

	DIN EN 50413 (VDE 0848-1)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 13.280; 17.220.20 Ersatz für DIN VDE 0848-1 (VDE 0848-1):2000-08 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2008 Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz); German version EN 50413:2008 Norme de base pour les procédures de mesures et de calculs pour l'exposition des personnes aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques (0 Hz – 300 GHz); Version allemande EN 50413:2008 Gesamtumfang 59 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2008-09-01 angenommene EN 50413 gilt als DIN-Norm ab 2009-08-01.

Daneben darf **DIN VDE 0848-1 (VDE 0848-1):2000-08** noch bis 2011-09-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 50413 (VDE 0848-1):2007-03.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 764 „Sicherheit in elektromagnetischen Feldern“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0848-1 (VDE 0848-1):2000-08** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Norm wurde komplett überarbeitet, dabei wurden u. a.:
 - die normativen Verweisungen aktualisiert;
 - teilweise Begriffsdefinitionen ergänzt, einige Definitionen gestrichen;
 - ein neuer Abschnitt 4 mit einleitenden Ausführungen zu elektromagnetischen Feldern ergänzt und die Nummern der nachfolgenden Abschnitte entsprechend erhöht;
- b) Erweiterung der Beschreibung der Festlegungen zu den Messverfahren und Messgeräten in Abschnitt 5 „Messung der Exposition von Personen“, u. a.:
 - Einführung von detaillierten Beschreibungen der Verfahren zur Messung der spezifischen Absorptionsrate;
 - Einführung von Festlegungen zur Messunsicherheit (neuer Abschnitt 5.5);
 - Einführung von Festlegungen zur Kalibrierung (neuer Abschnitt 5.6);
 - Streichung der Festlegungen zur Berechnung der elektrischen und magnetischen Feldstärken, von Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom usw. von leitungsgebundenen Feldern der elektrischen Energieversorgung; und
 - Streichung der Festlegungen zur Berechnung der elektrischen und magnetischen Feldstärken, der Leistungsflussdichte, Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom usw. von Feldern von Sendeantennen;
- c) Aufnahme von Festlegungen zur Berechnung des Körperstroms und der im Körperinneren induzierten Felder durch Verweisung auf EN 62226-2-1 und EN 62226-3-1 (zz. Entwurf) in Abschnitt 6 „Berechnung“;
- d) Aufnahme eines neuen 6.2 zur Berechnung der spezifischen Absorptionsrate;
- e) Aufnahme eines neuen 6.3 zur Berechnung der Unsicherheit;
- f) Aufnahme von Anforderungen an Körperphantome (neuer Abschnitt 7);
- g) Aufnahme von Anforderungen an den Bewertungsbericht (neuer Abschnitt 8);
- h) Streichung der bisherigen Anhänge A, B, C; G, I und Ersatz des Anhangs F durch D.2 und D.3 und des Anhangs H durch die Literaturhinweise am Ende der Norm;
- i) ausführlichere informative Beschreibung der numerischen Verfahren im neuen Anhang B (ersetzt die bisherigen Anhänge D und E);
- j) Aufnahme eines neuen Anhangs C zur Unsicherheitsbewertung bei EMF-Messungen.

Frühere Ausgaben

DIN 57848-1 (VDE 0848-1): 1982-02

DIN VDE 0848-1 (VDE 0848-1): 2000-08

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
ENV 13005:1999	ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement:1995	DIN V ENV 13005:1999-06	–
EN ISO/IEC 17025:2000	ISO/IEC 17025:1999	DIN EN ISO/IEC 17025:2000-04	–
EN 62226-2-1:2005	IEC 62226-2-1:2004	DIN EN 62226-2-1 (VDE 0848-226-2-1):2005-09	VDE 0848-226-2-1
EN 62226-3-1:2007	IEC 62226-3-1:2007	DIN EN 62226-3-1 (VDE 0848-226-3-1):2008-06	VDE 0848-226-3-1

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN V ENV 13005:1999-06, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen; Deutsche Fassung ENV 13005:1999*

DIN EN ISO/IEC 17025:2000-04, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:1999); Dreisprachige Fassung EN ISO/IEC 17025:2000*

DIN EN 62226-2-1 (VDE 0848-226-2-1):2005-09, *Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich – Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes – Teil 2-1: Exposition gegenüber magnetischen Feldern – 2D-Modelle (IEC 62226-2-1:2004); Deutsche Fassung EN 62226-2-1:2005*

DIN EN 62226-3-1 (VDE 0848-226-3-1):2008-06, *Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich – Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes – Teil 3-1: Exposition gegenüber elektrischen Feldern – Analytische Modelle und numerische 2D-Modelle (IEC 62226-3-1:2007); Deutsche Fassung EN 62226-3-1:2007*

– Leerseite –

**Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen
in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern
(0 Hz bis 300 GHz)**

Basic standard on measurement and calculation
procedures for human exposure to electric,
magnetic and electromagnetic fields
(0 Hz – 300 GHz)

Norme de base pour les procédures de
mesures et de calculs pour l'exposition des
personnes aux champs électriques,
magnétiques et électromagnétiques
(0 Hz – 300 GHz)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2008-09-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2008 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 50413:2008 D

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde von dem Technischen Komitee CENELEC/TC 106X „Einwirkung elektromagnetischer Felder auf den Menschen“ ausgearbeitet.

