

	Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern Teil 1: Definitionen, Meß- und Berechnungsverfahren	DIN VDE 0848-1
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0848 Teil 1
Für den Anwendungsbereich dieser Norm bestehen keine entsprechenden regionalen oder internationalen Normen ICS 01.040.17; 13.280; 17.220.01; 33.100.01 Safety in electrical, magnetic and electromagnetic fields – Part 1: Definitions, methods for measurement and calculation Sécurité en cas de champs électrique, magnétique et électromagnétique – Partie 1: Définitions, méthodes de mesure et de calculation Beginn der Gültigkeit Diese Norm gilt ab 1. August 2000. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN VDE 0848-1 (VDE 0848 Teil 1):1998-07. Ersatz für DIN 57848-1 (VDE 0848 Teil 1):1982-02 Fortsetzung Seite 2 bis 35 Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Vorwort

Die vorliegende Norm wurde vom Gemeinsamen Arbeitskreis 764/964 „Berechnungen, Meßverfahren und Meßgeräte für den Personenschutz in elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) ausgearbeitet und von den nationalen Arbeitsgremien K 764 „Sicherheit in elektromagnetischen Feldern“, UK 764.1 „Sicherheit in elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0 bis 30 kHz“ und K 964 „Meßgeräte für elektrische bzw. elektromagnetische Größen“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) verabschiedet.

Für den Anwendungsbereich dieser Norm bestehen keine entsprechenden internationalen oder regionalen Normen. Entsprechende Festlegungen werden von CENELEC TC 211 und IEC TC 106 beraten.

Änderungen

Gegenüber **DIN 57848-1 (VDE 0848 Teil 1):1982-02** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm komplett überarbeitet;
- b) Definitionen wurden erweitert;
- c) Meß- und Berechnungsverfahren für den Nachweis der Einhaltung der Basisgrenzwerte wurden eingeführt;
- d) Spitzenwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke und deren Effektivwert sowie die Maximalleistung eines Hochfrequenzgenerators wurden als Meßgrößen eingeführt;
- e) für die Vergleichbarkeit von Meßergebnissen werden feste Meßhöhen festgelegt;
- f) die Messung der elektrischen Feldstärken mit Hilfe von Körperrnachbildungen wird zugelassen;
- g) die Norm wurde bezüglich der normgerechten Schreibweise und der Verständlichkeit überarbeitet.

Frühere Ausgabe

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

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Definitionen	4
4 Meßverfahren	9
4.1 Allgemeine Anforderungen an Meßeinrichtungen	9
4.2 Allgemeine Anforderungen an Meßverfahren	10
4.3 Messung der elektrischen Feldstärke	10
4.4 Messung der magnetischen Feldstärke	11
4.5 Messung des Spitzenwertes der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke und des Effektivwertes der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke	11
4.6 Messung der Leistungsflußdichte	11
4.7 Messung der elektrischen Spannung	12
4.8 Messung des elektrischen Stromes	12
4.9 Messung der aus Empfangsgebilden entnehmbaren Wirkleistung	12
4.10 Messung von Frequenzen	13
4.11 Messung der spezifischen Absorption (SA)	14
4.12 Messung der spezifischen Absorptionsrate (SAR)	14
4.13 Bestimmung des Körperstromes	14
4.14 Messung des Gesamtkörperableitstromes	14
4.15 Messung der Körperstromdichte	14
4.16 Messung der Kapazität	15
4.17 Messung der Berührungsspannung	15
5 Berechnungsverfahren	15
5.1 Berechnung der elektrischen und magnetischen Feldstärken von leitungsgebundenen Feldern der elektrischen Energietechnik	15
5.2 Abschätzung von Leerlaufspannung, Kurzschlußstrom, elektrischer Ladung und maximal entnehmbarer Energie an Empfangsgebilden in leitungsgebundenen Feldern der elektrischen Energietechnik	16
5.3 Berechnung der Leistungsflußdichte sowie der elektrischen und magnetischen Feldstärken bei Sendeantennen	17
5.4 Abschätzung von Leerlaufspannung, Kurzschlußstrom und maximal entnehmbarer Wirkleistung an Empfangsgebilden im Fernfeld von Sendeantennen	18
6 Berücksichtigung unterschiedlicher Sendearten	23
Anhang A (normativ) Praktische Hinweise zur Durchführung von Messungen von Feldgrößen	25
Anhang B (informativ) Hinweise auf Probleme bei Meßsystemen für Feldgrößen	26
Anhang C (informativ) Verfahren zur Berechnung der elektrischen und magnetischen Feldstärke von leitungsgebundenen Feldern	27
Anhang D (informativ) Numerische Verfahren zur Berechnung elektromagnetischer Größen in abgestrahlten Feldern	28
Anhang E (informativ) Numerische Verfahren zur Berechnung der SAR im biologischen Gewebe	29
Anhang F (informativ) Bezeichnung der Frequenzbereiche nach den Internationalen „Radio Regulations“, Genf, 1985 [15]	30
Anhang G (informativ) Abschätzung der Feldgrößen im Nahfeld von Spiegelantennen	31
Anhang H (informativ) Literaturhinweise	32
Anhang I (informativ) Stichwortverzeichnis	33

