



Reg TP MV 09/EMF/3

Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken

Ausgabe: Februar 2003

Diese Messvorschrift regelt die einheitliche Anwendung der Messverfahren in den Außenstellen der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| 1. Zweck | 3 |
| 2. Geltungsbereich | 3 |
| 3. Begriffe | 3 |
| 4. Vorgehensweise | 4 |
| 4.1 Vorbereitung der Messung | 4 |
| 4.2 Durchführung der Messung | 4 |
| 4.2.1 Grundsätze | 4 |
| 4.2.2 Messung besonderer Aussendungen | 6 |
| 4.3 Auswertung | 8 |
| 4.4 Angabe der Messunsicherheit | 9 |
| 5. Änderungsdienst | 9 |
| 6. Anlagen | 9 |

1. Zweck

Diese Messanweisung basiert auf der ECC RECOMMENDATION (02)04 (Empfehlung der Verwaltungen in Europa) und präzisiert das frequenzselektive Verfahren zur messtechnischen Ermittlung der vor Ort vorhandenen elektromagnetischen Felder und die Bewertung in Bezug zu den Grenzwerten zum Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern. Für die sachgerechte Anwendung dieser Messanweisung wird die Kenntnis der DIN VDE 0848 vorausgesetzt. Die am Ort ermittelten Werte sind charakteristisch für die nähere und weitere Umgebung.

Diese Messanweisung ist nicht zur vollständigen Untersuchung von Senderstandorten im Rahmen des Standortbescheinigungsverfahrens geeignet.

Dieser Messanweisung liegen die zulässigen Werte (Grenzwerte) und Definitionen der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) zu Grunde.

Bei der Vorgehensweise wird beispielhaft auf die Messtechnik des Prüf- und Messdienstes (PMD) Bezug genommen.

2. Geltungsbereich

Diese Methode gilt unter Fernfeldbedingungen. Der Messbereich umfasst den Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz.

3. Begriffe

Gesamt-Summationsquotient

Der Gesamt-Summationsquotient ist die Zusammenfassung aller Summationsquotienten der einzelnen Frequenzen für den gesamten gemessenen Frequenzbereich an einem Messort. Die Berechnung ist in den Summationsformeln festgelegt.

Korrigierter Messwert

ist der Messwert, der mit dem Grenzwert verglichen wird.

Messort

ist der Ort für den die ermittelten Messwerte repräsentativ sind.

Messpunkt

ist die lokale Lage am Messort (dort, wo das Stativ steht).

Messwert

ist die messtechnisch ermittelte physikalische Größe.

Schwellwert

Der Schwellwert („Threshold level“) ist 40 dB unterhalb des jeweiligen Grenzwerts.

Selektive messtechnische Größen

sind magnetische Feldstärke (H) und elektrische Feldstärke (E)

Summationsformeln

sind die mathematische Definitionen für den Vergleich des Messwertes mit dem zulässigen Wert (Grenzwert). Die angewendeten Formeln sind der Empfehlung 1999/519/EG des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hertz bis 300 Gigahertz) (Abl. EG Nr. L 199 S. 59), L199/59 vom 30.07.1999 entnommen.

Summationsquotient

Der Summationsquotient ist das Verhältnis aus der maximal gemessenen Feldstärke bei einer Frequenz und dem dazugehörigen Grenzwert. Zahlenwerte größer als „1“ bedeuten, dass der Grenzwert bezogen auf die Messfrequenz überschritten ist. Da es sowohl für die elektrische als auch für die magnetische Feldstärke jeweils frequenzabhängige Grenzwerte gibt, werden pro Frequenz zwei Summationsquotienten, also zwei Grenzwertsummenzahlen ermittelt.

Umgebungsfeldstärke

sind die zum Messzeitpunkt ständig und zufällig vorhandenen elektromagnetischen Felder.

4. Vorgehensweise

4.1 Vorbereitung der Messung

Der Messort wird nicht im Rahmen dieser Messanweisung festgelegt. Zur Beurteilung muss dieser sich aber im Fernfeld aller einwirkenden Sendefunkanlagen befinden.

