$ : Äquivalenter Erdradius ( $r' = \frac{4}{3}r$ ): Mittlerer höhenabhängiger Brechwertverlauf in Mitteleuropa zugrundeliegend
- $s$ : Schrägentfernung Rundfunksender – Luftfahrzeug
- $s'$ : Schrägentfernung Rundfunksender – Luftfahrzeug unter Berücksichtigung des höhenabhängigen Brechwertverlaufs
- $E_F$ : Empfänger für Flugnavigationssignale
- $E_{F_0}$ : Projektion des Empfängers auf die Erdoberfläche
- $S_R$ : Sender für Rundfunksignale
- $S_{R_0}$ : Projektion des Senders auf die Erdoberfläche
- $h, k, \eta, \eta'$ : Hilfsgrößen
- $\theta$ : Elevationswinkel über der Tangentialebene in [°]
- $\theta'$ : Elevationswinkel unter Berücksichtigung des höhenabhängigen Brechwertverlaufs in [°]
- $A, B$ : stellt  $S_{R_0}$  oder  $E_{F_0}$  gemäß Abbildung 3 dar
- $C$ : Nordpol
- $a, b$ : Länge der Teilmeridiane gemäß Abbildung 1 in [rad]
- $c$ : Entfernung Sender – Empfänger auf einem Großkreis der Kugeloberfläche gemäß Abbildung 1 in [rad]
- $U_{S,E}^1$ : Geografische Länge von Rundfunksender bzw. Luftfahrzeug im gaußschen Koordinatensystem in [°] oder [rad]
- $U_{S,E}^2$ : Geografische Breite von Rundfunksender bzw. Luftfahrzeug im gaußschen Koordinatensystem in [°] oder [rad]

Die inversen trigonometrischen Funktionen sind als Hauptwert zu verstehen.

#### 4.1 Berechnung von $\alpha$ , $\beta$ , $c$ ( $b_0$ ) mit Hilfe der sphärischen Trigonometrie gemäß Abbildung 3

**Fall 1:**  $U_S^1 < U_E^1$ ;  $\gamma = |U_E^1 - U_S^1|$ ;  $a = 90^\circ - U_E^2$ ;  $b = 90^\circ - U_S^2$

$$\beta = \cot_H^{-1} \left\{ \frac{\sin a * \cot b - \cos a * \cos \gamma}{\sin \gamma} \right\} \quad \text{Formel 5}$$

$$\alpha = \cos_H^{-1} \{ -\cos \beta * \cos \gamma + \sin \beta * \sin \gamma * \cos a \} \quad \text{Formel 6}$$

$$\alpha_{Nü.O} = \alpha \quad \text{Formel 7}$$

**Fall 2:**  $U_S^1 > U_E^1$ ;  $\gamma = |U_E^1 - U_S^1|$ ;  $a = 90^\circ - U_S^2$ ;  $b = 90^\circ - U_E^2$

$$\beta = \cot_H^{-1} \left\{ \frac{\sin a * \cot b - \cos a * \cos \gamma}{\sin \gamma} \right\} \quad \text{Formel 8}$$

$$\beta_{Nü.O} = 360^\circ - \beta \quad \text{Formel 9}$$

**Fall 3:**  $U_S^1 = U_E^1$

$$\beta_{Nü.O} = 180^\circ \text{ für } U_S^2 > U_E^2 \quad \text{Formel 10}$$

$$\alpha_{Nü.O} = 0^\circ \text{ für } U_S^2 < U_E^2 \quad \text{Formel 11}$$

#### 4.2 Berechnung von $c$ über den Seitenkosinussatz gemäß Abbildung 3

$$c = \cos_H^{-1} \{ \cos a * \cos b + \sin a * \sin b * \cos \gamma \} \quad \text{Formel 12}$$

#### 4.3 Berechnung des Elevationswinkels $\theta$ und der Schrägentfernung $s$ gemäß Abbildung 1

$$s = \sqrt{(r + h_E)^2 + (r + h_S)^2 - 2 * (r + h_E) * (r + h_S) * \cos(c)} \quad \text{Formel 13}$$

$$b_0 = r * c \quad \text{Formel 14}$$

Berechnung des Elevationswinkels  $\theta$

$$\theta = \sin_H^{-1} \left\{ \frac{(r+h_E)^2 - (r+h_S)^2 - s^2}{2 * s * (r+h_S)} \right\} \quad \text{Formel 15}$$

Alternative Berechnung des Elevationswinkels  $\theta$

$$\theta = \cos_H^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{(r+h_S)^2 - v^2}}{(r+h_S)} \right\} * \text{sign } e \quad \text{Formel 16}$$

mit  $e = (r + h_E)^2 - (r + h_S)^2 - s^2$  und  $v = \left\{ \frac{e}{2 * s} \right\}$

#### 4.4 Alternative Berechnung des Mittelpunktwinkel $c$ mit den Methoden der Differentialgeometrie gemäß Abbildung 1

$$\left. \begin{aligned} x_{1S,E} &= r * \cos(U_{S,E}^1) * \cos(U_{S,E}^2) \\ x_{2S,E} &= r * \sin(U_{S,E}^1) * \cos(U_{S,E}^2) \\ x_{3S,E} &= r * \sin(U_{S,E}^2) \end{aligned} \right\} \text{im Gaußschen Koordinatensystem} \quad \text{Formel 17}$$

$$k = \sqrt{(x_{1S} - x_{1E})^2 + (x_{2S} - x_{2E})^2 + (x_{3S} - x_{3E})^2} \quad \text{Formel 18}$$

$$h = \sqrt{r^2 - \left(\frac{k}{2}\right)^2} \quad \text{Formel 19}$$

$$\cos\left(\frac{c}{2}\right) = \frac{h}{r} \quad \text{Formel 20}$$

$$\sin\left(\frac{c}{2}\right) = \frac{k/2}{r} \quad \text{Formel 21}$$

$$\cos c = \left\{ \cos\left(\frac{c}{2}\right) \right\}^2 - \left\{ \sin\left(\frac{c}{2}\right) \right\}^2 \Leftrightarrow c = \cos_H^{-1} \left\{ \left(\frac{h}{r}\right)^2 - \left(\frac{k/2}{r}\right)^2 \right\} \quad \text{Formel 22}$$

#### 4.5 Empfohlene Bestimmung des Elevationswinkels $\theta'$ sowie der Schrägentfernung $s'$ beim höhenabhängigen Brechwertverlauf in Mitteleuropa unter Berücksichtigung der Invariante $b_0$

$$r' = \frac{4}{3} r \quad \text{Formel 23}$$

$$c' = \frac{b_0}{r'} = \frac{3}{4} c \quad \text{Formel 24}$$

$$s' = \sqrt{(r' + h_E)^2 + (r' + h_S)^2 - 2(r' + h_E) * (r' + h_S) * \cos c'} \quad \text{Formel 25}$$

Berechnung des Elevationswinkels  $\theta'$

$$\theta' = \sin_H^{-1} \left\{ \frac{(r'+h_E)^2 - (r'+h_S)^2 - (s')^2}{2 * s' * (r'+h_S)} \right\} \quad \text{Formel 26}$$

Alternative Berechnung des Elevationswinkels  $\theta'$

$$\theta' = \cos_H^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{(r'+h_S)^2 - (v')^2}}{(r'+h_S)} \right\} * \text{sign } e' \quad \text{Formel 27}$$

mit  $e' = (r' + h_E)^2 - (r' + h_S)^2 - (s')^2$  und  $v' = \left\{ \frac{e'}{2 * s'} \right\}$

# B Rundfunk

## 1. Spektren

### 1.1 Frequenzmodulierter Rundfunk (FM)

Das heutige typische FM-Signal ist nur noch bedingt mit dem Standardsignal von ITU R-REC BS.412 (1998) vergleichbar. Seit Jahren werden in den Sendern sowohl in den Audioquellen selbst, aber auch am Sendereingang Audioprozessoren verwendet. Somit ist das modulierende Signal oft hochgradig in seiner Dynamik komprimiert. Ebenso ist RDS und die Stereoausendung als Quasistandard anzusehen. Dies hat mitunter zur Folge, dass der HF-Träger seltener auf seiner Mittenfrequenz ‚steht‘. Somit wird das Spektrum flacher, aber auch breiter.

Bei Standard-FM Sendern wird immer davon ausgegangen, dass

- sie ein Stereosignal senden,
- das Audiosignal dynamikkomprimiert ist,
- RDS gesendet wird,
- die Multiplexleistung 0 dBr nicht überschreitet,
- der maximale Hub 75 kHz nicht überschreitet.

Dabei entspricht 0 dBr der Multiplexleistung (MPX) eines sinusförmigen Modulationssignals bei einem Hub von 19 kHz.

Da ausschließlich das zeitlich mittlere und nicht das maximale Spektrum störrrelevant ist, wird das FM Rundfunksignal abweichend von der ITU-R SM.1140 nicht durch seine NF- Eigenschaften beschrieben sondern durch den Verlauf des mittleren Spektrums, gemessen in 1 kHz Auflösungsbandbreite.

Die folgende Tabelle beschreibt die Eckpunkte des typischen, zeitlich gemittelten Spektrums des FM Rundfunksignals.

### Mittleres Spektrum des FM-Stereosignals

Offset	Relativer Pegel
0 kHz	0 dB
5 kHz	0 dB
15 kHz	-4 dB
30 kHz	-13 dB
45 kHz	-18 dB
60 kHz	-25 dB
300 kHz	-145 dB

Quelle: Messung der Bundesnetzagentur

Abbildung 4: Tabelle Mittleres Spektrum des FM-Stereosignals

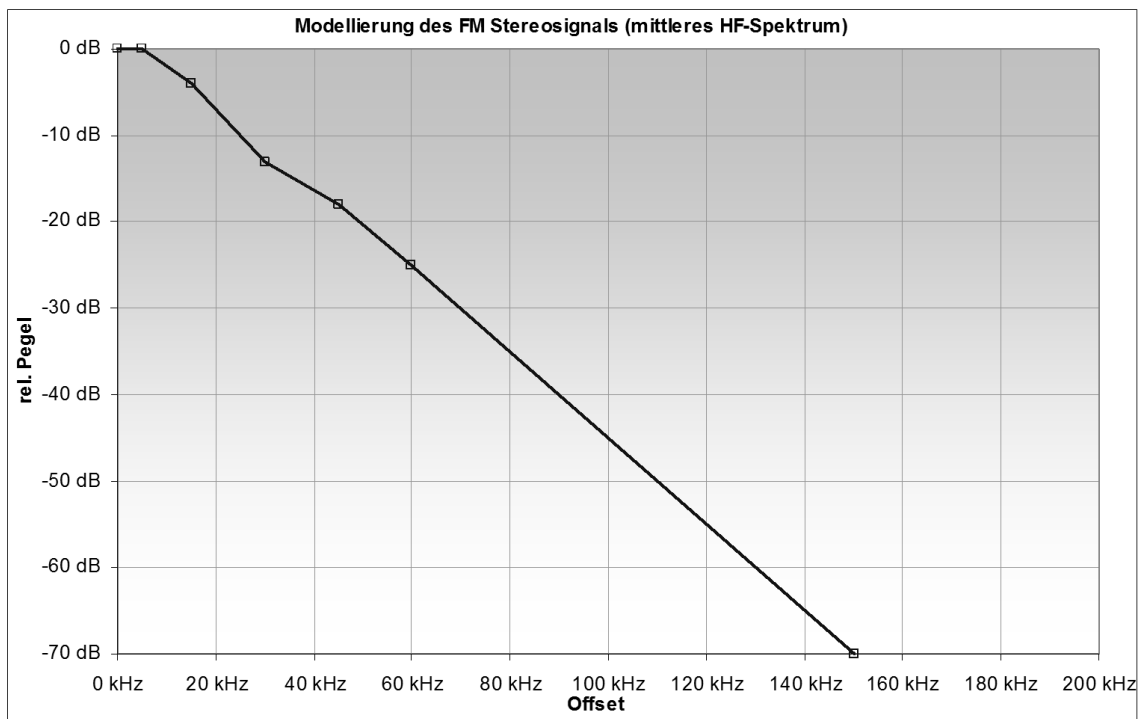


Abbildung 5: Modellierung des FM Stereosignals (mittleres HF-Spektrum)

Diese Maske entspricht dem mit 1 kHz Auflösungsbandbreite und RMS-Detektor gemessenen Signalspektrum.

Das Signal kann wie folgt erzeugt werden:

- NF-Modulation: Farbiges Rauschen nach ITU-R BS.641 mit gleichem Pegel links und rechts, aber nicht korreliert (unabhängige Rauschsignale im linken und rechten Audiokanal)
- Hohe NF-Komprimierung durch Audioprozessor
- Modus: Stereo
- RDS-Hub: 2 kHz
- Preemphasis: 50  $\mu$ s
- Spitzenhub: 69 kHz
- MPX-Leistung: 0 dBr

## 1.2 FM mit DARC

Data Radio Channel (DARC) ist ein Verfahren zur Broadcast-Übertragung von Daten im UKW-Rundfunk. Die zusätzliche Aussendung von DARC verbreitert das Spektrum und erhöht tendenziell die Störwirkung auf Flugnavigationssysteme im Nachbarfrequenzband.