1 Anwendungsbereich

Diese als VDE-Bestimmung gekennzeichnete Norm enthält Definitionen und gilt für Meß- und Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz, siehe [Anhang F](#).

Zweck dieser Norm ist die Festlegung von grundlegenden Definitionen der Normenreihe DIN VDE 0848 sowie die meßtechnische oder rechnerische Bestimmung physikalischer Größen zum Vergleich mit zulässigen Werten.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält datierte und undatierte Verweisungen auf Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den entsprechenden Stellen im Text genannt, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Neuauflagen im Rahmen dieser Norm nur, wenn sie durch eine Änderung oder Neuauflage aufgenommen werden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der herangezogenen Publikation.

ANMERKUNG IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 50 nun IEC 60050 geworden.

DIN VDE 0228-1 (VDE 0228 Teil 1), *Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen – Allgemeine Grundlagen*.

E DIN VDE 0228-6 (VDE 0228 Teil 6), *Beeinflussung von Einrichtungen der Informationstechnik – Elektrische und magnetische Felder von Starkstromanlagen im Frequenzbereich von 0 bis 10 kHz*.

DIN VDE 0800-1 (VDE 0800 Teil 1), *Fernmeldetechnik – Allgemeine Begriffe – Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte*.

Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch; Deutsche Ausgabe; Kapitel 161: Elektromagnetische Verträglichkeit; Konsolidierte Fassung aus IEC 60050-161:1990-08, Änderung 1:1997-10 und Änderung 2:1998-04, Beuth Verlag 1999.

3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die nachstehenden Definitionen zusammen mit den Definitionen aus dem Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch; Deutsche Ausgabe; Kapitel 161: Elektromagnetische Verträglichkeit.

3.1 Elektromagnetisches Feld

Physikalisches Feld, bestimmt durch ein System von vier Vektoren, die den elektrischen und magnetischen Zustand eines mit Materie erfüllten oder leeren Raumes beschreiben.

ANMERKUNG 1 Diese vier Vektoren (im allgemeinen orts- ($\vec{r}$) und zeitabhängig (t)) sind:

- die elektrische Feldstärke
Formelzeichen: $\vec{E}(\vec{r}, t)$ Einheit: V/m
- die elektrische Flußdichte
Formelzeichen: $\vec{D}(\vec{r}, t)$ Einheit: As/m²
- die magnetische Feldstärke
Formelzeichen: $\vec{H}(\vec{r}, t)$ Einheit: A/m
- die magnetische Flußdichte
Formelzeichen: $\vec{B}(\vec{r}, t)$ Einheit: Vs/m²

ANMERKUNG 2 In Luft kann statt der magnetischen Feldstärke $\vec{H}$ in der Einheit A/m die entsprechende magnetische Flußdichte $\vec{B}$ in T angegeben werden:

$$1 \text{ T} \triangleq \frac{10^7}{4\pi} \text{ A/m} \approx 0,796 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

3.2 Elektrische Feldstärke

3.2.1 Spitzenwert der elektrischen Feldstärke

Der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke stellt den tatsächlich auftretenden maximalen Betrag des elektrischen Feldstärkevektors dar. Er wird aus den Komponenten $E_x(\vec{r}, t)$, $E_y(\vec{r}, t)$ und $E_z(\vec{r}, t)$ der elektrischen Feldstärke gebildet. Die Komponenten sind Augenblickswerte und werden in Richtung dreier orthogonaler Einheitsvektoren ermittelt.

Formelzeichen: $\hat{E}$ Einheit: V/m

Der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke ist kein Vektor und unabhängig von der Wahl der Einheitsvektoren.

