

# 1 Erläuterung der Bewertungsverfahren nach BEMFV\*

\*Zuletzt geändert durch Artikel 2 der Änderungsverordnung vom 14.08.2013 (BGBl. 2013 Teil I Nr. 50 S. 3263) ausgegeben zu Bonn am 21. August 2013, auf der Grundlage des § 12 des Gesetzes über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen vom 31. Januar 2001 (BGBl. I S. 170), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 20 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970)

## 1.1 Messung

Die verwendeten Messgeräte müssen dem Stand der Technik entsprechen und fachgerecht kalibriert sein. Die Messunsicherheit der Messgeräte muss bekannt sein und bei der Auswertung dem Messwert aufaddiert werden.

Die Plausibilität einer Messung hängt entscheidend von der Wahl der Messpunkte ab. Die Messpunkte sind so zu wählen, dass die Einhaltung der Grenzwerte in den relevanten Bereichen (z.B. Grundstücksgrenze) nachgewiesen wird. Dazu ist eine ausreichende Anzahl von Messpunkten vorzusehen.

Aufgrund der Inhomogenität des Feldes im Nahfeld einer Antenne sollten bei der Festlegung der Messpunkte zunächst theoretische Überlegungen über den vermuteten Ort maximaler elektrischer und magnetischer Feldstärken angestellt werden. Es kann sinnvoll sein, zur Bestimmung der Messpunkte zunächst durch eine orientierende Messung die Orte mit den höchsten Feldstärken zu ermitteln.

## 1.2 Fernfeldberechnung

### 1.2.1 Fernfeld / Nahfeld

Die Formel für die Fernfeldberechnung gilt nur im Fernfeld einer Strahlungsquelle, also in dem Bereich, in dem die Vektoren der elektrischen Feldstärke (**E**), der magnetischen Feldstärke (**H**) sowie der Ausbreitungsrichtung (Pointing Vektor) senkrecht aufeinander stehen, keine Phasendifferenzen aufweisen und der Feldwellenwiderstand **Z** dem Feldwellenwiderstand **Z<sub>0</sub>** ( $120 \pi \Omega$ ) des Freifeldes entspricht.

Die Grenze zwischen Fernfeld und Nahfeld ist abhängig von der Wellenlänge, der Art der verwendeten Antenne und der Umgebung der Antenne.

Bei den im Amateurfunk überwiegend verwendeten Drahtantennen auf der Basis von z.B.  $\lambda/2$ - und  $\lambda/4$ - Dipolen bildet sich das Fernfeld in einem Abstand von etwa  $4\lambda$  aus.

Für Antennengruppen und elektrisch große Antennen lässt sich der Fernfeldabstand **R** in etwa durch die Beziehung:  $R > 2 \cdot \frac{D^2}{\lambda}$  bestimmen, wobei **D** die größte Aperturweite der Antennenanordnung ist.

Im Bereich zwischen der Antenne und dem Fernfeldabstand gibt es zwei Feldbereiche, die für die Betrachtung relevant sind:

**Reaktives Nahfeld** (Abstand von der Antenne  $< \frac{\lambda}{2\pi}$ )

Innerhalb des reaktiven Nahfeldes kann es lokal zu starken Überhöhungen des elektrischen und des magnetischen Feldes kommen, die mit der Fernfeldberechnung nicht bestimmt werden können. Daher ist eine Fernfeldberechnung in diesem Bereich nicht zulässig.

**Strahlendes Nahfeld** (Abstand von der Antenne  $> \frac{\lambda}{2\pi}$ ,  $< 4\lambda$ )

Wenn die Fernfeldformel im Bereich des strahlenden Nahfeldes angewendet wird, ergeben sich für die meisten Antennenformen konservative Abschätzungen, das heißt die tatsächlichen Feldstärken sind geringer als die errechneten. Dies gilt jedoch nicht für alle Antennenarten, so erzeugt beispielsweise eine magnetische Antenne im Nahfeld stärkere Feldstärken, als die durch die Fernfeldformel vorausgesagten. Insbesondere Antennen, die geometrisch klein im Verhältnis zur Wellenlänge sind, zeigen ein solches Verhalten.