Der Text des Entwurfs wurde der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2008-09-01 als EN 50413 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2009-09-01
 - spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2011-09-01
-

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Einleitung	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Statische Felder.....	11
4.3 Niederfrequenzbereich	11
4.4 Hochfrequenzbereich	12
4.5 Felder mit mehreren Frequenzen und mehrere Quellen	12
4.6 Expositionsszenario.....	12
5 Beurteilung der Exposition von Personen mittels Messung	12
5.1 Allgemeines	13
5.2 Messung des elektromagnetischen Feldes	13
5.3 Messungen des Körperstroms.....	19
5.4 Spezifische Absorptionsrate (SAR)	20
5.5 Unsicherheit.....	22
5.6 Kalibrierung.....	23
6 Beurteilung der Exposition von Personen mittels Berechnung	23
6.1 Allgemeines	23
6.2 Berechnung der spezifischen Absorptionsrate.....	24
6.3 Berechnung der Unsicherheit	24
7 Körperphantome für die Messung und (rechnergestützte) Berechnung	24
8 Bewertungsbericht.....	25
8.1 Allgemeines	25
8.2 Angaben, die in den Bewertungsbericht aufgenommen werden müssen.....	25
9 Bezugsschriftstücke.....	27
Anhang A (informativ) Analytische Modelle für den Nachweis der Gültigkeit von Berechnungsverfahren	28
A.1 Berechnung von ungestörten elektrischen und magnetischen Feldern	28
A.2 Berechnung der induzierten (Körper-)Stromdichte.....	32
A.3 Bezugsschriftstücke.....	40
Anhang B (informativ) Numerische Verfahren	41
B.1 Finite-Elemente-Methode (FEM)	41
B.2 Finite-Differenzen-Methode (FDM).....	41
B.3 Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich (FDTD)	41
B.4 Integralgleichungen (IG) einschließlich der Momentenmethode (MoM) und der Randelement-Methode (BEM)	42

	Seite
B.5 Impedanzverfahren (IM)	42
B.6 Verallgemeinertes Mehrpol-Verfahren (en: Generalized Multipole Technique, GMT)	42
B.7 Hybride Finite-Elemente-Randelement-Methode (FEM-BEM)	43
B.8 Skalare Potential-Finite-Differenzen-Methode (SPFD).....	43
B.9 Frequenzskalierung	43
B.10 Bezugsschriftstücke	43
Anhang C (informativ) Unsicherheitsbewertung für EMF-Messungen.....	44
C.1 Schritte zur Ermittlung einer Unsicherheitsbilanz	44
C.2 Beispiele für Unsicherheitsbilanzen.....	47
C.3 Bezugsschriftstück	49
Anhang D (informativ) Betrachtung der verschiedenen Arten von Funkübertragungen (Modulation).....	50
D.1 Modulation	50
D.2 Einteilung von Aussendungen	50
D.3 Zusammenhang zwischen Träger-, mittlerer und Spitzenleistung für verschiedene Klassen von Aussendungen	52
D.4 Beispiel für die Anwendung von Modulationsaspekten	54
D.5 Bezugsschriftstück	54
Literaturhinweise	55
Bilder	
Bild A.1 – Schema der (elliptischen) Kugelform (Sphäroid).....	34
Bild A.2 – k_E in Abhängigkeit vom Verhältnis L/R	36
Bild A.3 – Durch ein elektrisches Feld mit der Feldstärke 1 kV/m bei 50 Hz induzierte Stromdichte in Abhängigkeit vom Parameter L/R	37
Bild A.4 – Schema der elliptischen Kugelform, die eine auf einer Ebene, deren elektrisches Potential gleich null ist, stehende menschliche Person nachbildet	38
Bild A.5 – Schema der (elliptischen) Kugelform (Sphäroid).....	38
Bild A.6 – k_B in Abhängigkeit von der Koordinate y (bei $z = 0$) für verschiedene Werte des Verhältnisses L/R	39
Bild A.7 – k_B in Abhängigkeit von der Koordinate z (bei $y = 0$) für verschiedene Werte des Verhältnisses L/R	40
Tabellen	
Tabelle 1 – Parameter für die Ermittlung	12
Tabelle D.1 – Zeichen, die für die Definition der Klasse der Aussendung verwendet werden, basierend auf Informationen, die in den Funkbestimmungen der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) gegeben werden.....	51
Tabelle D.2 – Zusammenhang zwischen Träger-, mittlerer und Spitzenleistung für die am meisten gebräuchlichen Modulationsarten für den Fall eines maximal modulierten Signals.....	53

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm stellt Elemente zur Einführung von Verfahren zur Messung und Berechnung der mit der Beurteilung der Sicherheit von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (EMF) im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz verbundenen Größen bereit. Ihre Hauptintention besteht darin, den allgemeinen Hintergrund und Informationen für die Nutzung durch (andere) relevante EMF-Normen zur Verfügung zu stellen. Aufgrund ihres breiten Frequenzbereichs und des großen Umfangs an möglichen Anwendungen kann diese Grundnorm nicht zu ausführlich in die Details gehen. Daher ist es nicht möglich, die Einzelheiten der Mess- oder Berechnungsverfahren in dieser Grundnorm festzulegen. Diese Norm stellt allgemeine Verfahren nur für solche Produkte und Arbeitsplatzkategorien bereit, für die keine relevanten (spezifischen) Beurteilungsverfahren in irgendeiner Europäischen EMF-Grundnorm existieren.