Es wird vorausgesetzt, dass

- der zusätzliche Spitzenhub durch den DARC- Unterträger 7,5 kHz nicht überschreitet und
- der Gesamtsitzenhub von 75 kHz eingehalten wird

Analoge FM-Rundfunksender, die im Basisband bei 76 kHz digitale Zusatzsignale zur Datenübertragung (z. B. DARC) enthalten, werden äquivalent zur Definition unter Kapitel IB1.1 über ihr mittleres HF-Spektrum wie folgt modelliert:



### Mittleres Spektrum des FM-Stereosignals mit DARC

Offset	Relativer Pegel
0 kHz	0 dB
5 kHz	0 dB
15 kHz	-4 dB
30 kHz	-13 dB
45 kHz	-18 dB
60 kHz	-25 dB
80 kHz	-25 dB
140 kHz	-53 dB
160 kHz	-57 dB
300 kHz	-110 dB

Quelle: Messung der Bundesnetzagentur

Abbildung 6: Tabelle Mittleres Spektrum des FM-Stereosignals mit DARC

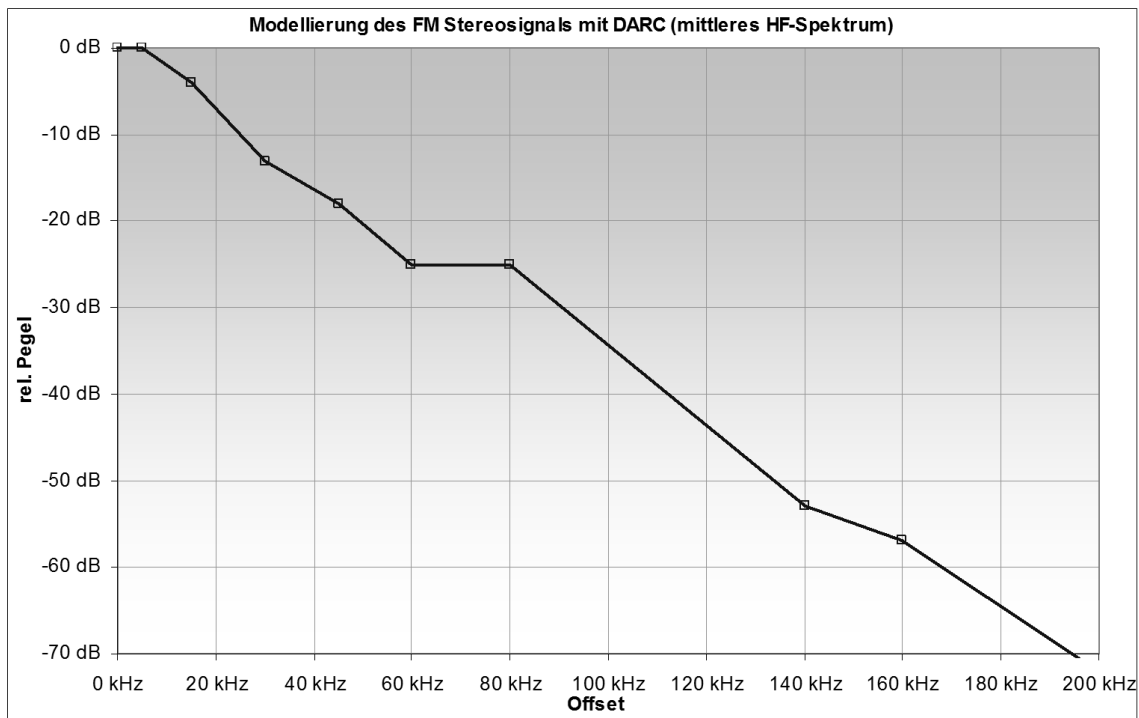


Abbildung 7: Modellierung des FM Stereosignals mit DARC (mittleres HF-Spektrum)

Diese Maske entspricht dem mit 1 kHz Auflösungsbandbreite und RMS-Detektor gemessenen Signalspektrum.

Das Signal kann wie folgt erzeugt werden:

- NF-Modulation: farbiges Rauschen nach ITU-R BS.641 mit gleichem Pegel links und rechts, aber nicht korreliert (unabhängige Rauschsignale im linken und rechten Audiosignal)
- Hohe NF-Komprimierung durch Audioprozessor
- Modus: Stereo
- RDS-Hub: 2 kHz (RDS: Radio Data System)
- DARC-Hub: 7,5 kHz
- Preemphase: 50  $\mu$ s
- Spitzenhub: 69 kHz
- MPX-Leistung: 0 dBr

### 1.3 DRM+

Die digitale Modulationsart DRM+ (Digital Radio Mondial+) weist ein näherungsweise rechteckförmiges Spektrum auf. Ein DRM+ Rundfunksignal wird ebenfalls über die Eckpunkte seines mittleren HF-Spektrums beschrieben. Diese sind in Abbildung 8: Tabelle Mittleres Spektrum des DRM+ Rundfunksignals definiert.

Es wird vorausgesetzt, dass das Signal in seiner Struktur ETSI ES 201 980 entspricht und dass die Grenzwerte der Nebenaussendungen an die Sendermaske gem. ETSI EN 302 018 angelehnt sind.

#### Mittleres Spektrum des DRM+ Rundfunksignals

Offset	Relativer Pegel
0 kHz	0 dB
48 kHz	0 dB
55 kHz	-40 dB
100 kHz	-48 dB
300 kHz	-121 dB

Quelle: Messung der Bundesnetzagentur

Abbildung 8: Tabelle Mittleres Spektrum des DRM+ Rundfunksignals

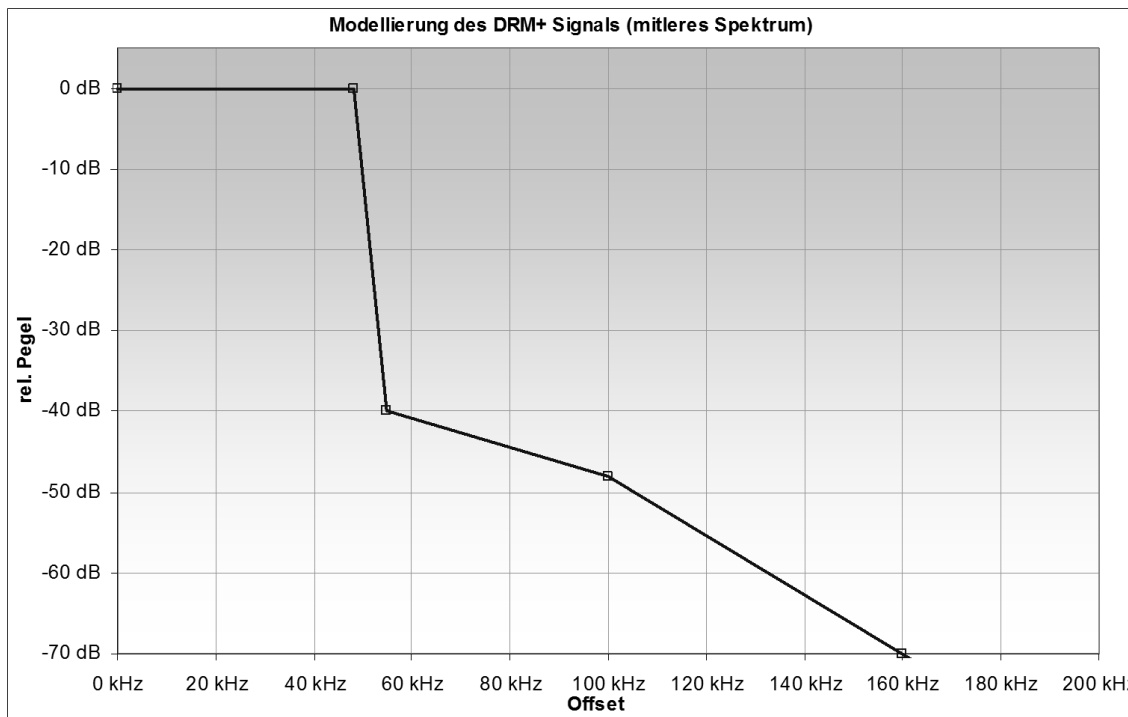


Abbildung 9: Modellierung des DRM+ Signals (mittleres Spektrum)

Eine Kombination aus DRM+-Modulator mit angeschlossener Sendestufe erzeugt das OFDM-modulierte Signal gemäß ETSI ES 201 980.

Der Modulationsinhalt (die Nutzdaten) sind hierbei unerheblich, genauso wie die Modulationsart der einzelnen Multiplexkanäle FAC/SDC/MSC. Als Datenquelle kann z.B. der PRBS-Generator gem. o.g. Norm verwendet werden, alle verfügbaren Bytes des Datenstroms sind mit diesem zu belegen.

### 1.4 HD-Radio

HD-Radio ist eine weitere digitale Modulationsart des UKW-Rundfunks.

Das HD-Radio Signal besteht prinzipiell aus drei Blöcken:

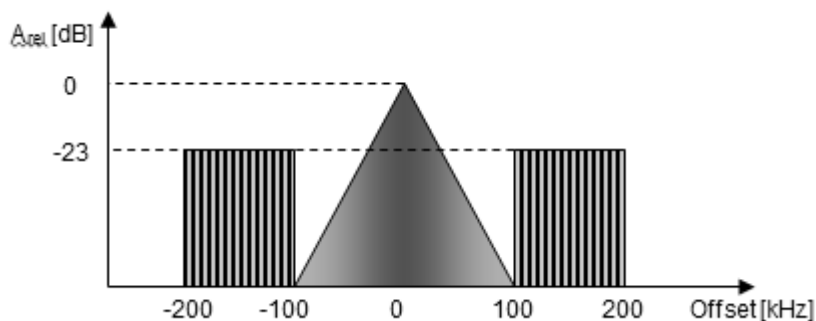


Abbildung 10: Schematische Darstellung des HD-Radio-Signals

Der Standard erlaubt verschiedene Kombinationen des analogen FM- Signals und der digitalen OFDM-Blöcke:

Extended Hybrid Mode: Analoges FM-Signal in der Mitte, zusätzlich ein oder zwei OFDM-Blöcke im Abstand  $\pm 100$  kHz bis  $\pm 200$  kHz.

Digital Only Mode: Nur einer oder beide OFDM-Blöcke werden ausgesendet. Das analoge FM-Signal in der Mitte fehlt.

All Digital Mode: Beide OFDM-Blöcke werden ausgesendet. Zusätzlich wird das analoge FM-Signal in der Mitte durch einen weiteren, 200 kHz breiten, OFDM-Block ersetzt, dessen Pegel 10 dB unterhalb des Pegels der OFDM-Seitenblöcke liegt.

Wegen der Vielzahl der möglichen Block-Kombinationen und der möglichen Intermodulation der Blöcke untereinander wird beim HD-Radio Signal jeder Block als Einzelsender mit seinem entsprechenden Pegel berechnet. Dabei wird der analoge FM-Teil wie ein FM-Stereosender nach Kapitel IB1.1 und jeder OFDM-Block wie ein DRM+ Sender gemäß Kapitel IB1.3 modelliert. Das bedeutet z. B., dass ein hybrides HD-Radiosignal für die Berechnung wie ein analoger FM-Stereosender mit voller Leistung und zusätzlich zwei DRM+ Sender im Abstand von  $\pm 150$  kHz mit einem Pegel von 23 dB unter der Leistung des analogen FM-Senders behandelt wird.

Das Signal kann wie folgt erzeugt werden:

Ein Sender generiert die HD-Radio-Blöcke im sogenannten Hybrid-Mode. Der FM-Träger wird so moduliert, dass dessen Spektrum dem Spektrum gemäß Kapitel IB1.1 entspricht.

Die Spezifikation der digitalen Blöcke ist der sogenannte ‚FM Transmission Specification‘ der iBiquity Digital Corporation zu entnehmen.

## 1.5 Spektraler Pegelverlauf von Intermodulationsprodukten

Nach messtechnischen Untersuchungen kann der Pegelverlauf der Intermodulationsprodukte 3. Ordnung von FM-Stereo-Sendern (inkl. DARC Signal) über der Frequenz folgendermaßen festgelegt werden.

## Spektraler Pegelverlauf von Intermodulationsprodukten

Frequenzoffset	Absenkung
-250 kHz	-70 dB
-80 kHz	-17 dB
-20 kHz	0 dB
0 kHz	0 dB
20 kHz	0 dB
80 kHz	-17 dB
250 kHz	-70 dB

Quelle: Messung der Bundesnetzagentur

Abbildung 11: Tabelle Spektraler Verlauf von Intermodulationsprodukten

## 2. Rundfunksendeantennen

Eine Rundfunksendeantenne ist an einem Antennentragwerk mit der Antennenhöhe  $h_{Ant}$  angebracht. Die Antennenhöhe  $h_{Ant}$  ist die Höhe des Antennenschwerpunktes laut Zuteilung und wird über der Geländehöhe des Standortes in Metern angegeben. Diese Antennenhöhe wird für die Koordinierung „Rundfunk-Flugfunk“ verwendet, auch wenn die Frequenz im Rahmen der Zuteilung von einer niedrigeren Antenne abgestrahlt werden könnte.

Die Zuteilung enthält die maximal zulässige Strahlungsleistung ( $ERP_{max}$  in  $dB(W)$ ), die im Betrieb unterschritten werden kann.

Das Horizontaldiagramm der Antenne wird in  $10^\circ$  Schritten als Strahlungsleistung  $ERP(\varphi)$  in  $dB(W)$  angegeben (vgl. ITU-R SM. 1009-1 Kap. 4.3). Zwischenwerte werden in der Einheit  $dB(W)$  linear interpoliert. Für jede Polarisations Ebene wird eine individuelle Strahlungsleistung definiert. Die zur Koordinierung herangezogene Gesamtstrahlungsleistung  $ERP(\varphi)$  ergibt sich aus der Summe der linearen Strahlungsleistungen beider Polarisationsanteile:

$$ERP(\varphi) = 10 * \lg \left( 10^{\frac{ERP_{Pol.-horizontal}}{10}} + 10^{\frac{ERP_{Pol.-vertikal}}{10}} \right) \quad \text{Formel 28}$$

Das Elevationsdiagramm  $G_{vertikal}(\theta)$  der Antenne wird als Gewinn  $G_{vertikal}$  parametrisiert angegeben und ist vom horizontalen Winkel unabhängig (ITU-R SM. 1009-1 Kap. 4.4). In ITU-R SM. 1009-1 Kap. 4.4.3 ist explizit erwähnt, dass diese Beschreibung auch auf den Frequenzbereich des Flugfunks Anwendung findet. Zur Beschreibung des Elevationsdiagramms werden die vertikale Antennenausdehnung  $n$  (als ganzzahlige Vielfache der Wellenlänge  $\lambda$ ) und die vertikale Gewinnabsenkung  $VDA$  (in  $dB$  – bezogen auf die Leistung  $ERP(\varphi)$ ) angegeben.

Standardmäßig werden die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte für die vertikale Antennenausdehnung  $n$  und die vertikale Gewinnabsenkung verwendet. Abweichungen von diesen Werten sind bei entsprechender Begründung im Einzelfall jedoch möglich.

### Leistungsabhängige Standard-Parameter für die vertikale Antennenausdehnung und die vertikalen Gewinnabsenkung

Leistung	VDA	VDE	n
$ERP_{\max} \leq 30 \text{ dB(W)}$	5 dB	34.22 °	1 $\lambda$
$30 \text{ dB(W)} < ERP_{\max} \leq 37 \text{ dB(W)}$	14 dB	11.51 °	2 $\lambda$
$37 \text{ dB(W)} < ERP_{\max} \leq 44 \text{ dB(W)}$	14 dB	11.51 °	4 $\lambda$
$44 \text{ dB(W)} < ERP_{\max}$	18 dB	7.23 °	8 $\lambda$

Quelle Bundesnetzagentur

Abbildung 12: Tabelle Leistungsabhängige Standard-Parameter für die vertikale Antennenausdehnung und die vertikalen Gewinnabsenkung

Das Elevationsdiagramm der Sendeantenne muss für alle Elevationswinkel im Winkelbereich zwischen 0° bis +90° mindestens folgenden Verlauf haben:

$$G_{\text{vertikal}}(\theta, VDA) = -\{VDA + 20 \lg(\sin \theta)\} * u\{\theta - VDE\} \quad \text{Formel 29}$$

mit

$$VDE = \sin_H^{-1}(10^{-VDA/20}) \quad \text{Formel 30}$$

Für Winkel kleiner 0° wird die volle Strahlungsleistung angesetzt.