Unabhängig von der Art der Antenne ist aber auch das unmittelbare Umfeld der Antenne für deren Nahfeldcharakteristik verantwortlich. So kann es sein, dass z.B. Metallzäune oder Metallregennrinnen in der Nähe der Antenne als Sekundärstrahler erregt werden und Feldüberhöhungen hervorrufen.

Abhängig von den verwendeten Antennen und den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten, kann vom Betreiber einer ortsfesten Amateurfunkanlage geprüft werden, ob sich im Bereich des strahlenden Nahfeldes eine Fernfeldberechnung anwenden lässt.

### 1.2.2 Durchführung der Fernfeldberechnung

Die Fernfeldberechnung basiert auf der Annahme, dass sich die Energie elektromagnetischer Wellen von einem theoretischen punktförmigen Strahler (isotroper Strahler) aus gleichmäßig in alle Raumrichtungen ausbreitet. Die Leistungsflussdichte nimmt dabei umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes ab.

Dieser Sachverhalt lässt sich durch die folgende Formel ausdrücken:

$$S = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (1)$$

*S*: Leistungsflussdichte in W/m<sup>2</sup>  
*P*: dem Strahler zugeführte Leistung in W  
*r*: Abstand vom Strahler in m

Zur Berücksichtigung des Gewinnfaktors und der Richtwirkung einer realen Antenne wird die Formel wie folgt ergänzt:

$$S = \frac{P \cdot G_i}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot C^2 \quad (2)$$

*S*: Leistungsflussdichte in W/m<sup>2</sup>  
*P*: dem Strahler zugeführte Leistung in W  
*r*: Abstand vom Strahler in m  
*G<sub>i</sub>*: Antennengewinnfaktor, bezogen auf einen isotropen Strahler  
*C*: Verlustfaktor zur Berücksichtigung der Richtcharakteristik der Antenne  
*a*: Winkeldämpfung in dB

$$C = \sqrt{10^{\left(\frac{-a}{10}\right)}} \quad (2a)$$

Um berechnen zu können, in welchem Abstand von der Antenne die Grenzwerte nach §3 der BEMFV eingehalten werden, muss die Formel (2) umgestellt werden. Dazu werden für die elektrische und für die magnetische Feldstärke die folgenden Beziehungen angesetzt:

$$E = \frac{S}{H} \quad (3)$$

$E$ : elektrische Feldstärke in V/m  
 $H$ : magnetische Feldstärke in A/m

$$H = \frac{E}{Z_0} \quad (4a)$$

$Z_0$ : Feldwellenwiderstand des freien Raums:  $120 \cdot \pi \approx 377 \Omega$

$$E = H \cdot Z_0 \quad (4b)$$

Unter Berücksichtigung der Formeln (2), (4a) und (4b) ergibt sich Formel (5) zur Berechnung des Sicherheitsabstandes:

$$r = \sqrt{\frac{Z_0}{4 \cdot \pi}} \cdot \frac{\sqrt{P \cdot G_i}}{E_g} \cdot C \quad (5)$$

$E_g$ : Grenzwert der elektrischen Feldstärke als Effektivwert

Da die elektrische und die magnetische Feldstärke im Fernfeld über  $Z_0$  linear verknüpft sind und die Personenschutzgrenzwerte für das elektrische Feld unterhalb 10 MHz strenger sind als die für das magnetische Feld, genügt es bei der Fernfeldberechnung den Sicherheitsabstand auf der Basis des Grenzwertes für das elektrische Feld zu ermitteln.

Bei der Berechnung des erforderlichen Sicherheitsabstandes ist zu beachten, auf welche Weise der Antennengewinnfaktor  $G_i$ , der Verlustfaktor  $C$  sowie die Leistung  $P$  in die Formel (5) eingesetzt werden.