Wenn eine anwendbare europäische EMF-Grundnorm existiert, die auf spezifische Produkte oder Arbeitsplatzkategorien fokussiert ist, dann muss die Beurteilung nach dieser Norm erfolgen. Wenn keine anwendbare europäische EMF-Grundnorm existiert, aber ein anwendbares Beurteilungsverfahren in einer anderen europäischen EMF-Norm vorhanden ist, dann muss letzteres Beurteilungsverfahren angewandt werden.

Diese Norm befasst sich mit Größen, die im freien Raum gemessen oder berechnet werden können, namentlich die elektrische und magnetische Feldstärke sowie die Leistungsdichte, und schließt die Messung und Berechnung von im Körper auftretenden Größen ein, die die Grundlage für Sicherheitsrichtlinien bilden.

Insbesondere stellt die Norm Informationen

- zu Begriffen und Terminologie;
- zu den Eigenschaften von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern;
- zur Messung von Expositionsgrößen;
- zu Anforderungen an die Messgeräte;
- zu Kalibrierverfahren;
- zu Messverfahren und Verfahren zur Ermittlung der Exposition;
- zu Berechnungsverfahren für die Beurteilung der Exposition bereit.

2 Normative Verweisungen

Leer.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Auslösewerte

Größen direkt messbarer Parameter, die als elektrische Feldstärke (E), magnetische Feldstärke (H), magnetische Flussdichte (B) und Leistungsdichte (S) angegeben werden und bei deren Erreichen eine oder mehrere der in der Europäischen Richtlinie 2004/40/EG festgelegten Maßnahmen ergriffen werden müssen. Die Einhaltung dieser Werte stellt die Einhaltung der maßgeblichen Expositionswerte sicher.

[aus 2004/40/EG]

3.2

Antenne

Gerät, das als Wandler zwischen einer geführten Welle, z. B. in einem Koaxialkabel, und einer Freiraumwelle oder umgekehrt dient

3.3

Basisgrenzwert

Grenzwert zur Begrenzung der Exposition mit zeitveränderlichen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, die unmittelbar auf anerkannten gesundheitlichen Wirkungen beruhen

[aus: ICNIRP-Richtlinien]

3.4

Berührungsstrom

Kontaktstrom

Strom, der im Körper als Folge der Berührung eines leitfähigen Objekts in einem elektromagnetischen Feld fließt. Es handelt sich bei ihm um den lokalen Stromfluss in den Körper (gewöhnlich ein Stromfluss in die Hand bei einer leichten, wischenden Berührung).

3.5

Stromdichte

J

Strom je Flächeneinheit, der als Ergebnis der unmittelbaren Einwirkung elektromagnetischer Felder im menschlichen Körper fließt. Er wird in Ampere pro Quadratmeter (A/m^2) ausgedrückt.

3.6

elektrische Flussdichte

D

vektorielle Größe, die für einen gegebenen Punkt gleich der Summe der elektrischen Polarisierung P und des Produkts elektrischer Feldstärke E mal Permittivität des freien Raums ϵ_0 ist

$$D = \epsilon_0 \times E + P$$

Die elektrische Flussdichte wird in Coulomb pro Quadratmeter (C/m^2) ausgedrückt.

ANMERKUNG Im Vakuum ist die elektrische Flussdichte an jedem Punkt gleich dem Produkt elektrischer Feldstärke mal Permittivität des freien Raums: $D = \epsilon_0 E$.

3.7

elektrische Feldstärke

E

Größe eines Feldvektors an einem gegebenen Punkt, der die Kraft (F) auf eine unendlich kleine Ladung (q) darstellt, geteilt durch die Ladung

$$E = \frac{F}{q}$$

Die elektrische Feldstärke wird in Volt pro Meter (V/m) ausgedrückt.

3.8

Exposition

Exposition tritt (zu der Zeit und an dem Ort) auf, wenn ein elektrisches, magnetisches oder elektromagnetisches Feld einer externen Quelle am gleichen Ort wie eine Person vorhanden ist

3.9

Expositionsgrenzwerte

direkt auf nachgewiesenen Auswirkungen auf die Gesundheit und biologischen Erwägungen beruhende Expositionsgrenzwerte in Bezug auf elektromagnetische Felder. Durch die Einhaltung dieser Grenzwerte wird sichergestellt, dass Arbeitnehmer, die elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, gegen alle bekannten gesundheitsschädlichen Auswirkungen geschützt sind.

[aus 2004/40/EG]

3.10

Fernfeldbereich

Bereich des Feldes einer Antenne, in dem die radiale Feldverteilung im Wesentlichen umgekehrt proportional zur Entfernung von der Antenne ist. In diesem Bereich besitzt das Feld vorwiegend die Eigenschaften einer ebenen Welle, d. h. lokal gleichförmige Verteilung des elektrischen und des magnetischen Feldes in Ebenen, die transversal zur Ausbreitungsrichtung sind.

ANMERKUNG Im Fernfeldbereich stehen die Vektoren des elektrischen Feldes E und des magnetischen Feldes H aufeinander senkrecht, und der Quotient aus dem Wert der elektrischen Feldstärke E und dem Wert der magnetischen Feldstärke H ist konstant und gleich der Impedanz des freien Raumes, Z_0 .