Dabei entspricht:

- $\theta$ : Elevationswinkel in Grad
- $G_{\text{vertikal}}(\theta, VDA)$ : vertikale Gewinnabsenkung gegenüber der Hauptausdehnung in dB
- $VDA$ : Vertical Directed Attenuation, maximale vertikale Nebenzipfeldämpfung in dB
- $VDE$ : Vertical Directed Elevation, Grenzwinkel in Grad, ab dem eine Leistungsreduzierung erfolgt
- $u$ : Einheitssprungfunktion (Heavisidefunktion)

In den nachfolgenden Grafiken sind jeweils das berechnete Elevationsdiagramm unter vereinfachten Annahmen (unterbrochener Linienzug) als auch das für das Modell festgelegte Elevationsdiagramm (durchgehender Linienzug) für die verschiedenen vertikalen Antennenausdehnungen [n] dargestellt.

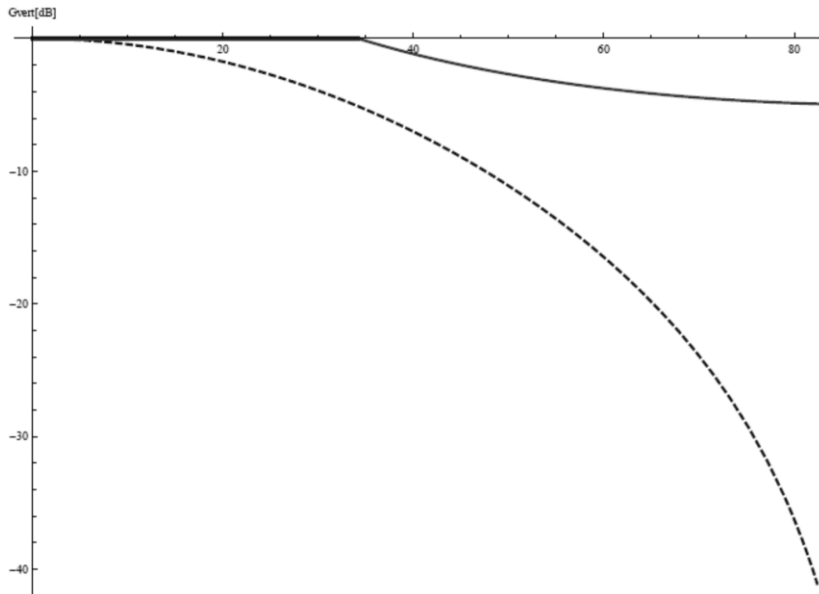


Abbildung 13: Darstellung des Elevationsdiagramms mit  $VDE=34,22^\circ$ ,  $VDA = 5\text{dB}$ ,  $n=1[\lambda]$

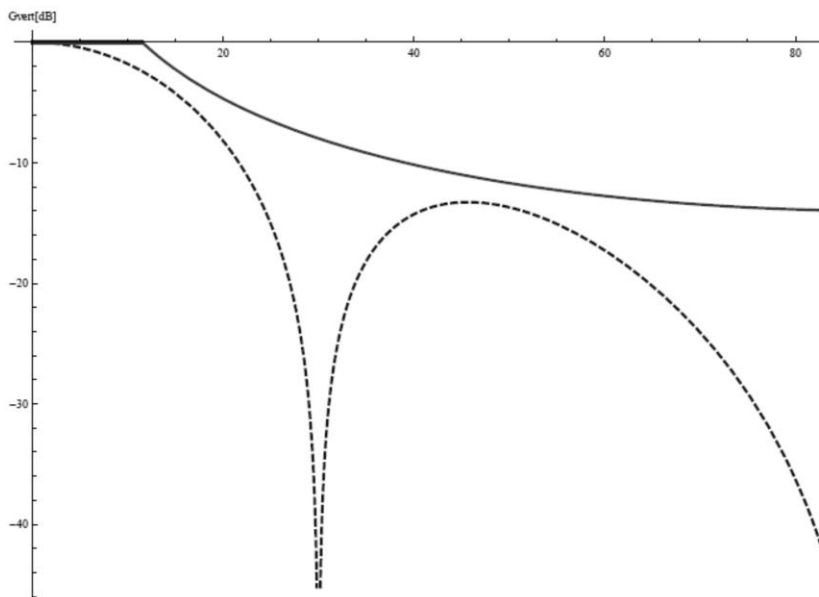


Abbildung 14: Darstellung des Elevationsantennendiagramms  $VDE=11,51^\circ$ ,  $VDA = 14 \text{ dB}$ ,  $n=2[\lambda]$

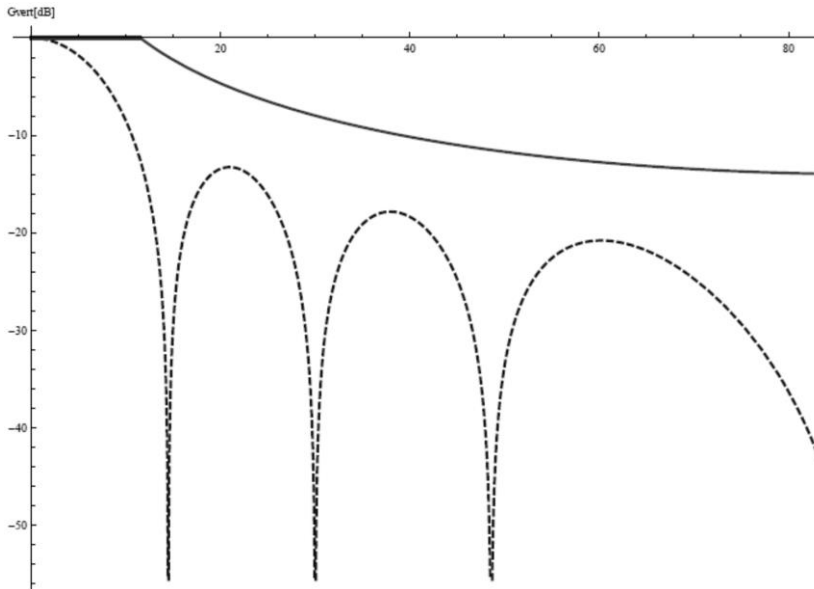


Abbildung 15: Darstellung des Elevationsdiagramms  $VDE=11,51^\circ$ ,  $VDA = 14 \text{ dB}$ ,  $n=4[\lambda]$

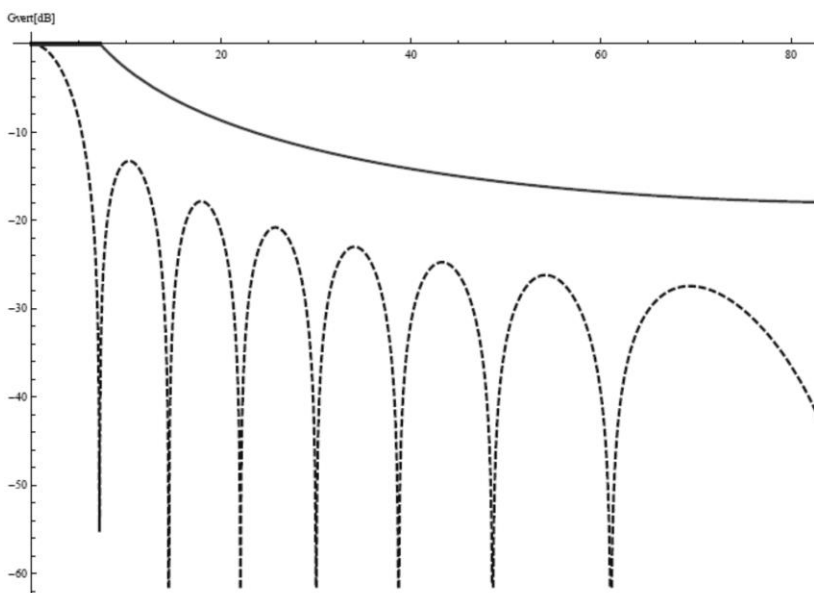


Abbildung 16: Darstellung des Elevationsdiagramms  $VDE=7,23^\circ$ ,  $VDA = 18 \text{ dB}$ ,  $n=8[\lambda]$

Die Strahlungsleistung in eine beliebige Richtung ergibt sich aus der Strahlungsleistung des Horizontal-  
diagramms zuzüglich des Antennengewinns in Vertikalrichtung.

$$ERP(\theta, \varphi) = ERP(\varphi) + G_{\text{vertikal}}(\theta, VDA)$$

**Formel 31**

Es wird kein Unterschied in der Störberechnung zwischen horizontaler, vertikaler und gemischter Polari-  
sation getroffen. Die Leistung eines Senders, der gemischt polarisiertes Signal aussendet, ergibt sich aus  
der Addition der Leistungen (lineare Addition) beider linear polarisierter Angaben.



### 3. Störungsbereich

Der Störungsbereich ist der Raumbereich innerhalb des frequenzkoordinierten Nutzungsbereichs (FPSV – siehe Kapitel IC3), in dem ein störungsfreier Betrieb des Flugnavigationssystems nicht garantiert werden kann. Dieser Störungsbereich kann eine beliebige Form aufweisen.

Der Störungsbereich wird durch eine ausreichende Anzahl von Punkten (jeweils bestimmt durch die geografischen Koordinaten nach WGS84-Modell und Höhe) definiert, in denen mindestens eines der Störpotenziale (A1, A2, B1 oder B2) größer 0 dB ist (siehe Kapitel IC3.1).

# C Flugnavigationsfunk

## 1. Systembeschreibung

### 1.1 Instrumentenlandesystem (ILS)

Die Schnittstellenbeschreibung „SSB FL 012“ definiert national „Landekursfunkanlagen“.

Das ILS ist ein bodenbasiertes System, das den Piloten eines Flugzeuges bei Anflug und Landung mittels zweier Leitstrahlen - Landekurs (LOC = Localizer, Information über Kurs) und Gleitpfad (Information über Höhe) - unterstützt. Der Pilot kann die Signale auf einem Anzeigegerät verfolgen, das an einen ILS-Empfänger angeschlossen ist. Dadurch sind auch bei schlechten Sichtbedingungen (IMC) Präzisionsanflüge möglich.

Die Sendefrequenz des Gleitpfadsenders liegt im UHF-Bereich (329 MHz bis 335 MHz) und ist aufgrund des Frequenzbandes nicht Teil der Koordinierung zwischen Rundfunk und Flugnavigationsfunk.

Die Sendefrequenz des Landekursenders, liegt zwischen 108,00 und 111,95 MHz. Die Sendeantenne des LOC befindet sich ca. 300 m hinter dem Ende der Landebahn und besteht aus mehreren, paarweise angeordneten Richtantennen (gestreckte  $\lambda/2$ -Dipolantennen). Der HF-Träger ist mit einem 90 Hz Signal zur einen Seite des Anflugbereichs und mit einem 150 Hz Signal zur anderen Seite des Anflugbereichs mit einem Modulationsgrad von 20% amplitudenmoduliert. Der Localizer-Empfänger im Flugzeug misst die Differenz der Modulationstiefe von 90 – Hz- und 150 – Hz-Signal. Genau an der Position, wo diese beiden Signale die gleiche Stärke aufweisen (Differenz = 0, senkrechte Nadel des Anzeigeeinstruments steht in der Mitte), befindet sich der optimale Anflugweg.

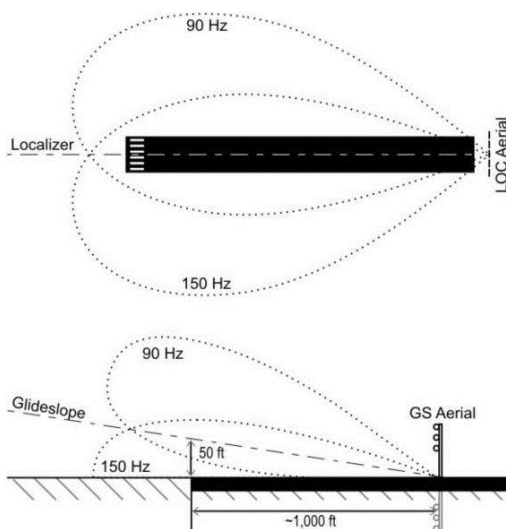


Abbildung 17: Schematisches Antennendiagramm eines Landekursenders (Quelle: Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung)

Die ILS-Localizer-Frequenzen sind 108.10 MHz, 108.15 MHz, 108.30 MHz, 108.35 MHz u.s.w. bis 111.90 MHz, und 111.95 MHz (40 Kanäle im 50 kHz Raster).

Die Empfangsbandbreite von Localizer-Empfängern ist auf 30 kHz festgelegt.

### 1.2 VHF Omnidirectional Range (VOR)

Die Schnittstellenbeschreibung „SSB FL 008“ definiert national „Drehfunkfeuer (VOR, D-VOR)“.

Das VOR ist ein Drehfunkfeuer für die Navigation in der Luftfahrt. Die VOR-Sendeanlage erzeugt ein hybrid moduliertes Signal, bestehend aus:

- einem amplitudenmodulierten Signal mit 30 Hz,
- einer Komponente, ebenfalls mit 30 Hz moduliert (30 Hz Frequenzmodulation eines 9960 Hz Unterträgers).

Durch die Phasenbeziehung im Empfänger zwischen Amplituden- und Frequenzmodulation kann der Winkel zwischen Nordbezug und Richtung zum Luftfahrzeug bestimmt werden. Im Empfänger wird der Phasenunterschied (0° ... 360°) zwischen den beiden 30 Hz Modulationen gemessen und als Radial (Azimutwinkel 0° ... 360° Nord über Ost) angezeigt.