### 1.2.3 Antennengewinnfaktor $G_i$

Der Antennengewinnfaktor  $G_i$  kann unter Verwendung der Formeln (6) und (7) aus dem Antennengewinn  $g_i$  oder  $g_d$  errechnet werden.

$$G_i = 10^{\left(\frac{g_i}{10}\right)} \quad (6)$$

$g_i$ : isotroper Antennengewinn in dB

$$G_i = 10^{\left(\frac{g_d + 2,15}{10}\right)} \quad (7)$$

$g_d$ : Antennengewinn bezogen auf einen  $\lambda/2$  Dipol in dB

### 1.2.4 Antennenverlustfaktor $C$

Werden Antennen mit horizontaler oder vertikaler Richtcharakteristik verwendet, kann bei einer rechnerischen Betrachtung eine Winkeldämpfung geltend gemacht werden.

Wenn eine Winkeldämpfung geltend gemacht wird, ist diese zu belegen. Wenn die Sicherheitsabstände im Fernfeld der Antenne liegen, kann die Winkeldämpfung dem Antennenrichtdiagramm entnommen werden. Liegen die Sicherheitsabstände im Nahfeld der Antenne, so sind Fernfeldrichtdiagramme zum Nachweis der Winkeldämpfung nicht geeignet.

Aus der Winkeldämpfung  $\alpha$  in dB kann durch Formel (2a) der Antennenverlustfaktor  $C$  ermittelt werden.

### 1.2.5 Leistung P

Für die Berechnung des Sicherheitsabstandes auf der Basis der Personenschutzgrenzwerte ist es erforderlich, den Wert der Leistung P als Effektivwert in Formel (5) einzusetzen, weil die Personenschutzgrenzwerte als Effektivwerte festgelegt sind.

Die Umrechnung der einzelnen Leistungsarten erfolgt über Tabelle 2 der DIN EN 50414 Ausgabe August 2009 Ein Überblick über die im Amateurfunk typischen Sendearten (Modulationsarten) mit den zugehörigen Umrechnungsfaktoren ist in **Anlage 3 der Anleitung** dargestellt.

## 1.3 Nahfeldberechnung

Durch die Verwendung numerischer Verfahren, wie sie in so genannten Nahfeldberechnungsprogrammen angewendet werden, ist es möglich, die elektrischen und magnetischen Felder exakt nach Betrag und Phase für beliebige Raumpunkte im Umfeld einer Antenne zu berechnen.

Für die Berechnung sind Nahfeldberechnungsprogramme zu verwenden, die mit einem der üblichen Verfahren rechnen. Übliche Verfahren zur Feldberechnung sind z.B.:

- Momentenmethode (MoM)
- Methode der finiten Elemente (FEM)
- Schnelle Fourier Transformation (FFT)
- Finite Differenzen Methode im Zeitbereich (FDTD)
- Physikalische Optik (PO)
- Physikalische Beugungstheorie (PTD)

Bei der Modellierung sind auch die relevanten Umgebungseinflüsse geeignet zu berücksichtigen (Leitfähigkeit und Permeabilität des Bodens, leitende Strukturen in unmittelbarer Nähe der Antenne). In der Regel stellt die Anwendung der Reflexionsfaktor Methode (ideal leitender Boden) eine "worst case" Abschätzung dar.

Hinweis:

Die Handhabung üblicher Nahfeldberechnungsprogramme erfordert detaillierte Sachkenntnis und Erfahrung beim Umgang mit dem jeweiligen Programm und bei der Modellierung der Antennen.

## Rahmenbedingungen

### 1.4 Berücksichtigung der Antennencharakteristik

Werden Antennen mit horizontaler oder vertikaler Richtcharakteristik verwendet, ist es bei einer Fernfeldberechnung zulässig, die Winkeldämpfung zu berücksichtigen.