Vor Beginn der Messungen soll ermittelt werden, ob besondere Aussendungen wie z. B. DAB, DVB oder Radar an dem Messort vorhanden sind. Ist dies der Fall, so sind diese Aussendungen während der Messung im jeweiligen Frequenzbereich gesondert zu betrachten.

4.2 Durchführung der Messung

4.2.1 Grundsätze

Die Messungen sind grundsätzlich im Fernfeld der elektromagnetischen Strahlungsquelle durchzuführen. Bei der Auswertung der Messung wird davon ausgegangen, dass die Feldkomponenten E und H über den Feldwellenwiderstand von 377 Ohm umgerechnet werden können.

Diese Bedingung ist erfüllt, wenn der Abstand (R) zwischen der Strahlungsquelle und dem Messpunkt der folgenden beiden Bedingungen genügt:

$$R \geq 4 * \lambda$$

Gleichung 1

$$R \geq 2 * \frac{D^2}{\lambda}$$

Gleichung 2

R = Abstand zwischen der Strahlungsquelle und dem Messpunkt

D = größte mechanische Abmessung der strahlenden Antenne

λ = Wellenlänge

Der einzelne Messpunkt soll so gewählt werden, dass er repräsentativ für die größtmögliche Feldstärke und damit für den Messort ist. Zur Bestimmung kann entweder eine **Voruntersuchung** mit einer Feldsonde bzw. einem tragbaren Empfänger oder eine theoretische Abschätzung mit einem geeigneten Programm durchgeführt werden.

Die jeweilige Messantenne wird dann an dem Messpunkt in einer **Höhe von 1,5 Meter** über dem Boden montiert. Die Entfernung wird dabei auf den geometrischen Mittelpunkt der Antenne oder den Bezugspunkt, auf den im Antennenkalibrierverfahren Bezug genommen wird, bezogen.

Bei der Messung ist darauf zu achten, dass die Messempfänger auf Spitzenwertanzeige (**Peak-Detektor mit „max-hold“**) stehen. Die gemessenen Spitzenwerte sind in das Messprotokoll aufzunehmen. Diskontinuierliche Aussendungen (Kurzzeitige oder Aussendungen mit stark schwankenden Feldstärkepegeln) - hervorgerufen durch das verwendete Modulations- oder Übertragungsverfahren sowie betriebsabhängige Leistungssteuerung (z.B. D- und E-Netz) - sind zum Zweck der Betrachtung des „worst case“ mit ihrem maximalen Spitzenwert im Messprotokoll aufzunehmen und in der weiteren Auswertung der Messergebnisse wie eine unmodulierte Daueraussendung zu behandeln.

Für die Interpretation der Messwerte und die Reproduzierbarkeit der Messung ist die Umgebung (z. B. höhere Bebauung, Hochspannungsleitungen, Umspannstationen oder ähnliche Einrichtungen) des Messortes in geeigneter Weise (z. B. durch ein Foto) zu dokumentieren.

Die Messung des Feldstärkepegels erfolgt in den jeweiligen Frequenzteilbereichen mit einem Spektrumanalysator und dazugehöriger breitbandiger Antenne.

Bei der Auswahl der Messkabel ist darauf zu achten, dass die Dämpfungswerte für den hier betrachteten Frequenzbereich bekannt sind und in einem Zeitraum von weniger als 12 Monaten gemessen wurden.

Die Frequenzteilbereiche ergeben sich aus den typischen Frequenzbereichen der einzusetzenden Antennen

| Start | Stop | Sweeptime | ZF-BW (RBW) | mindest Video-BW (VBW) | Antenne |
|---------|---------|-----------|-------------|------------------------|----------------|
| 9 kHz | 1 MHz | 2000 msec | 10 kHz | 10 kHz | Rahmenantenne |
| 1 MHz | 30 MHz | 2000 msec | 10 kHz | 10 kHz | Rahmenantenne |
| 30 MHz | 87 MHz | 100 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 87 MHz | 108 MHz | 100 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 108 MHz | 130 MHz | 100 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 130 MHz | 300 MHz | 100 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 300 MHz | 450 MHz | 1000 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 450 MHz | 550 MHz | 1000 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 550 MHz | 850 MHz | 1000 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 850 MHz | 1,0 GHz | 1000 msec | 100 kHz | 100 kHz | Breitbanddipol |
| 1,0 GHz | 1,5 GHz | 100 msec | 1 MHz | 1 MHz | LogPer |
| 1,5 GHz | 2,0 GHz | 100 msec | 1 MHz | 1 MHz | LogPer |
| 2,0 GHz | 3,0 GHz | 100 msec | 1 MHz | 1 MHz | LogPer |

Tabelle 1

Bei der Messung wird der Maximalwert unter Berücksichtigung von **vertikaler und horizontaler Polarisationsrichtung** ermittelt.