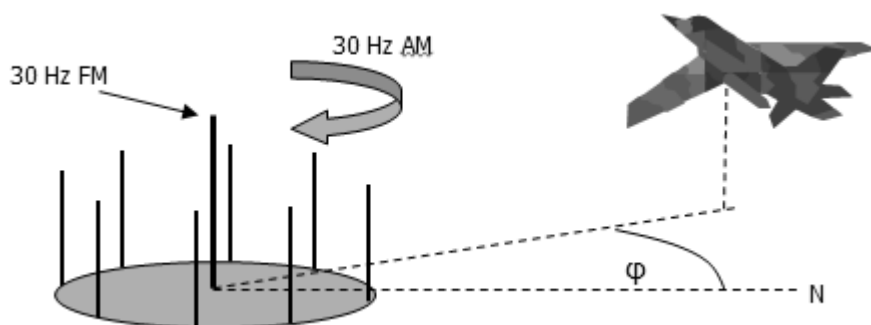


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines VOR (Quelle: Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF))

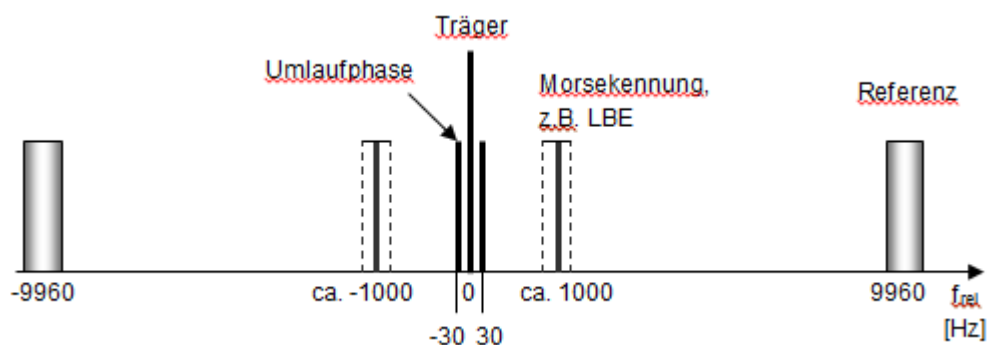


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Spektrums eines VOR (Quelle: BAF)

Die VOR- Frequenzen sind wie folgt gerastert: 108.05 MHz, 108.20 MHz, 108.25 MHz, 108.40 MHz, 108.45 MHz u.s.w. bis 111.85 MHz. Ab 112.00 MHz gibt es ein generelles Kanalaraster von 50 kHz beginnend mit 112.00 MHz bis 117.95 MHz.

Die Empfangsbandbreite von VOR- und DVOR-Empfängern wird auf 30 kHz festgelegt.

### 1.3 Ground Based Augmentation System (GBAS)

Die Schnittstellenbeschreibung „SSB FL 011“ definiert national „Funkanlagen zum bodengestützten Ergänzungssystem zu weltweiten Satellitennavigationssystemen (GBAS)“.

Das GBAS ist ein auf DGPS beruhendes Verfahren zur Bestimmung von Ortskoordinaten für Präzisionsanflüge. Zusätzlich ist GBAS als Ersatz für die aktuellen Instrumentenlandesysteme (z.B. ILS) vorgesehen.

GBAS nutzt neben den GPS-Satellitensignalen auch den Datenlink einer GBAS-Bodenstation. Von GPS-Referenzempfängern werden Korrekturdaten von der Bodenstation ermittelt. Diese und weitere Daten, wie beispielsweise Anfluginformationen (z.B. Wegpunkte) werden periodisch über den Datenlink übertragen.

An Bord des Flugzeuges wird (durch einen GPS-Empfänger und den von der GBAS-Bodenstation empfangenen Korrekturwerten) die bis auf unter einen Meter genaue Position des Flugzeuges ermittelt und mit einem vom Piloten selektierten Anflugweg der GBAS-Bodenstation verglichen.

Der VHF-Datenlink arbeitet im Zeitmultiplexverfahren im geschützten Flugfrequenzbereich zwischen 108.000 und 117.950 MHz und erlaubt theoretisch einen Betrieb von mehreren GBAS-Bodenstationen auf einer einzigen Frequenz. Das GBAS-Signal des VHF-Datenlinks ist ein D8PSK-moduliertes Signal mit einer Datenrate von 31,5 kB/s und hat eine Bandbreite von ca. 12 kHz.

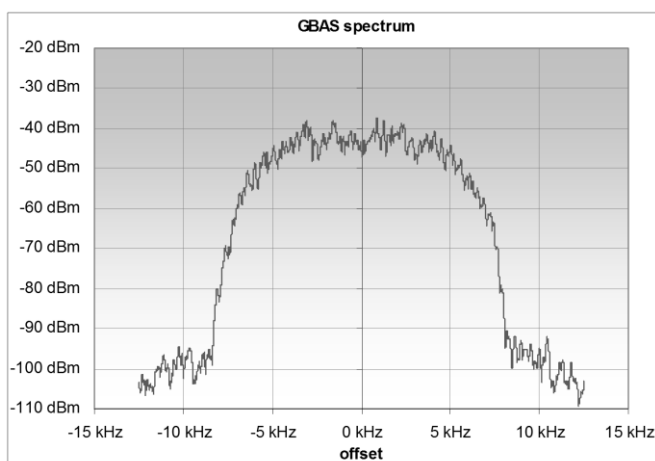


Abbildung 20: Spektrum einer GBAS-Aussendung

GBAS-Frequenzen haben ein Kanalaraster von 25 kHz, beginnend mit 108.025 MHz bis 117.950 MHz.

Die Empfangsbandbreite von GBAS-Empfängern wird auf 30 kHz festgelegt.

## 2. Empfangsantennen und Empfänger

Mit der folgenden Formel erfolgt die Berechnung der am Empfängereingang vorhandenen Leistungspegel aus der an der Navigationsempfangsantenne des Flugzeugs anliegenden Feldstärkepegel. Dabei wurde auch die Aufteilung der Signale auf zwei Navigationsempfänger durch einen Splitter berücksichtigt.

$$N = E - 118 - a_{Ant} - a_{splitter} + G_{Nav}(f)$$

Formel 32

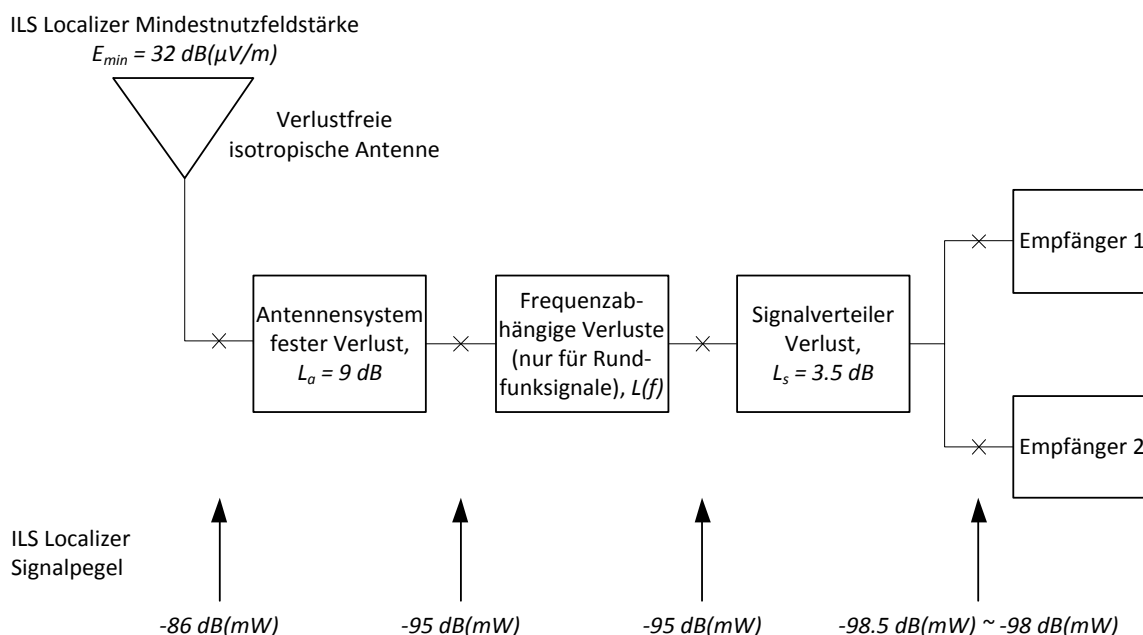


Abbildung 21: Empfängermodell gemäß ITU-R SM.1009-1

mit:

- $N$ : Leistungspegelmaß des Senders am Empfängereingang in  $\text{dB}(mW)$
- $E$ : Feldstärkepegelmaß des Senders in  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$
- $a_{Ant} = 9\text{dB}$  als „Antenna system fixed loss“ gem. ITU-R SM.1009 Kap. 3.4
- $a_{splitter} = 3.5 \text{ dB}$  als Dämpfung des Splitters gem. ITU-R SM.1009 Kap. 3.4
- $G_{NAV}(f_{BC})$ : frequenzabhängige Dämpfung der Flugnavigationssantenne gemäß folgender Formel in  $\text{dB}$

$$G_{NAV}(f) = \begin{cases} -1.2 * (108 - f/\text{MHz}) & \text{für } < 108 \text{ MHz} \\ 0 & \text{für } \geq 108 \text{ MHz} \end{cases}$$

Formel 33

## 3. Definition des frequenzkoordinierten Nutzungsbereiches (FPSV) für Flugnavigationsanlagen

Grundsätzlich gilt, dass ein FPSV (Frequency Protected Service Volume) für Landekursender (LOC) von Instrumentenlandesystemen (ILS), Drehfunkfeuer (VOR) und bodengestützte Anflugsysteme für Satelliten (GBAS) nach der derzeit aktuell gültigen Fassung des ICAO Annex 10, Amendmend 87, Vol. 1 beschrieben wird.

In den folgenden Kapiteln wird der FPSV individuell beschrieben.

### 3.1 Allgemeine Beschreibung von FPSV-Gebieten

FPSV-Gebiete können allgemein in Form von Radialsektoren oder als Reihe von Koordinatenpunkten beschrieben werden. Dabei gelten die Einschränkungen der nachfolgenden zwei Kapitel.

Ein Gesamt-FPSV kann aus einer beliebigen Zahl einzelner FPSV zusammengesetzt sein, die jeweils der Form der nachfolgenden zwei Kapitel entsprechen. Die FPSV können sich dabei gegenseitig überlappen.

#### 3.1.1 FPSV aus Radialsektoren

Jedes dieser FPSVs hat einen Ursprung und eine Hauptstrahlrichtung. Der Ursprung wird durch Breiten- und Längengrad (WGS84) mit Höhe über NN beschrieben.

Der FPSV setzt sich aus beliebig vielen Radialsektoren zusammen, die sich jedoch nicht überlappen dürfen. Jeder Radialsektor wird Horizontal durch zwei Azimut-Winkel begrenzt.

Jeder Radialsektor wird durch eine Oberkante und Unterkante begrenzt. Diese Ober- und Unterkanten werden jeweils durch Punkte mit einem Bodenabstand zum Koordinaten-Mittelpunkt (nicht dem Ursprung) und eine Höhe, entweder über Koordinaten-Mittelpunkt oder über NN definiert. Die Interpolation zwischen den Punkten hängt von einem Einstellungsparameter ab, für den folgende Einstellungen möglich sind:

- Linear über Kugelerde  
Hier erfolgt die Interpolation danach, ob
  - zwei direkt benachbarte Punkte gleiche Höhe haben  
In diesem Fall folgt die Kurve der Kugelerde mit konstanter Höhe zwischen den Punkten
  - zwei Punkte unterschiedliche Höhe haben  
In diesem Fall werden die benachbarten Punkten mit einer Geraden verbunden, deren Steigung aus dem Elevationswinkel der beiden Punkten definiert ist.

- Polynom über flacher Erde

Die Interpolation zwischen allen benachbarten Punkten wird jeweils durch eine quadratische Polynomdarstellung (bis zu 2. Grades) angegeben, wobei der Untergrund flacher Erde entspricht.

Ist für die Unterkante kein Punkt angegeben, dann ist der FPSV bis auf den Boden ausgedehnt. Ist für die Oberkante kein Punkt angegeben, dann ist die Ausdehnung des FPSV nach oben unbeschränkt.

### 3.1.2 FPSV in Form einer Reihe von Koordinatenpunkten

Eine Liste von Koordinatenpunkten mit Breiten- und Längengrad nach WGS84 (ohne Höhe) definiert den FPSV zur Seite. Dabei werden benachbarte Punkte in der Listenreihenfolge über Großkreise miteinander verbunden. Der letzte Punkt in der Liste wird ebenfalls über den Großkreis mit dem ersten Listenpunkt verbunden.

Ein FPSV in Form einer Reihe von Koordinatenpunkten ist nach oben und unten jeweils durch eine Höhenangabe über NN begrenzt. Überall innerhalb des Polygons gelten die obere und untere Höhenangabe. Eine fehlende untere Höhenangabe führt zu einem FPSV bis auf den Boden und eine fehlende obere Höhenangabe führt zu einem nach oben unbegrenzten FPSV.

## 3.2 ILS LOC

Der FPSV ist in Kapitel 3.1.3.3 des ICAO Annex 10 Amendment 87, Vol 1 vollständig definiert.

Der FPSV des LOC setzt sich aus einem FPSV mit drei Radialsektoren zusammen, zwei identischen Radialsektoren im Bereich zwischen  $-35^\circ$  bis  $-10^\circ$  und  $+10^\circ$  bis  $+35^\circ$  sowie einem Radialsektor im Bereich  $\pm 10^\circ$ , jeweils um die Hauptstrahlrichtung (TRD – true radiation direction).

Für die vollständige Beschreibung eines ILS FPSV sind folgende frei parametrierbare Angaben erforderlich:

Gemeinsamer Ursprung der Radialsektoren: Breiten- und Längengrad (WGS84) sowie Höhe über NN

- Abstand Ursprung - Schwelle<sup>1</sup> i
- Schwellenhöhe über NN
- Hauptstrahlrichtung des LOC in Azimut-Richtung (TRD)
- Radius der beiden äußeren Radialsektoren
- Radius des inneren Radialsektors
- Höhe der Unterkante über der Schwelle bei maximalem Radius

Zusätzlich gelten folgende Vorgaben:

---

<sup>1</sup> Die Schwelle ist der in ICAO Annex 10 mit dem Begriff „threshold“ angegebene Punkt

- Winkelbereiche der Radialsektoren in Bezug auf den Ursprung:
  - Erster äußerer Radialsektor:  $-35^\circ$  bis  $-10^\circ$
  - Zweiter äußerer Radialsektor:  $-10^\circ$  bis  $+35^\circ$
  - Innerer Radialsektor:  $-10^\circ$  bis  $+10^\circ$
- Anstiegswinkel der Oberkante in Bezug auf den Ursprung:  
7° Elevation
- Maximale Höhe der Oberkante aller Radialsektoren  
1905m (6250ft) über Schwellenhöhe

Die Unterkante aller drei Radialsektoren sind jeweils „Linear über Kugelerde“ mit den folgenden Punkten definiert:

### Unterkante ILS

Bodenabstand	Höhe
0 m	Ursprungshöhe über NN
Abstand Ursprung zur Schwelle	Schwellenhöhe über NN
Radius des Radialsektors	Schwellenhöhe über NN + Höhe der Unterkante über der Schwelle bei maximalem Radius

Quelle: BAF

Abbildung 22: Beschreibung Unterkante ILS

### Oberkante ILS

Bodenabstand	Höhe
0 m	Ursprungshöhe über NN
Abstand Ursprung zur Schwelle, bei der unter 7° Elevations-winkel eine Höhe von 1905m (6250ft) über Schwelle erreicht ist	1905m (6250ft) über Schwelle
Radius des jeweiligen Radialsektors	1905m (6250ft) über Schwelle

Quelle: BAF

Abbildung 23: Beschreibung Oberkante ILS

## 3.3 VOR

Der FPSV ist in Kapitel 3.3.4 des ICAO Annex 10 Amendment 87, Vol 1 vollständig definiert.