Wenn eine Winkeldämpfung berücksichtigt wird, ist diese z.B. durch die entsprechenden Antennenrichtdiagramme zu belegen.

Wenn die ermittelten Sicherheitsabstände im Nahfeld der Antenne liegen, sind Fernfeldrichtdiagramme zum Nachweis der Winkeldämpfung nicht geeignet. In diesem Fall kann die Winkeldämpfung z.B. durch eine Nahfeldberechnung oder Messung ermittelt werden.

### 1.5 Zulässiger Leistungsabschlag bei Personenschutzgrenzwerten

Die Personenschutzgrenzwerte sind dann eingehalten, wenn der Effektivwert der Feldstärke quadratisch gemittelt über einen "6-Minuten-Zeitabschnitt" den Grenzwert nicht überschreitet.

Daher kann nach der folgenden Formel ein Korrekturfaktor  $F_B$  ermittelt werden:

$$F_B = \frac{\text{Gesamtsendezeit innerhalb eines "6-Minuten-Zeitabschnitts"}}{6 \text{ Minuten}}$$

Wird ein Faktor  $F_B$  berücksichtigt, so ist zu beachten, dass die Bedingungen, die zur Festlegung des Faktors führten, bei allen Sendeaktivitäten eingehalten werden.

#### Beispiel:

Frequenz:	1,815 MHz
Senderleistung:	75 Watt
Gesamtsendezeit innerhalb eines "6-Minuten-Zeitabschnitts":	3 Minuten

Bestimmung von  $F_B$  :

$$F_B = \frac{\text{Gesamtsendezeit innerhalb eines "6-Minuten-Zeitabschnitts"}}{6 \text{ Minuten}}$$

$$F_B = \frac{3 \text{ Min.}}{6 \text{ Min.}}$$

$$F_B = 0,5$$

Mit dem Faktor  $F_B$  kann die Leistung korrigiert werden. Dadurch ergibt sich in diesem Beispiel eine für die Bewertung zugrunde zu legende Leistung von:

$$P = 75 \text{ W} \cdot 0,5$$

$$P = 37,5 \text{ W}$$

## 1.6 Bewertung bei mehreren Konfigurationen an einem Standort

### Fall A alternierender Betrieb mehrerer Konfigurationen

Wenn bei einer ortsfesten Amateurfunkanlage mehrere Antennen betrieben werden, der Betrieb der verschiedenen Antennen aber nicht gleichzeitig erfolgt, sind für die einzelnen Antennen die jeweiligen systembezogenen Sicherheitsabstände zu ermitteln (dies gilt auch für Antennen, über die verschiedene Konfigurationen alternierend betrieben werden). Die systembezogenen Sicherheitsabstände sind in diesem Fall jeweils auch standortbezogene Sicherheitsabstände.

Der Fall A wird in der überwiegenden Zahl der anzeigepflichtigen Amateurfunkanlagen zutreffend sein.

### Fall B gleichzeitiger Betrieb mehrerer Konfigurationen

Dieser Fall tritt nur dann ein, wenn tatsächlich zur gleichen Zeit Betrieb auf verschiedenen Frequenzen durchgeführt wird (z.B. bei einer Clubstation).

### - Betrachtung bei Personenschutzgrenzwerten

#### Rechnerische Betrachtung

Wenn bei einer ortsfesten Amateurfunkanlage mehrere Antennen gleichzeitig betrieben werden, sind bei einer rechnerischen Betrachtung für die einzelnen Antennen die jeweiligen systembezogenen Sicherheitsabstände zu ermitteln. Werden über eine Antenne mehrere Konfigurationen (siehe Abschnitt 3.5) gleichzeitig betrieben, so sind auch für jede dieser Konfigurationen die systembezogenen Sicherheitsabstände zu ermitteln.

a. Die systembezogenen Sicherheitsabstände für alle Konfigurationen bis 10 MHz Betriebsfrequenz sind zur Berücksichtigung von Spitzenwerteffekten linear zu addieren, Konfigurationen oberhalb 10 MHz werden dabei nicht berücksichtigt:

$$r_{ges, \leq 10\text{MHz}} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