Aus den drei Feldstärken in zueinander senkrechten Raumrichtungen x, y, z ergibt sich der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke an einem Ort $\vec{r}$ zu:

$$\hat{E} = \max \left\{ \sqrt{E_x^2(t) + E_y^2(t) + E_z^2(t)} \right\} \quad (1)$$

ANMERKUNG Bei einem quasistationären Feld einer Frequenz kann der Spitzenwert auch aus den komplexen Zeigern ermittelt werden.

Der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke kann ebenfalls aus $\hat{E}_x(\vec{r})$, $\hat{E}_y(\vec{r})$ und $\hat{E}_z(\vec{r})$ der elektrischen Feldstärke an einem Ort $\vec{r}$ gebildet werden:

$$\hat{E} = \sqrt{\hat{E}_x^2 + \hat{E}_y^2 + \hat{E}_z^2} \quad (2)$$

Zum Vergleich mit einem als Effektivwert angegebenen zulässigen Wert, der auf einer Spitzenwertwirkung beruht, ist der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke durch $\sqrt{2}$ zu dividieren. Abhängig vom zeitlichen Verlauf des Signals (Modulation) kann der sich ergebende Wert über dem tatsächlichen Effektivwert der elektrischen Feldstärke nach 3.2.2 liegen. Sind nur Effektivwertwirkungen zu berücksichtigen, sollte in diesem Fall eine Effektivwertbestimmung nach 3.2.2 durchgeführt werden.

Der nach Gleichung (2) ermittelte Spitzenwert ist eine obere Abschätzung der Werte nach Gleichung (1).

3.2.2 Effektivwert der elektrischen Feldstärke

Größe, die aus den Effektivwerten der einzelnen Komponenten, $E_{x,\text{eff}}(\vec{r})$, $E_{y,\text{eff}}(\vec{r})$ und $E_{z,\text{eff}}(\vec{r})$ der elektrischen Feldstärke gebildet wird. Die Komponenten sind dabei bezüglich dreier orthogonaler Einheitsvektoren zu ermitteln.

Formelzeichen: E_{eff} Einheit: V/m

Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke ist kein Vektor und unabhängig von der Wahl der Einheitsvektoren.

Aus den drei Feldstärken in zueinander senkrechten Raumrichtungen x, y, z ergibt sich der Effektivwert der elektrischen Feldstärke an einem Ort $\vec{r}$ zu:

$$E_{\text{eff}} = \sqrt{E_{x,\text{eff}}^2 + E_{y,\text{eff}}^2 + E_{z,\text{eff}}^2} \quad (3)$$

Abhängig vom zeitlichen Verlauf des Signals (z. B. Modulation) kann der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke um mehr als den Faktor $\sqrt{2}$ über dem Effektivwert liegen. Sind Spitzenwertwirkungen zu berücksichtigen, muß in diesem Fall eine Spitzenwertbestimmung nach 3.2.1 durchgeführt werden.

3.3 Magnetische Feldstärke

3.3.1 Spitzenwert der magnetischen Feldstärke

Der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke stellt den tatsächlich auftretenden maximalen Betrag des magnetischen Feldstärkevektors dar. Er wird aus den Komponenten $H_x(\vec{r}, t)$, $H_y(\vec{r}, t)$ und $H_z(\vec{r}, t)$ der magnetischen Feldstärke gebildet. Die Komponenten sind Augenblickswerte und bezüglich dreier orthogonaler Einheitsvektoren zu ermitteln.

Formelzeichen: $\hat{H}$ Einheit: A/m

Der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke ist kein Vektor und unabhängig von der Wahl der Einheitsvektoren.

Aus den drei Feldstärken in zueinander senkrechten Raumrichtungen x, y, z ergibt sich der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke an einem Ort $\vec{r}$ zu:

$$\hat{H} = \max \left\{ \sqrt{H_x^2(t) + H_y^2(t) + H_z^2(t)} \right\} \quad (4)$$

ANMERKUNG Bei einem quasistationären Feld einer Frequenz kann der Spitzenwert auch aus den komplexen Zeigern ermittelt werden.

Zum Vergleich mit einem als Effektivwert angegebenen zulässigen Wert, der auf einer Spitzenwertwirkung beruht, ist der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke durch $\sqrt{2}$ zu dividieren. Abhängig vom zeitlichen Verlauf des Signals (z. B. Polarisation, Modulation) kann der sich daraus ergebende Wert gegenüber dem tatsächlichen Effektivwert der magnetischen Feldstärke nach 3.3.2 größer oder kleiner sein. Sind nur Effektivwertwirkungen zu berücksichtigen, muß in diesem Fall eine Effektivwertbestimmung nach 3.3.2 durchgeführt werden.