Der FPSV des VOR setzt sich aus einem FPSV mit beliebig vielen Radialsektoren mit gleichem Ursprung zusammen, wobei jeder Azimut mit einem Radialsektor definiert sein muss. Jeder Radialsektor wird mit einem Azimut für Start und Stopp festgelegt. Zusätzlich gibt es eine Reichweite und eine Höhe für die Oberkante. Die Unterkante ist bei Standard-FPSV gemäß ICAO Annex 10 Amendment 87, Vol 1 nicht definiert. Sofern nicht anders definiert, gelten die Vorgaben des bisherigen Modells D88.

Für die vollständige Beschreibung eines ILS FPSV sind folgende frei parametrierbare Angaben erforderlich:

- Gemeinsamer Ursprung der Radialsektoren: Breiten- und Längengrad (WGS84) sowie Höhe über NN
- Radius des jeweiligen Radialsektors
- Start- und Stop-Azimut des jeweiligen Radialsektors
- Höhe der Oberkante des jeweiligen Radialsektors

### 3.4 GBAS

Der FPSV ist in Kapitel 3.7.3.5.3 des ICAO Annex 10 Amendment 87, Vol 1 vollständig definiert.

Abweichend zur Definition des ICAO Annex 10 wird die Höhe des LTP/FTP über NN referenziert und nicht über dem WGS84 Geoid, damit alle Höhenangaben im gleichen Referenz-System sind. Der FPSV des GBAS setzt sich aus einem FPSV mit drei Radialsektoren zusammen, zwei identischen äußeren Radialsektoren im Bereich zwischen  $-35^\circ$  bis  $-10^\circ$  und  $+10^\circ$  bis  $+35^\circ$  sowie einem inneren Radialsektor im Bereich  $\pm 10^\circ$ , jeweils in Gegenrichtung des Hauptanflugwinkels.

Für die vollständige Beschreibung eines GBAS FPSV sind folgende frei parametrierbare Angaben erforderlich:

- Schwelle: Breiten- und Längengrad sowie Höhe der Schwelle über NN
- Gegenrichtung des Hauptanflugwinkels in Azimut-Richtung
- Radius der beiden äußeren Radialsektoren
- Radius des inneren Radialsektors
- Anstiegswinkel der Unterkante für alle Radialsektoren

Zusätzlich gelten folgende Vorgaben:

- Ursprung der beiden äußeren Radialsektoren: In jeweils 140 m Abstand rechts und links der Hauptanflugrichtung auf Schwellenhöhe
- Ursprung des inneren Radialsektors: In 884 m Abstand zur Schwelle in Hauptanflugrichtung

Winkelbereiche der Radialsektoren:

- Erster äußerer Radialsektor:  $-35^\circ$  bis  $-10^\circ$
- Zweiter äußerer Radialsektor:  $-10^\circ$  bis  $+35^\circ$

- Innerer Radialsektor:  $-10^\circ$  bis  $+10^\circ$
- Anstiegswinkel der Oberkante:  $7^\circ$  Elevation
- Maximale Höhe der Oberkante aller Radialsektoren: 10000 ft über Schwellenhöhe

Es kann ein FPSV aus drei Radialsektoren gebildet werden, deren Gebiete den aus ICAO Annex 10 beschriebenen FPSV vollständig einschließen, und gleichzeitig weniger als 40 m Abweichung haben können.

Die Unterkante aller drei Radialsektoren sind jeweils „Linear über Kugelerde“ mit den folgenden Punkten definiert:

### Unterkante GBAS

Bodenabstand	Höhe
0 m	Schwellenhöhe über NN
Radius des Radialsektors	Schwellenhöhe über NN + Höhe, die sich aus dem Anstiegswinkel bei gegebener Reichweite berechnet

Quelle: BAF

Abbildung 24: Beschreibung Unterkante GBAS

### Oberkante GBAS

Bodenabstand	Höhe
0 m	Ursprungshöhe über NN
Abstand Ursprung zur Schwelle, bei der unter $7^\circ$ Elevations-winkel eine Höhe von 10000 ft über Schwelle erreicht ist	10000 ft über Schwelle
Radius des jeweiligen Radialsektors	10000 ft über Schwelle

Quelle: BAF

Abbildung 25: Beschreibung Oberkante GBAS

### 3.5 Nutzfeldstärke im FPSV

Die Feldstärke von Flugnavigationsanlagen kann rechnerisch prognostiziert werden, wenn ein Strahlungsdiagramm vorliegt. Sie kann alternativ messtechnisch ermittelt werden. Ist dies nicht möglich, so wird die Mindestnutzfeldstärke angesetzt.

Die Mindestnutzfeldstärke beträgt in Bezug auf ICAO Annex 10

- für ILS:  $40 \mu\text{V}/\text{m} \rightarrow 32 \text{ dB} (\mu\text{V}/\text{m})$
- für VOR:  $90 \mu\text{V}/\text{m} \rightarrow 39 \text{ dB} (\mu\text{V}/\text{m})$
- für GBAS:  $215 \mu\text{V}/\text{m} \rightarrow 46.6 \text{ dB} (\mu\text{V}/\text{m})$



## II Koordinierungsmodell

Durch die Rundfunk-Flugfunk-Koordinierung werden mögliche Unverträglichkeiten (Störpotenziale), die die FM-Rundfunkdienste im Bereich  $87,5 \text{ MHz} - 107,9 \text{ MHz}$  mit dem Flugnavigationssfunkdienst im Bereich  $108.000 \text{ MHz} - 117.975 \text{ MHz}$  verursachen, ermittelt.

# A Einführung

## 1. Definition der Störpotenziale

Entsprechend Rec. ITU-R SM.1009-1 werden vier Arten von Störpotenzialen unterschieden.

### **A-Störung: Aufgrund der Strahlung auf Frequenzen im Flugnavigationfunkbereich:**

- **A1-Störung:** Intermodulation oder rauschartige Störprodukte, die von der Rundfunksendeanlage ausgehen (Nebenaussendungen)
- **A2-Störung:** Außerbandaussendungen von Rundfunksendeanlagen in unmittelbarer spektraler Nachbarschaft der Rundfunkträgerfrequenz ( $f_{BC} + 300 \text{ kHz}$ )

### **B-Störung: Aufgrund der Strahlung auf Frequenzen außerhalb des Flugnavigationfunkbereichs:**

- **B1-Störung:** im Empfänger erzeugte Intermodulation
- **B2-Störung:** Empfindlichkeitsverminderung im HF-Teil des Empfängers.

Alle Störpotenziale werden quantitativ erfasst, wobei bei allen Störungen Werte mit  $0 \text{ dB}$  und darunter als „ungestört“ und alle Störpotenziale mit positivem Wert als „gestört“ interpretiert werden. Sofern bei den Verträglichkeitsberechnungen zur Rundfunk-Flugfunkkoordinierung eine der vier zuvor genannten Störpotenziale einen Wert größer  $0 \text{ dB}$  ausweist, ist von einer Unverträglichkeit der beiden Funkdienste auszugehen. Diese kann durch weiterführende Untersuchungen ausgeräumt werden.

Das hier vorgestellte Koordinierungsmodell ist ein stochastisches. Die Eingangsgrößen sind, sofern nicht anders beschrieben, stochastische Variablen.

## 2. Einbeziehung Azimut- und Elevationsdiagramm in die Störpotenzialberechnung

Für das rauschartige A1-Störpotenzial kann für die Berechnung in Bezug auf das Azimutdiagramm folgendes festgehalten werden:

Bei logarithmisch-periodischer Antenne wie auch bei einem einfachen Dipol werden die Rauschaussendungen wie Nutzaussendungen betrachtet.

Flächenstrahler (gestockte Dipolfelder) werden bzgl. ungewollter Nebenaussendungen als Rundstrahler betrachtet. Liegen genaue Angaben bzgl. des Abstrahlverhaltens im Bereich größer  $108 \text{ MHz}$  vor, kann hierauf Bezug genommen werden. Das normierte, in Kapitel IB2 beschriebene Elevationsdiagramm findet Anwendung.

Bei der Ermittlung der A1-Störpotenziale wird keine Azimutabhängigkeit bei der Aussendung von Intermodulationsprodukten angenommen.

Für die Störpotenzialberechnung in der Rundfunk-Flugfunk-Koordinierung werden für B1, B2 und A2 Azimut- und Elevationsdiagramm angesetzt.

# B Störpotenziale

## 1. A1 – Störung

Als A1 werden die Störungen bezeichnet, die durch Aussendungen von Rundfunksendern im Flugfunkkanal hervorgerufen werden. Diese Aussendungen werden im Störfall A1 durch zwei Störphänomene beschrieben:

- Leistungsabhängige, rauschartige Nebenaussendung einzelner Sender und
- Intermodulation mehrerer Rundfunksender an einem Standort

Das Störphänomen ist von den Empfängereigenschaften völlig unabhängig und kann nur senderseitig beeinflusst werden.

$$A1 = 10 * \lg \left( 10^{\frac{E_{Rausch,\Sigma}}{10}} + 10^{\frac{E_{IM,\Sigma}}{10}} \right) - E_{NAV} + PR_A \quad \text{Formel 34}$$

wobei für die verwendeten Parameter folgende Definition gilt:

- $E_{Rausch,\Sigma}$ : siehe Kapitel IIB1.1
- $E_{IM,\Sigma}$ : siehe Kapitel IIB1.1
- $E_{NAV}$ : als Feldstärke des Flugnavigationssender in  $dB(\mu V/m)$  am jeweiligen Analysepunkt. Ist die Feldstärke nicht bekannt, dann ist die Mindestnutzfeldstärke zu verwenden.
- $PR_A$ : 14  $dB$  Schutzabstand, der in Kapitel 4.2.1 der ITU-R SM.1009-1 spezifiziert ist.

### 1.1 Feldstärkeberechnung durch Rauschaussendung

Die Feldstärke, die von einem einzelnen Rundfunksender am jeweiligen Analysepunkt auf der Flugnavigationssfrequenz erzeugt wird, wird durch die folgende Formel beschrieben:

$$E_{Rausch,r} = \underbrace{E_{BC;r} - a_{Rausch}(P_{BC;r}) - a_{Filter}(f_{NAV} - f_{BC;r})}_{\substack{\text{Feldstärke der Nebenaussendung des} \\ \text{Rundfunksenders auf der Flugnavigationssfrequenz}}} \quad \text{Formel 35}$$

Dabei wird die Feldstärke durch die folgenden Parameter beeinflusst:

- $E_{BC;r}$ : Feldstärke des r-ten Rundfunksenders in  $dB(\mu V/m)$  am Analysepunkt. Die Feldstärke wird unter Berücksichtigung des anzuwendenden Ausbreitungsmodells gemäß Kapitel IA1 ermittelt.
- $a_{Rausch}(P_{BC;r})$ : leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung in  $dBc$  in einer Bandbreite von 30  $kHz$  ausschließlich für Rauschbeiträge (alle Aussendungen eines Senders, auf dem kein Intermodulationsprodukt einer Standortgruppe erzeugt wird) (siehe Kapitel IIB1.1.1)



- $a_{Filter}$ : filterabhängige Unterdrückung in  $dBc$  (siehe Kapitel IIB1.1.2)
- $f_{BC,r}$ : ist die Frequenz des  $r$ -ten Rundfunksenders

**1.1.1  $a_{Rausch}$  – Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung**

Die hier angegebene Nebenaussendungsunterdrückung wird außer für FM-modulierte Signale auch für alle weiteren Modulationsarten, wie Bsp. OFDM, im Rundfunkband II (87.5 MHz bis 108 MHz) gefordert.

Die Feldstärken aller am Analysepunkt empfangenen Sender addieren sich zu einem Gesamtwert:

$$E_{Rausch;\Sigma} = 10 * \lg \left( \underbrace{\sum_{r=1}^K 10^{\left(\frac{E_{Rausch,r}}{10}\right)}}_{\text{Beitrag durch ALLE am Analysepunkt empfangenen Sender}} \right) \tag{Formel 36}$$

- $K$  ist die Anzahl der am Analysepunkt zu betrachtenden Rundfunksender. Sie ist auf die 20 Sender begrenzt, die die größte Störung im Analysepunkt verursachen.

Die in der folgenden Tabelle angegebene Nebenaussendungsunterdrückung ist auf eine Empfangsbandbreite der Flugnavigationsempfänger von 30 kHz normiert. Soll die Empfangsbandbreite verändert werden, so gilt eine Umrechnung nach der Formel

$$a_{RauschNeu} = a_{Rauschalt} - 10 * \lg \left( \frac{BW_{Neu}}{BW_{alt}} \right) \tag{Formel 37}$$

- $BW_{Neu}$ : neue Bandbreite
- $BW_{alt}$ : alte Bandbreite

**Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{Rausch}$  für Rundfunksender**

ERP <sub>max,BC</sub> [dB(W)]	$a_{Rausch}$ [dB(c)]
≤ 39	85
> 39	46 + ERP <sub>max,BC</sub> /dB(W)
> 54	100

Quelle: Amtsblatt der Bundesnetzagentur  
Mitteilung Nr. 147/2014

Abbildung 26: Tabelle Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{Rausch}$  für Rundfunksender

Hinweis: Zwischenwerte aus dieser Tabelle werden in dB linear interpoliert.

Die Annahme der Nebenaussendungsunterdrückung gemäß Abbildung 26: Tabelle Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{Rausch}$  für Rundfunksender muss bei allen Rundfunksendern (einschließlich bestehender, zugeteilter Rundfunksender) unterstellt werden.