$r_{ges, 10\text{MHz}}$  : standortbezogener Sicherheitsabstand  
 $r_{1-n}$  : systembezogene Sicherheitsabstände

b. Die systembezogenen Sicherheitsabstände für alle Konfigurationen oberhalb 100 kHz sind zur Berücksichtigung thermischer Effekte quadratisch zu addieren, dabei sind auch die Konfigurationen bis 10 MHz zu berücksichtigen:

$$r_{ges, \geq 100\text{kHz}} = \sqrt{(r_1)^2 + (r_2)^2 + \dots + (r_n)^2}$$

$r_{ges, \geq 100\text{kHz}}$  : standortbezogener Sicherheitsabstand  
 $r_{1-n}$  : systembezogener Sicherheitsabstand

Falls Konfigurationen unterhalb und oberhalb von 10 MHz betrieben werden, ist der jeweils größte standortbezogene Sicherheitsabstand maßgebend.

$$r_{ges} = \max \{ r_{ges, \leq 10\text{MHz}}, r_{ges, \geq 100\text{kHz}} \}$$

**Beispiel 1:**

Gleichzeitiger Betrieb eines Senders im 80-m-Band und im 40-m-Band.

Sicherheitsabstand im 80-m-Band (3,60 MHz) z.B.  $r_{80} = 4 \text{ m}$

Sicherheitsabstand im 40-m-Band (7,05 MHz) z.B.  $r_{40} = 3 \text{ m}$

Es treten nur Frequenzen unterhalb 10 MHz auf, d.h. es muss nur linear (siehe a) addiert werden.

$$r_{ges} = r_{ges, \leq 10 \text{ MHz}} = r_{80} + r_{40} = 4 \text{ m} + 3 \text{ m} = 7 \text{ m}$$

**Beispiel 2:**

Gleichzeitiger Betrieb eines Senders im 80-m-Band, im 40-m-Band, im 20-m-Band und im 2-m-Band

Sicherheitsabstand im 80-m-Band (7,2 MHz) z.B.  $r_{80} = 8 \text{ m}$

Sicherheitsabstand im 40-m-Band (3,6 MHz) z.B.  $r_{40} = 5 \text{ m}$

Sicherheitsabstand im 20-m-Band (14,2 MHz) z.B.  $r_{20} = 6 \text{ m}$

Sicherheitsabstand im 2-m-Band (145,4 MHz) z.B.  $r_2 = 5 \text{ m}$

Lineare Addition für die Konfigurationen unterhalb 10 MHz (siehe a):

$$r_{ges, \leq 10 \text{ MHz}} = r_{80} + r_{40} = 8 \text{ m} + 5 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

Quadratische Addition für die Konfigurationen oberhalb 100 kHz (siehe b):

$$r_{ges, \geq 100 \text{ kHz}} = \sqrt{(r_{80})^2 + (r_{40})^2 + (r_{20})^2 + (r_2)^2} = \sqrt{(8 \text{ m})^2 + (5 \text{ m})^2 + (6 \text{ m})^2 + (5 \text{ m})^2} = 12,25 \text{ m}$$

Das Maximum beider Werte ergibt den endgültigen standortbezogenen Sicherheitsabstand:

$$r_{ges} = \max \{ r_{ges, \leq 10 \text{ MHz}}, r_{ges, \geq 100 \text{ kHz}} \} = \max \{ 12,25 \text{ m}, 13 \text{ m} \} = 13 \text{ m}$$

## Messtechnische Betrachtung

Bei einer messtechnischen Betrachtung oder einer Betrachtung mittels numerischer Verfahren ist unter Beachtung der folgenden Summierungsvorschriften zu prüfen, ob die Grenzwertbedingungen eingehalten sind.