Richtwirkungen sind durch Drehen so zu kompensieren, dass die jeweiligen Aussendungen mit dem Maximalwert erfasst werden. In den jeweiligen Frequenzteilbereichen nach Tabelle 1 werden **alle Feldstärken über dem Schwellwert** aufgenommen und in das Auswerteverfahren einbezogen. Sind keine Aussendungen über dieser Schwelle vorhanden, so sind die **zwei größten Feldstärken** in diesem Frequenzteilbereich in die Auswertung mit einzubeziehen.

4.2.2 Messung besonderer Aussendungen

Unter besonderen Aussendungen werden breitbandige und pulsierende Aussendungen verstanden. Darunter fallen beispielsweise DAB-, DVB-, Radar- und UMTS-Aussendungen, die mit dem o. a. Verfahren nicht geeignet beurteilt werden können.

Breitbandige Aussendungen, wie DAB-, DVB- oder UMTS-Signale müssen mit einem der Signalbandbreite entsprechenden ZF-Filter analysiert werden.

| Aussendung | Sweeptime | ZF-BW | Mindest Video-BW |
|--------------------|-----------|--------|------------------|
| 1 Block DAB 1,5MHz | 1000ms | 2 MHz | 2 MHz |
| DVB 8 MHz | 1000ms | 10 MHz | 10 MHz |
| UMTS FDD 5MHz | 1000ms | 5 MHz | 5 MHz |

Tabelle 2

Alternativ muss die Feldstärke im Verhältnis Messbandbreite zu Signalbandbreite nach folgender Formel korrigiert werden:

$$E_{eff} = 10^{\frac{F_{PK\ max} + 10 \log\left(\frac{\text{Signalbandbreite}}{\text{Rauschbandbreite}}\right)}{20}}$$

Gleichung 3

E_{eff} Feldstärke in V/m
 $F_{PK\ max}$ Feldstärkepegel in dB(uV/m)

Hinweis: Bei Verwendung eines Gauss-Filters entspricht die 3dB-Messbandbreite näherungsweise der Rauschbandbreite. Die Gleichung 3 gilt exakt nur bei Messung des Effektivwertes (RMS-Wert) und stellt somit bei der Messung des Spitzeneffektivwertes (Peak-Wert) eine obere Schranke dar.

Beispiele:

Bei Vorhandensein eines DAB-Blockes (1,5 MHz Signalbandbreite) und einer 3dB-Messbandbreite von 1 MHz beträgt der Korrekturwert 1,8 dB, bei 2 DAB-Blöcken 4,8 dB, bei einem UMTS-Signal (5 MHz Signalbandbreite) 7,0 dB und bei DVB (8 MHz Signalbandbreite) 9,0 dB.

Pulsierende Aussendungen müssen über das Tastverhältnis korrigiert werden, sofern der zugehörige Puls-Schwellwert überschritten wird. Diese Signale sollen mit Peak-Detektor und einer Bandbreite nach Tabelle 1 gemessen werden.

Die Messung der Amplitude der Aussendung erfolgt, nachdem die Frequenz im "Sweep-Modus" bestimmt wurde, im Modus "Zero-Span" des Spektrumanalysators. Dieser Messwert wird ohne weitere Korrektur übernommen, solange der Messwert unter dem **Puls-Schwellwert von 110 dBµV/m** bleibt.

Bei größeren Werten ist der Messwert mit Hilfe des Tastverhältnisses wie folgt nach den Gleichungen 5 bzw. 6 zu korrigieren.