### 1.1.2 $a_{Filter}$ – Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung durch Filter

Jeder Rundfunksender wird in eine Kategorie bezüglich der Filtercharakteristik aus Abbildung 27 eingeteilt. Die abgestrahlte Nebenaussendung des Rundfunksenders reduziert sich um die dort aufgeführten Werte

#### Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung $a_{Filter}$ für Rundfunksender

Frequenzoffset	$a_{Filter}$ [dB] Kategorie A	$a_{Filter}$ [dB] Kategorie B	$a_{Filter}$ [dB] Kategorie C	$a_{Filter}$ [dB] Kategorie D
≤ 0.25 MHz	0	0	0	0
0.5 MHz	0	3	0	8
1.0 MHz	0	12	8	25
1.5 MHz	0	18	18	35
2.0 MHz	0	20	27	45
2.5 MHz	0	25	33	50
3.0 MHz	0	28	37	50
≥ 4.0 MHz	0	34	45	50

Quelle: Amtsblatt der Bundesnetzagentur  
Mitteilung Nr. 147/2014

Abbildung 27: Tabelle Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{Filter}$  für Rundfunksender

Hinweis: Zwischenwerte aus dieser Tabelle werden in dB linear interpoliert

## 1.2 Berechnung von Intermodulationsaussendungen

Es werden alle Senderkombinationen des Standortes, die Intermodulationsprodukte hervorbringen können und deren Maximum des Leistungsdichtespektrums im Bereich  $f_{NAV} \pm \Delta f_{max}$  liegt, als Quellsignale betrachtet. Diese Quellsignale werden gemäß ihrem spezifischen spektralen Verlauf bezogen auf die Navigationsfrequenz  $f_{NAV}$  bewertet  $a_{IM;2/3}(|\Delta f_{IM;i}|)$  und als Summenaussendung des Standortes im Navigationskanal  $f_{NAV} \pm 15kHz$  betrachtet. Sind die Mittenfrequenzen der IM-Produkte identisch, so wird auf dieser Mittenfrequenz nur eine Aussendung betrachtet.

Den Bezug hinsichtlich der vorgeschriebenen leistungsabhängigen Absenkung der Intermodulationsprodukte stellt die Leistung  $ERP_{BCj,max}$  des leistungsstärksten Rundfunksenders der an der Intermodulation beteiligten Sender dar. Somit kann die Störfeldstärke am Analysepunkt der intermodulierenden Sender eines Standortes  $j$  wie folgt dargestellt werden.

$$E_{IM;\Sigma j} = 10 * \lg \sum_{i=1}^W 10^{\frac{E_{IM,ij}}{10}} \quad \text{Formel 38}$$

mit

$$E_{IM,ij} = E_{BC,max} - a_{IM}(ERP_{BC,max}) - a_{IM;2/3}(|\Delta f_{IM,i}|) \quad \text{Formel 39}$$

Die Feldstärken der am Analysepunkt möglichen Intermodulationsaussendungen aller zu betrachtenden Standorte  $S$  addieren sich zu einem Gesamtwert  $E_{IM;\Sigma}$ .

$$E_{IM;\Sigma} = 10 * \lg \sum_{j=1}^S 10^{\frac{E_{IM,j}}{10}} \quad \text{Formel 40}$$

- $S$  ist die Anzahl der am Analysepunkt zu betrachtenden intermodulierenden Standorte. Sie ist auf die 20 Intermodulationen begrenzt, die die größte Störung im Analysepunkt verursachen.

Hier kann die stochastische Addition angewandt werden.

Dabei wird die Feldstärke durch die folgenden Parameter beeinflusst:

- $E_{BCj,max}$ : Feldstärke des stärksten der an der Intermodulation beteiligten Rundfunksender in  $dB(\mu V/m)$  am Analysepunkt. Die Feldstärke wird ohne Einbeziehung von Antennendiagrammen unter Berücksichtigung des anzuwendenden Ausbreitungsmodells gemäß Kapitel IA1 ermittelt.
- $a_{IM}(ERP_{BCj,max})$ : leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung in dBc der Intermodulationsprodukte (siehe Kapitel IIB1.2.1)
- $a_{IM;2/3}(|\Delta f_{IM,i}|)$ : frequenzabhängige Erleichterung für Intermodulationsprodukte dritter Ordnung (siehe Kapitel IIB1.2.2) basierend auf spektralem Verlauf und Nähe zur Navigationsfrequenz  $f_{NAV}$
- $\Delta f_{IM,i}$ : Abweichung der Mittenfrequenz des  $i$ -ten Intermodulationsproduktes von der Mittenfrequenz des Navigationssignals  $f_{NAV}$
- $W$ : Anzahl der Intermodulationsaussendungen eines Standortes

Voraussetzung dieser Leistungsaddition ist das Verschwinden der Kreuzkorrelationsfunktionen

$$\Phi_{s_i,j; s_k,l}(0); i, k \in \{0, \dots, W\} \text{ bzw. } j, l \in \{0, \dots, S\}. (i, j) \neq (k, l)$$

### 1.2.1 $a_{IM}$ – Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung für Intermodulationsprodukte

Die hier angegebene Nebenaussendungsunterdrückung wird außer für FM-modulierte Signale auch für alle weiteren Modulationsarten, wie Bsp. OFDM, im Rundfunkband II (87.5 MHz bis 108 MHz) gefordert.

Die hier in der folgenden Tabelle angegebene Nebenaussendungsunterdrückung ist auf eine Empfangsbandbreite der Flugnavigationsempfänger von 30 kHz normiert.

### Leistungsabhängige Nebenaussendungs- unterdrückung $a_{IM}$ für Rundfunksender

ERP <sub>max,BC</sub> [dB(W)]	$a_{IM}$ [dB(c)]
≤ 0	76
9	85
44	85
≥ 49	90

Quelle: Amtsblatt der Bundesnetzagentur  
Mitteilung Nr. 147/2014

Abbildung 28: Tabelle Leistungsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{IM}$  für Rundfunksender

*Hinweis: Zwischenwerte aus dieser Tabelle werden in dB linear interpoliert.*

Die Annahme der Nebenaussendungsunterdrückung gemäß Abbildung 28 muss bei allen Rundfunksendern (einschl. bestehender, zugeteilter Rundfunksender) unterstellt werden.

#### 1.2.2 $a_{IM}$ – Intermodulationsabhängige Erleichterung

Die Frequenz des Intermodulationsproduktes berechnet sich nach Formel

$$3f_{IM} = \begin{cases} 2 * f_1 - f_2 & \text{für } f_1 > f_2 \quad (2 \text{ Senderfall}) \\ f_1 + f_2 - f_3 & \text{für } f_1 \geq f_2 > f_3 \quad (3 \text{ Senderfall}) \end{cases} \quad \text{Formel 3. Für}$$

diese Frequenzen sind Erleichterungen vorgesehen, die durch den Parameter  $a_{IM}$  beschrieben sind.

Die folgende Abbildung 29 beschreibt nach Messungen der Bundesnetzagentur den Pegelverlauf der Intermodulationsprodukte 3. Ordnung von FM-Stereo-Sendern bezogen auf die Nutzaussendung (ggf. inkl. DARC-Signal) als Funktion des Frequenzunterschiedes:

### Intermodulationsabhängige Nebenaussendungs- unterdrückung $a_{IM}$ für Rundfunksender

$ \Delta f_{IM;i} $ [kHz]	$a_{IM;2/3}$ [dB]
0	0
20	0
80	17
250	70

Quelle: Bundesnetzagentur

Abbildung 29: Tabelle Intermodulationsabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{IM,2/3}$  für Rundfunksender

*Hinweis: Zwischenwerte aus dieser Tabelle werden in dB linear interpoliert.*

### 1.3 A1-Untersuchungsbereich für Rundfunksender

Sender der Kategorie A, die weiter als 20 km vom FPSV entfernt sind, werden in die A1-Störungsbetrachtung nicht einbezogen. Sender der Kategorie B, C oder D, für die gilt  $f_{NAV} - f_{BC} \geq 4$  MHz, gelten in der A1-Betrachtung als störungsfrei und werden nur bzgl. ihrer Beteiligung an Intermodulationsprodukten geprüft und entsprechend Kapitel I bewertet.

## 2. A2-Störung

Als A2-Störung wird die frequenz- und leistungsabhängige Störung in unmittelbarer spektraler Nachbarschaft des Nutzkanals des Rundfunksenders angesehen.

In der Praxis kann diese Störung nur von BC-Sendern verursacht werden, die sehr nahe an der Frequenz 108 MHz liegen. Sie betrifft außerdem nur die VOR-, ILS-, sowie GBAS-Kanäle der unteren Grenze des Flugnavigationsbandes. Das A2-Summenstörpotenzial berechnet sich durch die folgende Formel:

$$A2 = E_{BC;\Sigma} - E_{NAV} + PR_A \quad \text{Formel 41}$$

mit

$$E^*_{BC;j} = E_{BC;j} - a_{A2;j}(\Delta f_j) \quad \text{Formel 42}$$

und

$$\Delta f_j = (f_{NAV} - f_{BC;j}) \quad \text{Formel 43}$$

$$E_{BC;\Sigma} = \underbrace{10 * \lg \left( \sum_{j=1}^Q 10^{\frac{E_{BC;j}^*}{10}} \right)}_{\text{Beitrag durch ALLE am Analysepunkt empfangenen Sender}}$$

Formel 44

- $E_{BC;j}$ : Feldstärke des Rundfunksenders  $j$  in  $dB(\mu V/m)$
- $a_{A2}(\Delta f_j)$ : frequenzabhängige Erleichterung in  $dB$ .
- $\Delta f_j$ : Abstand der Mittenfrequenz des Rundfunksenders  $j$  von der Flugnavigationssenderfrequenz.
- $E_{NAV}$ : als Feldstärke des Flugnavigationssender in  $dB(\mu V/m)$  am jeweiligen Analysepunkt. Ist die Feldstärke nicht bekannt, dann ist die Mindestnutzfeldstärke zu verwenden.
- $PR_A$ : 14  $dB$  – notwendiger Schutzabstand, der dem Schutzabstand  $PR_A$  aus A1 gleichgesetzt wird
- $Q$ : Anzahl der am Analysepunkt empfangbaren Sender

Die Außerbandaussendungsunterdrückung  $a_{A2;j}$  weist die in der folgenden Tabelle angegebene Frequenzabhängigkeit auf.

Die hier in der folgenden Tabelle angegebene Nebenaussendungsunterdrückung ist auf eine Empfangsbandbreite der Flugnavigationsempfänger von 30 kHz normiert.

### Frequenzabhängige Außerbandaussendungsunterdrückung $a_{A2;j}$ für den Rundfunksender $j$

$\Delta f_j$ [kHz]	$a_{A2;j}$ [dB]	
	FM (inkl. Zusatzsignale wie Bsp. DARC)	DRM+
125	42	54
150	55	54
200	77	58
250	82	64
300	87	70

Quelle: Messung der Bundesnetzagentur

Abbildung 30: Tabelle Frequenzabhängige Nebenaussendungsunterdrückung  $a_{A2;j}$  für Rundfunksender

Ein Frequenzabstand unter 125 kHz ist aufgrund des Frequenzplanes ausgeschlossen. Bei Einführung von GBAS wird durch die mögliche Belegung des Kanals 108.025 MHz auch ein Frequenzabstand von 125 kHz möglich. Es ist bekannt, dass in 300 kHz Abstand zur Rundfunkfrequenz am Übergang zwischen A2 und A1 eine Sprungstelle in den Anforderungen zur Signalunterdrückung auftreten kann. A1

und A2 gelten jedoch unabhängig voneinander in ihren jeweiligen Anwendungsbereichen und müssen somit separat betrachtet werden.

## 2.1 A2–Untersuchungsbereich für Rundfunksender

Sender, die weiter vom betrachteten FPSV entfernt sind als der Radiohorizont  $s'_{RLOS}$ , maximal aber 125 km (gemäß GE84), gelten als störungsfrei bzgl. A2.

Analog zur ITU-R SM.1009 müssen keine A2-Störungen für Frequenzabstände  $f_{NAV} - f_{BC}$  von mehr als 300 kHz betrachtet werden.

## 3. B1–Störung

Als B1 werden Störungen bezeichnet, die durch Intermodulation zwischen mehreren Rundfunksignalen in der Empfängereingangsstufe des Flugnavigationsempfängers entstehen. Die Störung entsteht in der Eingangsstufe des Flugfunkempfängers. Die möglichen Rundfunkfrequenzen, die zu einem Intermodulationsprodukt auf oder nahe der Flugfunkfrequenz führen können, sind berechenbar. Das B1 Störpotenzial hängt von der Großsignalfestigkeit des Empfängers ab (vgl. auch ITU-R SM 1009 Kap. 4.3.3.1).

### 3.1 Berechnung des B1–Störpotenzials

Das B1-Störpotenzial (IM3 Störpotenzial) bestimmt sich aus den Leistungen von in der Nähe der Mittenfrequenz  $f_{NAV}$  auftretenden IM3 Bandpasssignalen relevanter Kombinationen beteiligter Rundfunksender. Deren Kreuzkorrelationsfunktionen im Bandpassbereich  $f_{NAV} \pm 15kHz$  werden als verschwindend angenommen:

$$B1 = 10 * \lg \left\{ \sum_{i,j} 10^{p_{i,j}/10} + \sum_{k,l,m} 10^{p_{k,l,m}/10} \right\} - K - (E_{NAV} - E_{min}) \quad \text{Formel 45}$$

mit

- Intermodulationspegel 2-Signal-Fall:

$$p_{i,j} = \langle 2 * (N_{BC,i} - a_i) + (N_{BC,j} - a_j) - a_{B1,ij}(|f_{NAV} - (2 * f_i - f_j)|) \rangle \quad \text{Formel 46}$$

- Intermodulationspegel 3-Signal-Fall

$$p_{k,l,m} = \langle (N_{BC,k} - a_k) + (N_{BC,l} - a_l) + (N_{BC,m} - a_m) - a_{B1,klm}(|f_{NAV} - (f_k + f_l - f_m)|) + 6dB \rangle \quad \text{Formel 47}$$

- $N_{BC,q}$ : Leistung des Rundfunksenders im Analysepunkt am Eingang des Flugnavigationsempfängers gemäß Formel 32 in [dB(mW)]
- $n$ : Gesamtanzahl der beteiligten Rundfunksender
- $(i, j)$ : 2 Tupel des Kriteriums  $(2 * f_i - f_j) = f_{NAV} \pm \Delta f_{IM}$ ;  $f_i > f_j$  (2-Senderfall)
- $(k, l, m)$ : 3 Tupel des Kriteriums  $(f_k + f_l - f_m) = f_{NAV} \pm \Delta f_{IM}$ ;  $f_k \geq f_l > f_m$  (3-Senderfall)
- $\Delta f_{IM} \leq 300kHz$
- $f_{BC}$ : Frequenz des Rundfunksenders in MHz

- $K$ : Wert, der die Großsignalfestigkeit des Empfängers beschreibt (Nichtlinearität dritter Ordnung)  $-78 \text{ dB(mW)}$
- $a_{B1}$ : frequenzabhängige Störreduktion
- $a_{\varepsilon} = 20 * \lg \left[ \max \left( 1; \frac{108.1 \text{ MHz} - f_{BC,\varepsilon}}{0.4 \text{ MHz}} \right) \right]$
- $E_{NAV}$ : Feldstärke der Flug navigationsanlage am Analysepunkt
- $E_{min}$ : Mindestnutzfeldstärke des jeweiligen Flug navigations systems

### 3.1.1 $a_{B1}$ – frequenzabhängige Intermodulationsunterdrückung

Der Frequenzabstand  $\Delta f_{IM}$  der Intermodulationsfrequenz zur Flug navigationsfrequenz  $f_{NAV}$  berechnet sich nach Formel 4.