Für Frequenzen bis 10 MHz:

$$\sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \leq 1$$

$$\sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \leq 1$$

- $I_{E,i}$ : Immissionsbeitrag des elektrischen Feldes bei der Frequenz  $i$
- $G_{E,i}$ : Grenzwert der elektrischen Feldstärke bei der Frequenz  $i$
- $I_{M,i}$ : Immissionsbeitrag des magnetischen Feldes bei der Frequenz  $i$
- $G_{M,i}$ : Grenzwert der magnetischen Flussdichte bei der Frequenz  $i$

Für Frequenzen oberhalb 100 kHz:

$$\sum_{100\text{kHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{100\text{kHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \right)^2 \leq 1$$

### Summierungsvorschriften für Addition von Feldstärken bei multifrequenter Belastung

#### Beispiel:

Der Betrieb eines 80-m-Senders (3,6 MHz) und eines 20-m-Senders (14,2 MHz) liefert folgende Messwerte an den angegebenen Messpunkten:

Messpunkte	80 m (3,6 MHz)		20 m (14,2 MHz)	
	E [V/m]	H [A/m]	E [V/m]	H [A/m]
MP 1	23	0,055	13	0,002
MP 2	15	0,027	3	0,001
MP 3	5	0,014	2	0,001

$$a = 87 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad E_{L,80\text{m}} = 45,85 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad E_{L,20\text{m}} = 27,50 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$b = 5 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad H_{L,80\text{m}} = 0,203 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad H_{L,20\text{m}} = 0,073 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Bedingung 1: 
$$\frac{I_{E,MP1,80\text{m}}}{G_{E,i,80\text{m}}} = \frac{23 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{45,85 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 0,501 \leq 1$$

Bedingung 2: 
$$\frac{I_{M,MP1,80\text{m}}}{G_{M,i,80\text{m}}} = \frac{0,055 \frac{\text{A}}{\text{m}}}{0,20 \frac{\text{A}}{\text{m}}} = 0,271 \leq 1$$

Bemerkung: Die Bedingungen 1 und 2 müssen nur von den Sendern bis 10 MHz erfüllt werden. Daher bleibt der Sender im 20-m-Band hier unberücksichtigt.

$$\text{Bedingung 3: } \left( \frac{I_{E,MP1,80m}}{G_{E,i},80m} \right)^2 + \left( \frac{I_{E,MP1,20m}}{G_{E,i},20m} \right)^2 = \left( \frac{23 \frac{V}{m}}{45,85 \frac{V}{m}} \right)^2 + \left( \frac{13 \frac{V}{m}}{27,5 \frac{V}{m}} \right)^2 = 0,475 < 1$$

$$\text{Bedingung 4: } \left( \frac{I_{M,MP1,80m}}{G_{M,i},80m} \right)^2 + \left( \frac{I_{M,MP1,20m}}{G_{M,i},20m} \right)^2 = \left( \frac{0,055 \frac{A}{m}}{0,203 \frac{A}{m}} \right)^2 + \left( \frac{0,002 \frac{A}{m}}{0,073 \frac{A}{m}} \right)^2 = 0,074 < 1$$

Die Auswertung für die anderen Messpunkte erfolgt analog. Für jeden Messpunkt müssen jeweils alle 4 Bedingungen Summenwerte liefern, die kleiner oder gleich 1 sind. Ist dies nicht der Fall, kann kein gleichzeitiger Betrieb erfolgen, oder die Leistung muss entsprechend so reduziert werden, dass die Summenwerte die Bedingungen erfüllen.

### Kombinierte messtechnische und rechnerische Betrachtung

Falls ein Teil der Konfigurationen messtechnisch (bzw. einer Betrachtung mittels numerischer Verfahren) und ein anderer Teil rechnerisch betrachtet wurde, kann die Summenbildung wie folgt durchgeführt werden:

Für alle zu messenden Konfigurationen werden die Feldstärkewerte  $E_i$  und  $H_j$  an den Messpunkten ermittelt.