Zunächst ist die Impulsdauer der Radaraussendung im Frequenzbereich des Spektrumanalysators im "Sweep-Modus" zu messen. Dazu ist der Span so zu wählen, dass die 1. Nullstellen des Spektrums erfasst werden und die ZF-Bandbreite eine geeignete Bestimmung der Nullstellen f_{0-1} und f_{0+1} ermöglicht. Die Impulsdauer t ist dann der zweifache Kehrwert der Hälfte des Abstandes der genannten Nullstellen.

$$t = \frac{2}{(f_{0+1} - f_{0-1})}$$

Gleichung 4

| | |
|-----------|--|
| t | Impulsdauer in sec |
| f_{0+1} | Frequenz der ersten Nullstelle oberhalb des Trägers |
| f_{0-1} | Frequenz der ersten Nullstelle unterhalb des Trägers |

Die Periodendauer T wird ebenfalls im Sweep-Modus aus dem Kehrwert des Abstands zweier Spektrallinien ermittelt. Sollte die Auflösung es nicht erlauben die Periodendauer T zu bestimmen, kann diese auch alternativ direkt im Zero-Span-Modus ermittelt werden. Mit Hilfe von Impulsdauer und Periodendauer kann dann das Tastverhältnis in den folgenden Gleichungen eingesetzt werden.

$$E_{eff} = 10^{\frac{F_{PK\ max} - 20 \log(1,5 \cdot \text{Messbandbreite} \cdot t)}{20}} \cdot \sqrt{\frac{t}{T}}$$

Gleichung 5

$$E_s = 10^{\frac{F_{PK\ max} - 20 \log(1,5 \cdot \text{Messbandbreite} \cdot t)}{20}}$$

Gleichung 6

| | |
|---------------------|---|
| E_{eff} und E_s | Feldstärke in V/m |
| $F_{PK\ max}$ | Feldstärkepegel in dB(uV/m) |
| T | Periodendauer (Pulsperiode, Impulsabstand) in sec |
| t | Impulsdauer (Impulsbreite) in sec |
| $\frac{t}{T}$ | Tastverhältnis („duty cycle“) |

Die Gleichung 5 und Gleichung 6 gelten unter der Bedingung, dass ein Hüllkurvenspektrum aufgenommen wurde und dass der Faktor $\tau \cdot 1,5 \cdot \text{Messbandbreite}$ klein gegenüber 1 ist. Letzteres ist bei den bisher bekannten Impulsradaranwendungen erfüllt.

4.3 Auswertung

Die Auswertung soll die folgenden Punkte umfassen:

- 1 Anlass und Hintergrund der Untersuchung
- 2 Beschreibung des Messortes
- 3 Beschreibung der eingesetzte Messgeräte
- 4 Messunsicherheit
- 5 Messergebnisse
- 6 Angewandte Grenzwerte und Formeln
- 7 Ergebnis

Sollte im Ergebnis der Summationsformeln einer der Gesamt-Summationsquotienten den Wert 0,3 (30% des Grenzwertsummationsquotienten ausgeschöpft) erreichen oder einer der Summationsquotienten bei Annahme, dass der Messwert um die Messunsicherheit größer ist, den Wert „1“ erreichen, so ist für diesen Standort eine weitergehende Betrachtung durchzuführen.

4.4 Angabe der Messunsicherheit

Die Messunsicherheit wird auf der Basis des Leitfadens zur Angabe der Messunsicherheit (IEC "Guide to the expression of uncertainty in measurement", Ed. 1, 1995) wie folgt ermittelt:

Die Standard-Messunsicherheit $u_{(x_i)}$ und der Empfindlichkeitskoeffizient c_i soll für jede Größe x_i bestimmt werden. Die Gesamt-Messunsicherheit wird dann durch quadratische Addition nach der folgenden Formel ermittelt:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i * u_{(x_i)})^2}$$

Die erweiterte Messunsicherheit wird dann unter der Annahme eines 95% Vertrauensintervalls wie folgt berechnet:

$$u_e = 1,96 u_c$$

Folgende einzelnen Größen sollen bei der Betrachtung der Messunsicherheit berücksichtigt werden.