3.11

Impedanz des freien Raumes

Z_0

Quadratwurzel aus der Permeabilität des freien Raums, μ_0 , geteilt durch die Permittivität des freien Raums, ϵ_0

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 120\pi\Omega \approx 377\Omega$$

3.12

isotrop

kennzeichnet ein physikalisches Medium oder ein technisches Gerät, dessen relevante Eigenschaften von der Richtung unabhängig sind

3.13

induzierter Strom

I

in Ampere (A) ausgedrückter Strom, der als Ergebnis der unmittelbaren Einwirkung von elektromagnetischen Feldern im Körper induziert wird

3.14

Linearität eines Messgeräts

größte Abweichung über den Messbereich der gemessenen Größe von der nächstgelegenen, über ein gegebenes Intervall festgelegten Bezugskurve

3.15

magnetische Flussdichte

B

Größe eines Feldvektors an einem Punkt, der in einer Kraft (F) auf eine Ladung (q) resultiert, die sich mit der Geschwindigkeit (v) bewegt

$$F = q(v \times B)$$

Die magnetische Flussdichte wird in Tesla (T) ausgedrückt.

3.16

magnetische Feldstärke

H

vektorielle Größe, die sich für einen gegebenen Punkt ergibt, indem die Magnetisierung M vom Quotienten magnetische Flussdichte B durch die Permeabilität des freien Raums, μ_0 , subtrahiert wird

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

Die magnetische Feldstärke wird in Ampere pro Meter (A/m) ausgedrückt.

ANMERKUNG Im Vakuum ist die magnetische Feldstärke an jedem Punkt gleich dem Quotienten magnetische

Flussdichte durch Permeabilität des freien Raums: $H = \frac{B}{\mu_0}$.

3.17

Modulation

Vorgang, bei dem die Amplitude, Phase und/oder Frequenz einer periodischen Wellenform verändert wird, um Informationen zu übertragen

3.18

Nahfeldbereich

Bereich, im Allgemeinen in der Nähe einer Antenne oder einer anderen abstrahlenden Struktur, in dem die elektrischen und magnetischen Felder im Wesentlichen nicht die Eigenschaften einer ebenen Welle haben, sondern von Punkt zu Punkt beträchtlich schwanken. Der Nahfeldbereich wird ferner in den reaktiven Nahfeldbereich, der sich am nächsten zu der abstrahlenden Struktur befindet und den größten Anteil oder nahezu die gesamte gespeicherte Energie enthält, und den abstrahlenden Nahfeldbereich unterteilt, wo die Abstrahlung gegenüber dem reaktiven Feld überwiegt, jedoch die Eigenschaften einer ebenen Welle im Wesentlichen fehlen und die Struktur kompliziert ist.

3.19

Spitzenwert

der Spitzenwert der elektrischen oder magnetischen Feldstärke oder der magnetischen Flussdichte stellt den maximalen Betrag des Feldvektors dar. Er wird aus den drei einzelnen Komponenten der elektrischen oder magnetischen Feldstärke oder der magnetischen Flussdichte gebildet, die Augenblickswerte in den drei aufeinander senkrecht stehenden Raumrichtungen darstellen:

$$\vec{V} = \max \left[\sqrt{V_x^2(t) + V_y^2(t) + V_z^2(t)} \right]$$

3.20

Permeabilität

μ

Eigenschaft eines Materials, die die Beziehung zwischen der magnetischen Flussdichte B und der magnetischen Feldstärke H definiert. Sie wird allgemein verwendet (definiert) als Kombination aus der Permeabilität des freien Raumes (μ_0) und der relativen Permeabilität spezifischer (dielektrischer) Materialien (μ_r)

$$\mu = \mu_r \mu_0 = \frac{B}{H}$$

Dabei ist

μ_r die (relative) Permeabilität des Materials;

μ_0 die Permeabilität des freien Raumes.

Die Permeabilität wird in Henry je Meter (H/m) ausgedrückt.

3.21

Permittivität

ε

Eigenschaft eines dielektrischen Materials, z. B. biologisches Gewebe, die durch die Division der elektrischen Flussdichte D durch die elektrische Feldstärke E definiert wird

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 = \frac{D}{E}$$

Dabei ist

ε_r die (relative) Permittivität des Materials;

ε_0 die Permittivität des freien Raumes.

Die Permittivität wird in Farad je Meter (F/m) ausgedrückt.

3.22

Körperphantom

vereinfachtes Modell des menschlichen Körpers oder eines Teils des menschlichen Körpers, das aus Materialien mit dielektrischen Eigenschaften zusammengesetzt ist, die denjenigen des biologischen Gewebes nahe kommen

3.23

Leistungsdichte

S

Leistung je Flächeneinheit senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle

Die Leistungsdichte wird in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) ausgedrückt.

ANMERKUNG 1 Bei ebenen Wellen sind die Leistungsdichte (S), die elektrische Feldstärke (E) und die magnetische Feldstärke (H) durch die Impedanz des freien Raumes Z_0 aufeinander bezogen:

$$S = E \times H = \frac{E^2}{Z_0} = Z_0 \times H^2$$

ANMERKUNG 2 Obwohl viele Übersichtsgeräte (Messgeräte) die Leistungsdichteeinheiten anzeigen, sind E oder H oder das Quadrat dieser Größen die tatsächlich gemessenen Größen.