Für die zu berechnenden Konfigurationen kann anhand der folgenden Formeln für jede zu berechnende Konfiguration der Wert der Feldstärken  $E_i$  und  $H_j$  am jeweiligen Messpunkt berechnet werden.

$$E_i = \sqrt{\frac{Z_0}{4 \cdot \pi}} \cdot \frac{\sqrt{P \cdot G_i}}{r_{MP}} \cdot C$$

$$H_j = \frac{E_i}{Z_0}$$

$r_{MP}$ : Abstand von der Antenne zum Messpunkt

$C$ : Dämpfungsfaktor in Richtung des Messpunktes (falls der Dämpfungsfaktor nicht bekannt ist, kann im Sinne einer "worst case" Abschätzung  $C=1$  gesetzt werden)

Alternativ kann die elektrische Feldstärke auch wie folgt bestimmt werden.

$$E_i = E_{L,i} \cdot \frac{r_{PS}}{r_{MP}}$$

$$H_j = \frac{E_i}{Z_0}$$

$r_{PS}$ : Errechneter Sicherheitsabstand für den Personenschutz

$r_{MP}$ : Abstand von der Antenne zum Messpunkt

$E_{L,i}$ : Grenzwert für den Personenschutz

Diese errechneten Feldstärkewerte können dann zusammen mit den gemessenen Feldstärkewerten in die entsprechenden Summenformeln (Bedingung 1 – 4) eingesetzt werden.

### Beispiel:

Der Betrieb eines 80-m-Senders (3,6 MHz) liefert die Messwerte an den angegebenen Messpunkten entsprechend des vorherigen Beispiels.

Gleichzeitig soll ein 70-cm-Sender (432,2 MHz) betrieben werden, dessen

Sicherheitsabstand zu 8 m bestimmt wurde. Die Abstände zwischen der Antenne und den Messpunkten sind in der folgenden Tabelle eingetragen.

Die Ersatzwerte für die Feldstärken werden wie folgt bestimmt:

$$E_{70\text{cm}} = E_{L,70\text{cm}} \cdot \frac{r_{PS}}{r_{MP}} = 28,58 \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot \frac{8 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 19,05 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad \text{mit} \quad E_{L,70\text{cm}} = 28,58 \frac{\text{V}}{\text{m}}, H_{L,70\text{cm}} = 0,076 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$H_{70\text{cm}} = \frac{E_{70\text{cm}}}{Z_0} = \frac{19,05 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{120 \pi \Omega} = 0,051 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Messpunkt	Abstand	$E_{70\text{cm}}$	$H_{70\text{cm}}$
MP1	12 m	19,05	0,051
MP2	10 m	22,86	0,061

Nun sind alle Angaben ermittelt, die für die messtechnische Betrachtung notwendig sind:

Bedingungen 1 und 2 sind erfüllt, da nur ein Sender bis 10 MHz betrieben wird.

Bedingung 3: 
$$\left( \frac{I_{E,MP1,80m}}{G_{E,i},80m} \right)^2 + \left( \frac{I_{E,MP1,70cm}}{G_{E,i},70cm} \right)^2 = \left( \frac{23 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{45,85 \frac{\text{V}}{\text{m}}} \right)^2 + \left( \frac{19,05 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{28,58 \frac{\text{V}}{\text{m}}} \right)^2 = 0,7 < 1$$

Bedingung 4: 
$$\left( \frac{I_{M,MP1,80m}}{G_{M,i},80m} \right)^2 + \left( \frac{I_{M,MP1,70cm}}{G_{M,i},70cm} \right)^2 = \left( \frac{0,055 \frac{\text{A}}{\text{m}}}{0,203 \frac{\text{A}}{\text{m}}} \right)^2 + \left( \frac{0,061 \frac{\text{A}}{\text{m}}}{0,076 \frac{\text{A}}{\text{m}}} \right)^2 = 0,72 < 1$$