Die frequenzabhängige Intermodulationsunterdrückung  $a_{B1}$  weist die in der folgenden Tabelle angegebene Frequenzabhängigkeit auf (vgl. auch ITU-R SM.1009, Kapitel 4.3.3.2, Tabelle 5).

#### frequenzabhängige Intermodulationsunterdrückung $a_{B1}$

$\Delta f_{IM}$ [kHz]	$a_{B1}$ [dB]	
	FM (inkl. Zusatzsignale wie Bsp. DARC)	DRM+
0	0	0
50	6	0
100	15	15
150	30	21
200	45	33
250	48	51
300	48	54

Quelle Bundesnetzagentur

Abbildung 31: Tabelle frequenzabhängige Intermodulationsunterdrückung  $a_{B1}$

Hinweise:

- Für einen Frequenzoffset von mehr als 300 kHz ist eine Störung durch B1 ausgeschlossen.
- Zwischenwerte aus dieser Tabelle werden in dB linear interpoliert.



## 3.2 B1–Untersuchungsbereich für Rundfunksender

Mit dem Cut-Off- und dem Trigger-Kriterium wird die Anzahl der zu berücksichtigenden Rundfunksender begrenzt (vgl. ITU-R SM.1009 Kap. 4.3.3).

### 3.2.1 Cut-off–Kriterium:

Die Leistung jedes zur B1-Störung beteiligten Rundfunksenders muss über der Cut-Off-Schwelle liegen (vgl. ITU-R SM 1009):

$$N_{\text{Cut-off}} \geq -66 \text{ dB(m)} + 20 * \lg \left[ \max \left( 1; \frac{108.1 \text{ MHz} - f_{BC}}{0.4 \text{ MHz}} \right) \right] \quad \text{Formel 48}$$

mit

- $f_{BC}$ : Frequenz des Rundfunksenders in MHz

In der physikalischen Realität gibt es nichts in einem Empfänger, das einem Cut-Off-Level entspricht. In praktischen Berechnungen legt die Wahl des Cut-Off-Werts die Anzahl der in der Berechnung berücksichtigten Rundfunksendeanlagen fest. Er ist damit ein Störsignalpegel, unter dem alle Rundfunksignale nicht als potenzielle Störer betrachtet werden.

Der frequenzabhängige Term entspricht der Selektivitätskurve des Preselektor-Bandfilters. Die Konstante wurde nach Untersuchungen entsprechend niedrig genug gewählt.

Um das Cut-Off-Kriterium zu erfüllen, müssen alle Signalpegel des an der Intermodulation beteiligten Rundfunksenders den Cut-Off-Level überschreiten. Anschließend erfolgt eine Summation aller Signale, die den Cut-Off-Level überschreiten.

### 3.2.2 Trigger–Kriterium:

Das Triggerkriterium gemäß ITU-R SM.1009 gibt vor, dass mindestens einer, der an der Intermodulation beteiligten Sender den Trigger-Pegel erreichen muss, damit die Intermodulation berücksichtigt wird. Ebenso wie der Cut-off Wert ist der Trigger-Pegel ein künstlicher Wert. Das Triggerkriterium kann wie folgt berechnet werden:

$$T_{VAL}[\text{dB(mW)}]_{2;3} = \frac{L_C^* - K_{2;3-S}}{3} + 20 \lg \left[ \max \left( 1; \frac{108.1 \text{ MHz} - f_{BC}}{0.4 \text{ MHz}} \right) \right] \quad \text{Formel 49}$$

mit:

- $L_C^* = N_{NAV} - N_{ref}[\text{dB}]$  Formel 50
  - $N_{ref}$  : Mindestnutzleistung am Eingang des Flugnavigationsempfängers:
    - –86 dB(mW) für ILS
    - –79 dB(mW) für VOR
    - –72 dB(mW) für GBAS

- $N_{NAV}$  : gewünschte Leistung am Eingang des Flugnavigationsempfängers an dem Analysepunkt

- $N_{NAV} = E_{NAV} - 118 - 9 - 3,5 [dB(mW)]$  **Formel 51**

- $E_{NAV}$  : Feldstärke des Nutzsymbols in  $dB(\mu V/m)$

- $K_2 = 78dB$  (für ILS, VOR, GBAS)
- $K_3 = 84dB$  (für ILS, VOR, GBAS)
- $S = 3dB$  Sicherheitsmargin (siehe ITU-R SM.1009 Kapitel 4.3.3.4 bzw. ITU-R M.1841 Kapitel 4.2.3.4)

Das Triggerkriterium leitet sich aus den B1-Kriterien für zwei bzw. drei frequenzrelevante Signale ab. Hier werden die Eingangspegel der zwei bzw. drei Rundfunksignale identisch angenommen. Die Grenze des B1-Kriteriums  $B1 = 0 dB$  bestimmt den maximalen Eingangspegel der Signale (Triggerwert). Somit muss bei allen relevanten Frequenzkombinationen (2- bzw. 3-fach Fall) mindestens ein Eingangssignal  $\geq$  diesem Triggerwert auftreten, um dem B1-Kriterium zugeführt zu werden.

## 4. B2-Störung

Als B2 wird die Empfindlichkeitsreduzierung des Flugnavigationsempfängers bezeichnet, die durch Übersteuerung der Eingangsstufe entsteht. Wie auch die B1 Störung, hängt die Auswirkung von B2 Störungen von der Großsignalfestigkeit des Empfängers ab.

Die maximal akzeptable Störleistung  $N_{max,BCi}$ , die durch einen Rundfunksender am Flugnavigationsempfänger anliegen darf, beträgt (vgl. auch ITU-R SM 1009 Kap. 4.3.4) für ILS und VOR sowie für GBAS mit  $f < 112 MHz$

$$N_{max,BCi} = \min \left[ 15 ; -10 + 20 * \lg \left( \max \left\{ 1 ; \frac{108.1 MHz - f_{BCi}}{0.4 MHz} \right\} \right) + L_c \right] \quad \text{Formel 52}$$

für GBAS mit  $f \geq 112 MHz$  (nach ITU-R M.1841)

$$N_{max,BCi} = \min \left[ 15 ; 0 + 20 * \lg \left( \max \left\{ 1 ; \frac{108.1 MHz - f_{BCi}}{0.4 MHz} \right\} \right) + L_c \right] \quad \text{Formel 53}$$

mit

- $N_{max,BCi}$ : maximale akzeptable Störleistung des  $i$ -ten einwirkenden BC-Störers in  $dB(mW)$
- $f_{BCi}$ : als Frequenz des  $i$ -ten Rundfunksenders in  $MHz$
- $L_c$ : als Korrektur-Term (siehe Kapitel 4.1) in  $dB$

Liegen  $Z$  Rundfunksignale am Eingang des Navigationsempfängers an, so liefert jedes Signal einen Beitrag zur Desensibilisierung. Ein Ansatz zur Beschreibung des Summenverhaltens findet ihren Ausdruck in einer erweiterten Linearitätshypothese. Diese ist durch die lineare Überlagerung der auf die jeweilige Desensibilisierungsleistung (Störleistung) bezogenen Eingangsleistung der  $Z$  Rundfunksignale gegeben. Der Sachverhalt wird in folgender Formel durch das B2 Störpotenzial zum Ausdruck gebracht.

$$B2 = 10 * \lg \left\{ \sum_{i=1}^Z \frac{10^{N_{BCi}/10}}{10^{N_{max,BCi}/10}} \right\}. \quad \text{Formel 54}$$

mit

- $Z$ : Anzahl der einwirkenden BC-Sender (Störer)
- $N_{BCi}$ : Störleistung am Empfängereingang des  $i$ -ten BC-Senders (Störer) in  $dB(mW)$

#### 4.1 LC - Korrektur-Term

Der Korrektur-Term wird in Anlehnung an ITU-R SM.1009, Kap. 4.3.4 verwendet. Es gilt

$$L_c [dB] = \max \left( 0 \text{ dB} ; \frac{N_{NAV} - N_{ref}}{2} \right) \quad \text{Formel 55}$$

mit

- $N_{NAV}$ : gewünschte Leistung am Eingang des Flugnavigationsempfängers an dem Analysepunkt
- $N_{ref}$ : Mindestnutzleistung am Eingang des Flugnavigationsempfängers:
  - $-86 \text{ dB}(mW)$  für ILS-Localizer
  - $-79 \text{ dB}(mW)$  für VOR
  - $-72 \text{ dB}(mW)$  für GBAS

#### 4.2 B2-Untersuchungsbereich für Rundfunksender

Unter Voraussetzung der maximal zu betrachtenden Sendeleistung von  $P_{ERP}(\varphi, \theta) = 50 \text{ dB}(W)$  ergeben sich die nachfolgenden Grenzbetrachtungen für einen Rundfunksender ohne Berücksichtigung der Anisotropie unter Freiraumbedingungen für ILS-Anlagen. Die maximale Eingangsleistung dieses Rundfunksenders bei der Frequenz  $f_{BC}$  wird gemäß folgender Formel mit

$$N_{max,BCi} = \min \left[ 15 ; -10 + 20 * \lg \left( \max \left\{ 1 ; \frac{108.1 \text{ MHz} - f_{BCi}}{0.4 \text{ MHz}} \right\} \right) + L_c \right] \quad \text{Formel 56}$$

bestimmt.

In Anlehnung an ITU-R SM.1009, Kapitel 4.4.1.2 sind nur diejenigen Rundfunksender zu berücksichtigen, die am Flugnavigationsempfänger eine Eingangsleistung größer  $N_{max,BCi} - 20 \text{ dB}$  erzeugen.

In den nachfolgenden Graphen wird die maximal zulässige Eingangsleistung  $N_{max,BCi}$  als Funktion der Frequenz des Rundfunksenders  $f_{BCi}$  dargestellt. Als Parameter fungiert die Feldstärke des Nutzsignals  $E_{NAV}$ .

Mit  $E_{NAV} = 32 \text{ dB} (\mu \frac{\text{V}}{\text{m}})$  ergeben sich folgende Graphen:

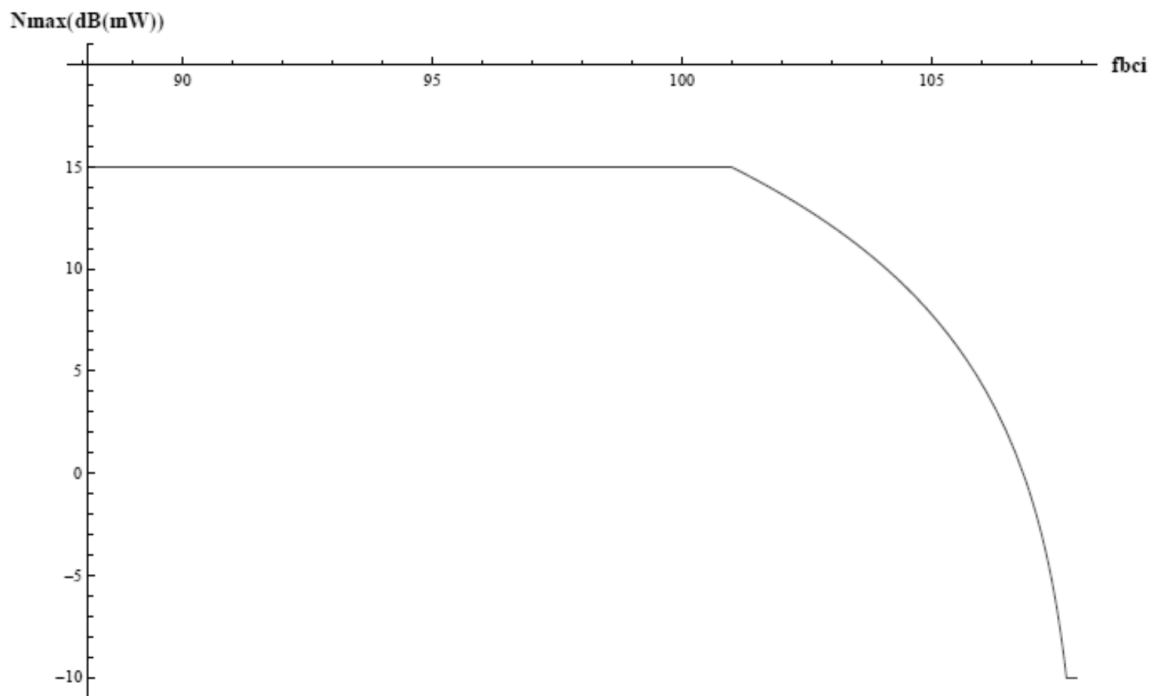


Abbildung 32

Setzt man  $N_{BCi}$  (Leistung des Rundfunksignals am Empfängereingang) gleich  $N_{max,BCi}$ , d.h.  $B2 = 0 \text{ dB}$ , so erhält man für den Grenzabstand zwischen Analysepunkt und Rundfunksender folgende Beziehung in Abhängigkeit von  $f_{BCi}$  ( $88 < f_{BCi}/\text{MHz} < 108$ ) in km:

$$s'_{\text{grenz}}/\text{km} = 10^{\left(\frac{-N_{max,BCi} - 53.5 + \max ERP_{BC}(\varphi, \theta) - 1.2 \cdot (108 - f_{BCi}/\text{MHz})}{20}\right)}$$