3.24

Sonde

Eingangsinstrument eines Messgeräts, das im Allgemeinen als eigenständige (getrennte) Einheit hergestellt ist und die gemessene Eingangsgröße in eine geeignete Ausgangsgröße wandelt

3.25

Referenzwerte

Werte, die praktischen Zwecken der Expositionsbeurteilung dienen, um festzustellen, ob die Basisgrenzwerte möglicherweise überschritten sind. Einige Referenzwerte sind aus den entsprechenden Basisgrenzwerten unter Nutzung von Mess- und/oder Berechnungsverfahren abgeleitet worden, andere beziehen sich auf die Wahrnehmung und schädliche indirekte Wirkungen der Exposition durch EMF.

[aus: ICNIRP-Richtlinien]

ANMERKUNG In einer bestimmten Expositionssituation können gemessene oder berechnete Werte einer dieser Größen mit dem entsprechenden Referenzwert verglichen werden. Übereinstimmung mit dem Referenzwert bedeutet Übereinstimmung mit dem entsprechenden Basisgrenzwert. Übersteigt der gemessene oder berechnete Wert den Referenzwert, so folgt daraus nicht unbedingt, dass auch der Basisgrenzwert überschritten wird. Allerdings ist es immer dann, wenn ein Referenzwert überschritten wird, erforderlich, die Übereinstimmung mit dem relevanten Basisgrenzwert zu prüfen und festzustellen, ob zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

3.26

Effektivwert

(en: root-mean-square, r.m.s.)

der Effektivwert ergibt sich als positive Quadratwurzel aus dem arithmetischen Mittelwert des Quadrats des über eine Periode genommenen Werts einer zeitveränderlichen Funktion

ANMERKUNG Bei periodischen Funktionen stellt eine beliebige ganzzahlige Anzahl von Perioden ein geeignetes Zeitintervall dar. Bei nichtperiodischen Funktionen muss das verwendete Zeitintervall aufgezeichnet werden.

3.27

Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate

(en: root-sum-square; rss)

die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate ergibt sich als positive Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der drei Feldgrößen (Komponenten), gemessen in aufeinander senkrecht stehenden Richtungen

ANMERKUNG Jegliche Phaseninformation bleibt unbeachtet.

3.28

spezifische Absorptionsrate (SAR)

spezifische Energieabsorptionsrate (SAR)

zeitliche Ableitung der enthaltenen elektromagnetischen Energie (dW), die durch eine (in einer) in einem Volumenelement (dV) mit gegebener Massedichte (ρ) enthaltene(n) Masse (dm) absorbiert (verteilt) wird

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right)$$

Die SAR wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) angegeben.

ANMERKUNG Die SAR kann wie folgt berechnet werden:

$$SAR = \frac{\sigma E_i^2}{\rho} \quad \text{bzw.} \quad SAR = c_i \left. \frac{dT}{dt} \right|_{\text{bei } t_0}$$

Dabei ist

E_i der Effektivwert der elektrischen Feldstärke im Gewebe in V/m;

σ die elektrische Leitfähigkeit des Körpergewebes in S/m;

ρ die Körpergewebedichte in kg/m³;

c_i die Wärmekapazität des Körpergewebes in J/kg K;

$\frac{dT}{dt}$ Zeitableitung der Temperatur des Körpergewebes in K/s.

3.29

ungestörtes Feld

Feld, das in einem Raum bei Abwesenheit einer Person oder eines Gegenstands, die (der) das Feld beeinflussen könnte, vorhanden ist

ANMERKUNG Das beim Vorhandensein einer Person oder eines Gegenstands gemessene oder berechnete Feld kann beträchtlich abweichen.

4 Einleitung

4.1 Allgemeines

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder können unmittelbare und mittelbare (direkte und indirekte) Wirkungen auf den menschlichen Körper ausüben. Diese Wirkungen können in Abhängigkeit von der Frequenz der Felder Reizwirkungen auf das zentrale Nervensystem im niedrigen Frequenzbereich und Wärmewirkungen im hohen Frequenzbereich sein. Neben diesen unmittelbaren (direkten) Wirkungen existieren mehrere mittelbare (indirekte) Wirkungen wie das Auftreten von Berührungsströmen oder die mögliche Beeinflussung des bestimmungsgemäßen Betriebs von aktiven medizinischen Implantaten.

Die grundlegenden Konzepte oder Prinzipien, die verwendet werden können, und die Feldgrößen, die zu beurteilen sind, werden auch durch die Art (Dauerwelle, gepulstes Feld, einzelne/mehrere Frequenzen, niedriger/hohes Frequenzbereich), die Verteilung (einzelne/mehrere Quellen) und die Lokalisierung (Ganzkörper, Kopf und Rumpf, Gliedmaßen) der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder stark beeinflusst.

Der Begründung und den besonderen Anforderungen der Sicherheits- und Schutzrichtlinien, die für die Bewertung der Exposition verwendet werden, sollte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Norm ist dafür vorgesehen, für die Beurteilung von Aussendungen von Produkten und den Vergleich dieser Aussendungen mit den für die Allgemeinbevölkerung in der Europäischen Ratsempfehlung 1999/519/EG

[9] angegebenen Expositionswerten verwendet zu werden. Außerdem ist sie dafür vorgesehen, für Beurteilungen der Exposition an Arbeitsplätzen verwendet zu werden, um festzustellen, ob die Anforderungen der Europäischen Ratsrichtlinie 2004/40/EG [10] erfüllt sind.