| Eingangsgröße | Unsicherheit von x_i | | $u(x_i)$ | c_i | $(c_i u_{(x_i)})^2$ % |
|--|--|---------------|----------|-------|--------------------------|
| | Valu e % | Pr Dist ; k | | | |
| Messgerät (Empfänger, Spektrumanalysator) einschließlich Kabeldämpfung | | normal; $k=1$ | | 1 | |
| Antennenfaktor | | normal; $k=1$ | | 1 | |
| | | | | ... | |
| Kombinierte Standardunsicherheit- Combined standard uncertainty | $u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i * u_{(x_i)})^2}$ | | | | |
| Expanded uncertainty (confidence interval of 95%) | $u_e = 1,96 u_c =$ | | | | |

5. Änderungsdienst

Änderungs- und Ergänzungswünsche sind zu richten an:
 Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
 Referat 511
 Postfach 80 01
 55003 Mainz

6. Anlagen

Anlage 1: Grenzwerte

Anlage 2: Summationsformeln

Anlage 1

Übersicht über die Grenzwerte

im Geltungsbereich dieser Messanweisung nach §3 der Verordnung
über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV)

1.1 Frequenzbereich 3 Kilohertz (kHz) bis 10 Megahertz (MHz)

| Frequenz (f) in Megahertz (MHz) | Effektivwert der Feldstärke * | |
|---------------------------------|--|--|
| | elektrische Feldstärke (E) in Volt pro Meter (V/m) | magnetische Feldstärke (H) in Ampere pro Meter (A/m) |
| 0,003 - 0,15 | 87 | 5 |
| 0,15 - 1 | 87 | 0,73/f |
| 1 - 10 | 87/√f | 0,73/f |

Zusätzlich darf bei gepulsten elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 10 MHz der Spitzenwert für die elektrische und magnetische Feldstärke das $10^{(0,665 \log(10^f) + 0,176)}$ fache (f in MHz) der unter Punkt 1.1 genannten Grenzwerte nicht überschreiten.

Bei Frequenzen über 100kHz sind E^2 und H^2 über 6-Minuten-Intervalle zu mitteln

1.2 Frequenzbereich 10 Megahertz (MHz) bis 300000 Megahertz

| Frequenz (f) in Megahertz (MHz) | Effektivwert der Feldstärke quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle | |
|---------------------------------|--|--|
| | elektrische Feldstärke (E) in Volt pro Meter (V/m) | magnetische Feldstärke (H) in Ampere pro Meter (A/m) |
| 10 - 400 | 27,5 | 0,073 |
| 400 - 2000 | 1,375√f | 0,0037√f |
| 2000 - 30000 | 61 | 0,16 |

Zusätzlich darf bei gepulsten elektromagnetischen Feldern mit einer Frequenz oberhalb von 10 MHz der Spitzenwert für die elektrische und magnetische Feldstärke das 32fache der unter Punkt 1.2 genannten Grenzwerte nicht überschreiten.

Anlage 2

Übersicht über die Summationsformeln

nach der Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999
 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern
 (0 Hz — 300 GHz)
 (1999/519/EG)

| | |
|---|---|
| <p>Bedingung 1</p> $\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$ <p>entspricht auch der Bedingung ICNIRP (7)</p> | <p>E_i die elektrische Feldstärke bei der Frequenz i; $E_{L,i}$ der Referenzwert für das elektrische Feld nach Anlage 1 H_j die magnetische Feldstärke bei der Frequenz j; $H_{L,j}$ der Magnetfeld-Referenzwert nach Anlage 1</p> |
| <p>Bedingung 3</p> $\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1$ <p>entspricht auch der Bedingung ICNIRP (9)</p> | |
| <p>Bedingung 2</p> $\sum_{j=1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>150\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$ | |
| <p>Bedingung 4</p> $\sum_{j=100\text{kHz}}^{150\text{kHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>150\text{kHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}}\right)^2 \leq 1$ | |

E_i elektrische Feldstärke bei der Frequenz i
 $E_{L,i}$ der Referenzwert für das elektrische Feld nach Anlage 1
 H_j elektrische Feldstärke bei der Frequenz j
 $H_{L,j}$ der Referenzwert für das elektrische Feld nach Anlage 1

a beträgt 87 V/m

b beträgt 5 A/m (6,25 μ T)

c beträgt $87/f^{1/2}$ V/m

d beträgt $0,73/f$ A/m