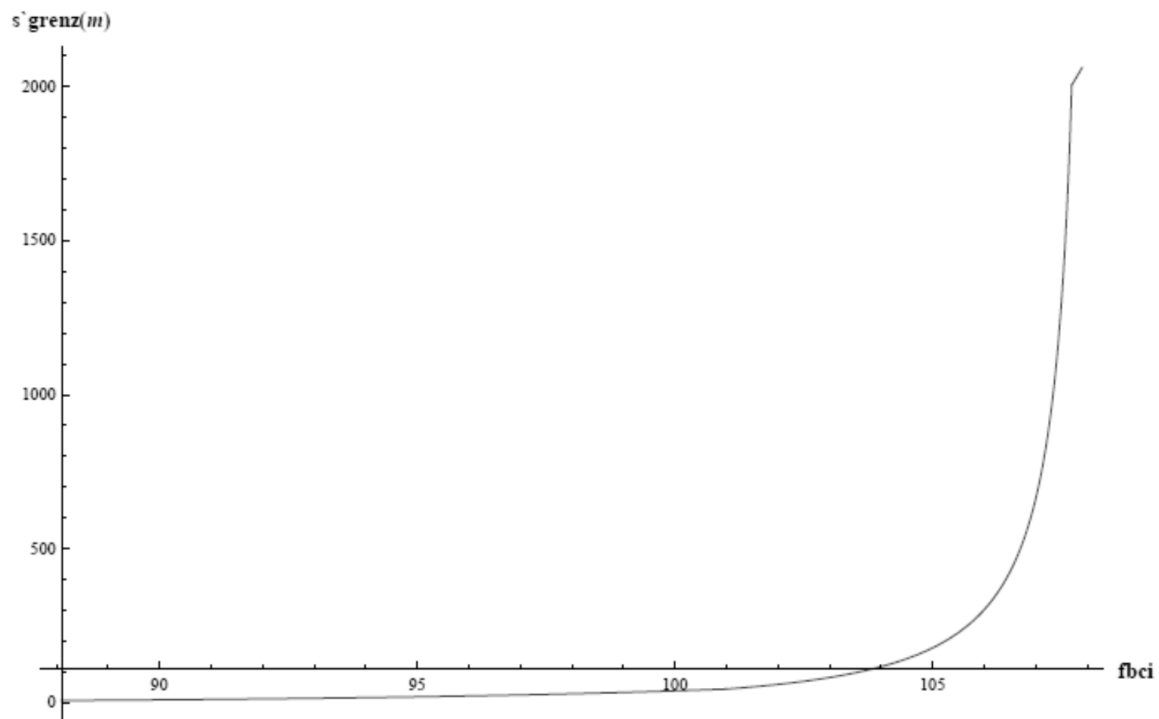


Abbildung 33

Mit  $E_{NAV} = 52\text{dB}(\mu\frac{V}{m})$  verschieben sich die Graphen wie nachfolgend dargestellt:

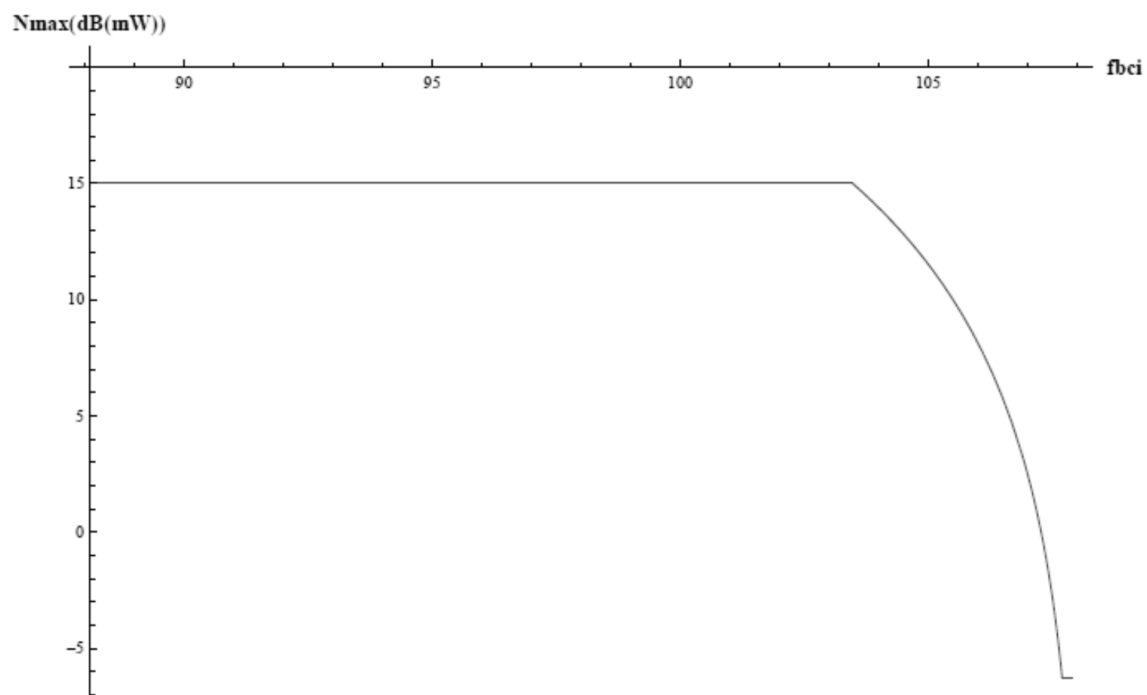


Abbildung 34

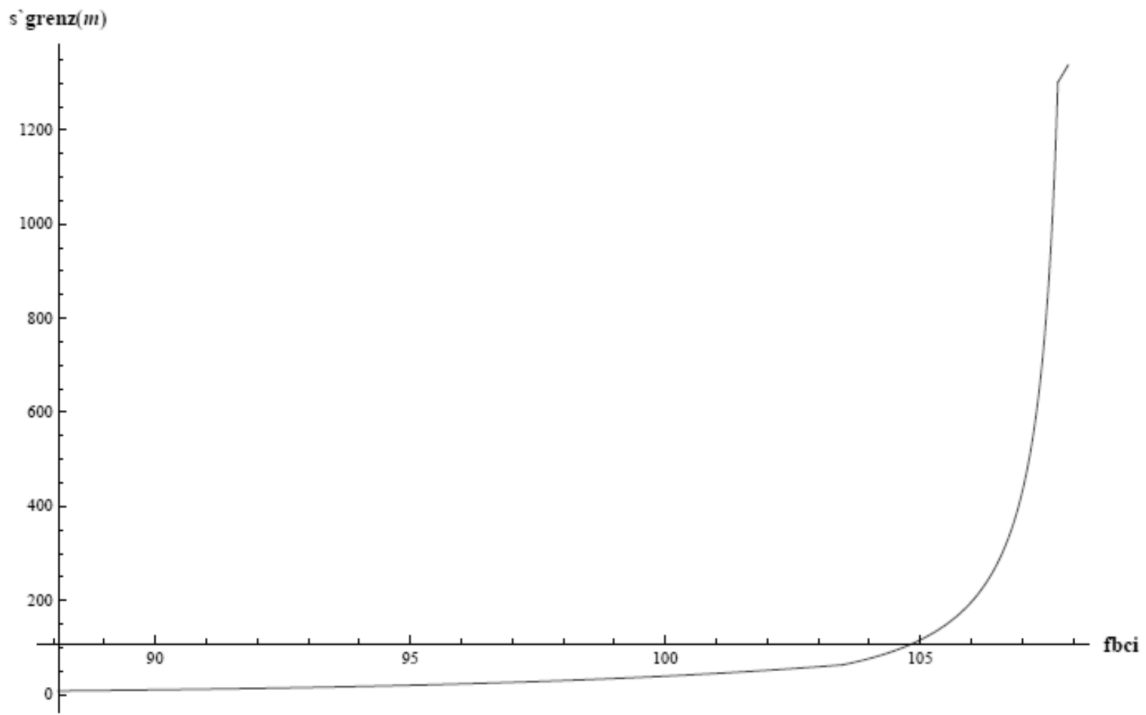


Abbildung 35

# Anhang

# Anhang 1: Übergangsregelung

Koordinierungen von Rundfunk- und Flugnavigationdiensten auf Grundlage des Modells D88 behalten weiter ihre Gültigkeit. D88 wird als Modellbeschreibung zur Verträglichkeitsbetrachtung durch die hier vorgelegte Modellbeschreibung erweitert und in den beschriebenen Punkten ergänzt.



## Anhang 2: Zugrundeliegende Normen

Die hier vorgelegte Modellbeschreibung bezieht sich auf folgende aufgelistete Normen:

- (1) ICAO Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Sixth Edition, July 2006
- (2) Rec. ITU-R SM.1009-1 "Compatibility between the soundbroadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 MHz"
- (3) Rec. ITU-R M.1841-1 "Compatibility between FM sound-broadcasting systems in the frequency band of about 87-108 MHz and the aeronautical ground-based augmentation system in the frequency band 108-117.975"
- (4) Rec. ITU-R P.1812-3 "A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands"
- (5) ITU-R SM.1140 „Testprocedures for measuring aeronautical receiver characteristics used for determining compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical service in the band 108-118 MHz“
- (6) ITU-R BS.641 „Determination of radio-frequency protection ratios for frequency-modulated sound broadcasting“
- (7) ETSI EN 302 018-1 „Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Frequency Modulated (FM) sound broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods
- (8) ETSI ES 201 980 „Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification“

## Anhang 3: Beschreibung der FPSV mit Hilfe einer Definition im XML-Format

Zum elektronischen Austausch von Daten ist zwischen BAF und BNetzA ein Austauschformat festgelegt, das hier beschrieben ist. Damit werden FPSV der allgemeinen Form und Standardisierte FPSV für LOC, VOR und GBAS definiert. Es werden zusätzliche Daten wie beispielsweise der FPSV-Name definiert

```
<FPSV TYPE="" MODEL=" " NAME=" ">
```

Folgende Parameter sind dabei möglich:

- TYPE  
Beschreibt den Typ des FPSV und definiert die folgenden weiteren Informationen als Element unter FPSV:
  - ILS-Localizer
  - GBAS
  - VOR
  - POP (Piece of pie - Radialsektoren)
  - PolygonPoints
- MODEL
  - AboveCurvedEarth (Linear über Kugelerde)
  - AboveFlatEarth (Polynom über flacher Erde)
- NAME
  - Beliebiger String

Die Beschreibung für alle FPSV mit dem TYPE „ILS-Localizer“, „GBAS“, „VOR“ und „POP“ weisen eine Mittelpunkt-Koordinate gemäß nachfolgenden Kapitel auf.

```
<URSPRUNG TYPE=" ">
```

Folgende Parameter sind möglich:

- TYPE
  - Double  
Dort werden die Koordinaten als Double-Wert angegeben

- Text  
Dort werden die Koordinaten als Text-Werte angegeben und müssen der Form  
<Grad>° <Himmelsrichtung N/S/W/E> <Minute>' <Sekunde>" Bsp.: 50° N 02' 42"

Es gibt drei Elemente der Form

<LATITUDE>

<LONGITUDE>

<H> - Wert muss in Meter AMSL angegeben sein

Bsp.:

- <URSPRUNG TYPE="Text">
  - <LATITUDE>53° N 22' 42"/</LATITUDE>
  - <LONGITUDE>009° E 36' 13"/</LONGITUDE>
  - <H>160.0</H>
- </URSPRUNG>

### <COVER>

Der Bereich COVER ist abhängig vom TYPE unter <FPSV> und wird individuell dargestellt:

### ILS-Localizer

- <COVER>
  - <TRD\_DEGREE>Wert mit max. 3 Nachkommastelle [°]</TRD\_DEGREE>
  - <THRESHOLD>
    - <H\_AMSL\_M> Wert mit 0 Nachkommastellen [m]</H\_AMSL\_M>
    - <DIST\_ANT\_THR\_M>Wert mit 0 Nachkommastellen [m]</DIST\_ANT\_THR\_M>
  - </THRESHOLD>
  - <FPSV\_LANG>
    - <DIST\_M>Wert mit 0 Nachkommastellen [m]</DIST\_M>
    - <H\_MAX\_BOTTOM\_ATHR\_M>Wert mit 0 Nachkommastellen [m]</H\_MAX\_BOTTOM\_ATHR\_M>
  - </FPSV\_LANG>
  - <FPSV\_KURZ >
    - <DIST\_M>Wert mit 0 Nachkommastellen [m]</DIST\_M>

- `<H_MAX_BOTTOM_ATHR_M>`Wert mit 0 Nachkommastellen  
[m]`</H_MAX_BOTTOM_ATHR_M>`
  - `</FPSV_KURZ >`
  - `<H_MAX_TOP_ATHR_M>`Wert mit 0 Nachkommastellen  
[m]`</H_MAX_TOP_ATHR_M>`
- `</COVER>`

### GBAS

- `<COVER>`
  - `<TRD_DEGREE>`Wert mit 1 Nachkommastelle [°]`</TRD_DEGREE>`
  - `<FPSV_LANG>`
    - `<DIST_M>`Wert mit 0 Nachkommastellen [m]`</DIST_M>`
  - `</FPSV_LANG>`
  - `<FPSV_KURZ>`
    - `<DIST_M>` Wert mit 0 Nachkommastellen [m]`</DIST_M>`
  - `</FPSV_KURZ>`
  - `<FPSV_BOTTOM_ELEVATION_DEGREE>`Wert mit 0 Nachkommastellen [m]`</FPSV_BOTTOM_ELEVATION_DEGREE >`
  - `<H_MAX_TOP_ATHR_M>`Wert mit 0 Nachkommastellen  
[m]`</H_MAX_TOP_ATHR_M>`
- `</COVER>`

### VOR

- `<COVER>`
  - `<AZIMUT START="Wert mit max. 3 Nachkommastellen [°]">`
    - `<BODEN>`
      - `<Value D="Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" H=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" />`
      - ....
    - `</BODEN>`
    - `<DECKEL>`
      - `<Value D=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" H=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" />`
      - ....

- </DECKEL>
  - </AZIMUT>
  - ....
- </COVER>

### POP

- <COVER TRD=" Wert mit 1 Nachkommastellen [°]">
  - <AZIMUT VALUE="Wert mit max. 3 Nachkommastellen [°]">
    - <BODEN>
      - <Value D=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" H=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" />
      - ....
    - </BODEN>
    - <DECKEL>
      - <Value D=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" H=" Wert mit 0 Nachkommastellen [m]" />
      - ....
    - </DECKEL>
  - </AZIMUT>
  - ....
- </COVER>

### PolygonPoints

- <COVER H\_BOTTOM\_ATHR\_M = "Wert mit 0 Nachkommastellen über MSL [m]" H\_BOTTOM\_ATHR\_M = "Wert mit 0 Nachkommastellen über MSL [m]">
  - <POLYGON>
    - <POINT TYPE="Double oder Text">
      - <LATITUDE>Double/Text</LATITUDE>
      - <LONGITUDE>Double/Text<LONGITUDE>
    - </POINT>
    - ....
    - <POINT TYPE="Double oder Text">

- <LATITUDE>Double/Text</LATITUDE>
- <LONGITUDE>Double/Text<LONGITUDE>
- </POINT>
- </ Polygon>
- </COVER>

## Anhang 4: Änderungsübersicht

Gegenüber vorherigen Versionen dieser Modellbeschreibung wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Gegenüber der Version vom 16.03.2015 wurde geändert:

- Abbildungsverweise auf S. 48 und S. 50 korrigiert
- Formelverweis auf S. 57 korrigiert
- Abkürzungsverzeichnis: Abkürzungen für GPS und WGS84 korrigiert

Gegenüber der Version vom 25.06.2015 wurde geändert:

- Abbildungen 29 und 31: Werte negiert (einheitliche Vorzeichendarstellung für Dämpfungswerte)
- Formeln 46 und 47: entsprechend der Vorzeichenänderung Abb. 31 korrigiert
- Formel 35: Korrektur Parameterdefinition  $f_{BC,r}$