Die Europäische Ratsempfehlung 1999/519/EG [9] spezifiziert Basisgrenzwerte und abgeleitete Referenzwerte für die Sicherheit der Allgemeinbevölkerung in elektromagnetischen Feldern in Bereichen, in denen Mitglieder der Allgemeinbevölkerung eine beträchtliche Zeit verbringen (können).

Die Europäische Ratsrichtlinie 2004/40/EG [10] spezifiziert Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte für Expositionen am Arbeitsplatz. Diese Norm kann für den Nachweis der Übereinstimmung mit nationalen Umsetzungen der Richtlinie verwendet werden.

Die in der Europäischen Ratsempfehlung angegebenen Basisgrenzwerte und die in der Europäischen Ratsrichtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerte sind in beiden Fällen die tatsächlichen Grenzwerte, die in Form von Größen angegeben sind, die meistens nicht messbar sind: Diese Größen schließen induzierte (Körper-)Ströme bei niedrigen Frequenzen, die spezifische Absorptionsrate (SAR) bei höheren Frequenzen und die Leistungsdichte bei den höchsten Frequenzen ein. Die Werte sind die Gleichen wie die in den ICNIRP-Richtlinien (1998) [7], [8] angegebenen Basisgrenzwerte für die Exposition der Allgemeinbevölkerung bzw. von Arbeitnehmern.

Die in der Europäischen Ratsempfehlung angegebenen Referenzwerte und die in der Europäischen Ratsrichtlinie angegebenen Auslösewerte wurden in beiden Fällen aus den tatsächlichen Grenzwerten abgeleitet und sind in Form von Größen angegeben, die messbar sind: Diese Größen schließen die elektrische Feldstärke, die magnetische Feldstärke und die Berührungsströme ein. Die Werte sind die Gleichen wie die in den ICNIRP-Richtlinien (1998) [7], [8] angegebenen Referenzwerte für die Exposition der Allgemeinbevölkerung bzw. von Arbeitnehmern. Die ICNIRP-Richtlinien [7], [8] spezifizieren sowohl Basisgrenzwerte als auch abgeleitete Referenzwerte sowohl für die Exposition der Allgemeinbevölkerung als auch für die Exposition von Arbeitnehmern.

Beurteilungen der Exposition können sowohl auf den Referenzwerten (bzw. Auslösewerten) als auch auf den Basisgrenzwerten (bzw. Expositionsgrenzwerten) beruhen, wobei die besonderen Eigenschaften der beurteilten spezifischen Feldquelle oder des beurteilten spezifischen Geräts berücksichtigt werden.

Im Allgemeinen können entweder Berechnungs- oder Messverfahren für die Ermittlung von Feldgrößen verwendet werden. Unter bestimmten Umständen kann es Vorteile besitzen, das eine oder das andere Verfahren zu verwenden. Wenn beide Verfahren geeignet sind, kann eines davon verwendet werden, um die Gültigkeit der mit dem anderen Verfahren erzielten Ergebnisse nachzuweisen. Welches Verfahren auch verwendet wird, es muss auf realistische Expositionsszenarien angewendet werden.

Für jedes Beurteilungsverfahren sollte eine maximal zulässige Unsicherheit gewählt werden. Der Wert dieser maximal zulässigen Unsicherheit hängt davon ab, welches Beurteilungsverfahren verwendet wird. Für jedes Beurteilungsverfahren muss die Unsicherheit so klein sein, wie vernünftigerweise vertretbar ist. Die tatsächliche Unsicherheit bei jedem Verfahren muss kleiner als der Höchstwert sein.

Die nachfolgenden Abschnitte geben besondere Anleitungen für verschiedene, vorstehend erwähnte Gegenstände.

4.2 Statische Felder

Statische elektrische und magnetische Felder sind voneinander unabhängig und müssen beide bewertet werden.

4.3 Niederfrequenzbereich

Im Niederfrequenzbereich (bis 100 kHz) sind die elektrischen und magnetischen Felder weitgehend voneinander unabhängig und müssen beide – falls notwendig – bewertet werden. Für ein gegebenes Expositionsszenario hängt die elektrische Feldstärke nur von der verwendeten Spannung ab; die magnetische Feldstärke oder magnetische Flussdichte hängt nur von den elektrischen Strömen ab.

4.4 Hochfrequenzbereich

Es gibt mehrere Feldarten, die in Abhängigkeit vom Abstand r von der Strahlungsquelle und den Maßen D der Strahlungsquelle unterschiedlich bewertet werden sollten. Tabelle 1 zeigt an, ob das E -Feld, das H -Feld oder beides in verschiedenen Abständen von der Feldquelle gemessen werden muss.

Wenn bei unabsichtlichen Strahlungsquellen nicht bekannt ist, ob die Bedingungen für das Fernfeld oder für das abstrahlende Nahfeld zutreffen, dann ist es notwendig, sowohl das E -Feld als auch das H -Feld zu messen.

Tabelle 1 – Parameter für die Ermittlung

	Reaktives Nahfeld	Abstrahlendes Nahfeld	Fernfeld
Abstand r^a	$r < \lambda$	$\lambda \ll r < 2D^2/\lambda$	$2D^2/\lambda < r$
$E, H \sim 1/r$	Nein	Nein	Ja
$Z = E/H$	$\neq Z_0$	$\approx Z_0$	$= Z_0$
zu messende Größe	E und H	E oder H	E oder H
^a Stark abhängig von der Art der abstrahlenden Struktur (D : größte Abmessung der abstrahlenden Struktur, z. B. Durchmesser einer parabolischen Antenne). Wenn das elektromagnetische Feld moduliert ist, gibt Anhang D eine Anleitung, wie die erforderlichen Werte für die Expositionsbeurteilung zu bestimmen sind.			

4.5 Felder mit mehreren Frequenzen und mehrere Quellen

Zur Ermittlung der Exposition müssen sämtliche relevanten Frequenzanteile und Feldquellen berücksichtigt werden. Es müssen einwandfreie Summationsverfahren, wie sie in den ICNIRP-Richtlinien [7], dem ICNIRP-Statement [8], der Europäischen Ratsempfehlung [9] und der Europäischen Arbeitsschutzrichtlinie [10] gegeben sind, verwendet werden. Um zusätzlich eine genauere Ermittlung der Exposition zu erhalten, kann es notwendig sein, nicht nur die Amplituden der elektrischen und magnetischen Felder, sondern auch die Phasen der einzelnen Feldanteile zu berücksichtigen.

Im Niederfrequenzbereich (Reizwirkungen) müssen die Stromdichten, die elektrischen und magnetischen Feldstärken in einer linearen (gewichteten) Weise überlagert werden. Im Hochfrequenzbereich (Wärmewirkungen) müssen die Leistungsdichten ebenfalls in einer linearen Weise überlagert werden, während die elektrischen und magnetischen Feldstärken in einer quadratischen (gewichteten) Weise überlagert werden müssen.

4.6 Expositionsszenario

Die Ermittlung der Exposition muss in Abhängigkeit von der Feldgeometrie erfolgen. Dies kann die Ermittlung der Ganzkörper- oder einer Teilkörperexposition erfordern.

Im Niederfrequenzbereich werden Basisgrenzwerte und Expositionsgrenzwerte nur in Bezug auf das Gewebe des Zentralnervensystems (ZNS) angegeben. Für die Beurteilung von inhomogenen oder in kleinen Bereichen lokalisierten Expositionssituationen (z. B. Quellen kleiner Leistung, die nahe dem Körper benutzt werden) muss dies berücksichtigt werden.

5 Beurteilung der Exposition von Personen mittels Messung

5.1 gibt eine Übersicht, welche Messungen erforderlich sind, um die Exposition von Personen gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern zu bewerten.

5.1 Allgemeines

Messungen der Exposition von Personen gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern können wie folgt unterschieden werden:

- Messung der elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldgrößen (z. B. B , E , H , S);
- Messung des in Gliedmaßen induzierten Stroms;
- Messung des Berührungstroms;
- Messung der spezifischen Absorptionsrate (SAR);
- Messung der Temperatur.

Zur Durchführung von aussagefähigen Messungen müssen das Verhalten und die Eigenschaften (z. B. Frequenz, zeitliche Schwankungen der Aussendung, Eingangsleistung) der Quelle der Exposition (Felder oder Strom) bestimmt und die Betriebsweise der Messeinrichtung verstanden werden. Unabhängig von der Art des Signals können Zeitbereichsmessungen durchgeführt werden. Diese können insbesondere bei nicht-sinusförmigen, sehr schnellen und gepulsten Signalen hilfreich sein. Außerdem sollten alle Expositionsgrößen gemessen werden, die zur Beurteilung des Ausmaßes der Exposition von Personen, die aus dem Betrieb der Quelle resultiert, benötigt werden. Es muss sichergestellt werden, dass das, was gemessen wurde, der Höchstwert ist, dem eine Person ausgesetzt würde, wenn die Betriebsbedingungen der Quelle so sind, wie sie unter der Bedingung des erlaubtem Zugangs von Personen (in den entsprechenden Bereich) sind.

Die erwarteten Aussendungseigenschaften der Quelle sollten verstanden werden, und es sollte bestätigt werden, dass diese die Messergebnisse treffen. Manchmal ist die Quelle gut beschrieben (dokumentiert); in diesem Fall kann es vergleichsweise einfach sein, die vorhergesagten Aussendungen zu bestätigen. Manchmal ist die Quelle nicht beschrieben (undokumentiert) und ihre Eigenschaften müssen – meistens durch Messung – bestimmt werden. Auch wird es Einflüsse auf das Verhalten der Quelle, wie z. B. die Bodenleitfähigkeit, das Vorhandensein von reflektierenden Gegenständen usw., geben, die betrachtet werden müssen.

Die Messeinrichtung sollte kalibriert und für die durchzuführenden Messungen geeignet sein. Die mit ihrer Verwendung für die durchzuführende Messung verbundenen Unsicherheiten müssen bestimmt und angegeben werden.

Manchmal wird die Expositionsposition gut beschrieben (dokumentiert) sein, aber oft ist es erforderlich, den Ort zu bestimmen, in dem die höchste Exposition auftritt. Letzteres kann entweder durch die Gewinnung einer vorhergehenden Übersicht über die Bereiche, die sich um eine Quelle herum befinden, oder durch den Aufbau einer räumlichen 2D/3D-Messmatrix bewerkstelligt werden. Messungen sollten in allen Positionen der Matrix durchgeführt werden. Wenn der Ort der höchsten Exposition festgestellt worden ist, sollten detaillierte Messungen durchgeführt werden. Die Abstände zwischen verschiedenen Messpunkten hängen z. B. von der Art des gewählten Messverfahrens und der Messfrequenz ab.

Allgemein kann die Beurteilung von elektromagnetischen Feldgrößen im Körperinneren schwierig oder unmöglich sein, da Feldgrößen im Inneren von realen Organismen nicht direkt gemessen werden können. Als Konsequenz daraus wurden Untersuchungen zur Beurteilung solcher Größen unter Verwendung von physikalischen oder numerischen Modellen des menschlichen Körpers, auf die unter dem Begriff Körperphantome Bezug genommen wird, durchgeführt. Die physikalischen und elektrischen Eigenschaften (dielektrischen Eigenschaften) von experimentellen Körperphantomen werden so hergestellt, dass die Reaktion einer Person auf ein einfallendes elektromagnetisches Feld so gut wie möglich repräsentiert wird.

5.2 Messung des elektromagnetischen Feldes

5.2.1 Allgemeines

Es muss das ungestörte Feld (ohne Anwesenheit einer Person) gemessen werden.

Messungen von elektromagnetischen Feldern sind zwischen Messungen von nieder- und hochfrequenten Feldern zu unterscheiden.

Messungen im Niederfrequenzbereich reichen von 0 Hz bis 100 kHz und Messungen im Hochfrequenzbereich reichen von 100 kHz bis 300 GHz.

ANMERKUNG Die zu Grunde liegenden physiologischen Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf menschliche Körper besitzen keine scharfe Frequenzgrenze, an der zwischen Reiz- und Wärmewirkungen unterschieden wird; dies zeigt sich auch in der Auswahl der erforderlichen Messeinrichtung.

Zur Durchführung von aussagefähigen Messungen müssen folgende Informationen bekannt sein:

- die Art der Feldquelle, z. B. Versorgungsstrom und -spannung, abgestrahlte Leistung;
- die Eigenschaften der Feldquelle, z. B. Frequenz, Betriebsverhalten, Modulation, Einschaltdauer;
- die Messgeräte und ihre Eigenschaften, z. B. das Messprinzip;
- die Ermittlungs-/Bewertungsgrundlagen wie Normen, Grenzwerte usw.;
- die Unsicherheit der Messungen.

Wenn die vorstehenden Informationen bekannt sind, kann das geeignete Verfahren für die Feldmessung ausgewählt werden.

5.2.2 Messeinrichtung

Die Einrichtung zur Messung von elektromagnetischen Feldern setzt sich aus zwei Teilen zusammen: der Sonde – oder dem feldaufnehmenden Element – und dem Messgerät, welches das von der Sonde gelieferte Signal verarbeitet und den Wert der elektromagnetischen Feldgröße mit Hilfe einer analogen oder digitalen Anzeige ausgibt.

Die Messeinrichtung sollte für die gewünschte Anwendung geeignet sein. Die Eigenschaften der relevanten Feldquellen, die Umgebungsbedingungen der Orte, wo Personen sich aufhalten können, und die Eigenschaften des Messsystems sollten berücksichtigt werden.

Folgende Aspekte der Messeinrichtung sollten in Betracht gezogen werden.

- Die Einrichtung sollte einen ausreichenden Dynamik- und Frequenzbereich für die spezielle Anwendung haben. Die Messeinrichtung sollte für die praktische Anwendung in rauen industriellen Umgebungen und für die Anwendung im Freien, z. B. im Umkreis von Rundfunksendetürmen, geeignet sein, wo dies erforderlich ist.
- Im Allgemeinen können Feldmesseinrichtungen in breitbandige und schmalbandige (frequenzselektive) Geräte unterteilt werden.
- Frequenzselektive Messeinrichtungen können Informationen über Feldstärken und außerdem Informationen über die spektralen Eigenschaften der gemessenen Felder liefern. Für diesen Zweck werden typischerweise Spektrumanalysatoren, abgestimmte Messempfänger oder Bandpassfilter benutzt. Schmalbandige Geräte können benutzt werden, wenn eine Frequenzauflösung und höhere Empfindlichkeit erforderlich sind oder wenn das zu messende Signal diskontinuierlich (z. B. pulsmoduliert mit einer niedrigen Pulswiederholrate) ist.
- Breitbandige Messeinrichtungen zeigen üblicherweise die Feldstärke unabhängig von der Signalfrequenz an.

5.2.3 Messgeräte

In den meisten Fällen sollten die Messgeräte auf Effektivwerte reagieren und diese anzeigen, aber für manche Zwecke sollten Messgeräte, die auf Spitzenwerte reagieren, verwendet werden. Letzteres kann z. B. der Fall sein, wenn der Spitzenwert gut definiert ist, während der Effektivwert in Abhängigkeit von der Zeit und von der bei einer Effektivwertmessung benutzten Mittelungszeit stark variiert.