Der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke kann ebenfalls aus den Komponenten $\hat{H}_x(\vec{r})$, $\hat{H}_y(\vec{r})$ und $\hat{H}_z(\vec{r})$ der magnetischen Feldstärke an einem Ort $\vec{r}$ gebildet werden:

$$\hat{H} = \sqrt{\hat{H}_x^2 + \hat{H}_y^2 + \hat{H}_z^2} \quad (5)$$

Zum Vergleich mit einem als Effektivwert angegebenen zulässigen Wert, der auf einer Spitzenwertwirkung beruht, ist der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke durch $\sqrt{2}$ zu dividieren. Abhängig vom zeitlichen Verlauf des Signals (Modulation) kann der sich ergebende Wert über dem tatsächlichen Effektivwert der magnetischen Feldstärke nach 3.3.2 liegen. Sind nur Effektivwertwirkungen zu berücksichtigen, sollte in diesem Fall eine Effektivwertbestimmung nach 3.3.2 durchgeführt werden.

Der nach Gleichung (5) ermittelte Spitzenwert ist eine obere Abschätzung der Werte nach Gleichung (4).

3.3.2 Effektivwert der magnetischen Feldstärke

Größe, die aus den Komponenten $H_{x,\text{eff}}(\vec{r})$, $H_{y,\text{eff}}(\vec{r})$ und $H_{z,\text{eff}}(\vec{r})$ der magnetischen Feldstärke gebildet wird. Die Komponenten sind dabei bezüglich dreier orthogonaler Einheitsvektoren zu ermitteln.

Formelzeichen: H_{eff} Einheit: A/m

Der Effektivwert der magnetischen Feldstärke ist kein Vektor und unabhängig von der Wahl der Einheitsvektoren.

Aus den drei Feldstärken in zueinander senkrechten Raumrichtungen x, y, z ergibt sich die magnetische Feldstärke an einem Ort $\vec{r}$ zu:

$$H_{\text{eff}} = \sqrt{H_{x,\text{eff}}^2 + H_{y,\text{eff}}^2 + H_{z,\text{eff}}^2} \quad (6)$$

Abhängig vom zeitlichen Verlauf des Signals (z. B. Modulation) kann der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke um mehr als den Faktor $\sqrt{2}$ über dem Effektivwert liegen. Sind Spitzenwertwirkungen zu berücksichtigen, muß in diesem Fall eine Spitzenwertbestimmung nach 3.3.1 durchgeführt werden.

3.4 Leistungsflußdichte

Quotient aus der Leistung, die durch ein zur Ausbreitungsrichtung senkrechtes Flächenelement hindurchtritt, und seiner Fläche.

Formelzeichen: S Einheit: W/m²

ANMERKUNG Die Leistungsflußdichte ist der Betrag des zeitgemittelten Poyntingvektors und wird auch als Leistungsdichte bzw. Strahlungsdichte bezeichnet.

3.5 Fernfeld

Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional von der Entfernung abhängen, siehe [1].

Damit gilt auch:

Das Fernfeld ist dadurch gekennzeichnet, daß dort die folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- Die Vektoren der elektrischen und der magnetischen Feldstärke stehen senkrecht aufeinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und haben gegenseitig keine Phasendifferenzen.
- Es gelten die Beziehungen:

$$E = Z_0 \cdot H \quad (7)$$

$$S = E \cdot H \quad (8)$$

Dabei ist:

$E = |\vec{E}|$: Betrag der elektrischen Feldstärke. Einheit: V/m

$H = |\vec{H}|$: Betrag der magnetischen Feldstärke. Einheit: A/m

S : Leistungsflußdichte. Einheit: W/m²

$Z_0 = 120 \pi \Omega = 377 \Omega$: Feldwellenwiderstand des freien Raumes

ANMERKUNG 1 Da in der Praxis mit der Anwesenheit störender Gebilde zu rechnen ist, werden die Fernfeldbedingungen im allgemeinen nur angenähert erreicht. Die Anwendung der angegebenen Gleichungen liefert jedoch in vielen Fällen hinreichend genaue Ergebnisse.

ANMERKUNG 2 Im Fernfeld sind bei linearer Polarisation die Beträge der Feldstärken gleich den Feldstärken nach Gleichung (1) und Gleichung (4).

Es gilt also: $E = \hat{E}$ und $H = \hat{H}$

ANMERKUNG 3 Zur Abschätzung der Nahfeld/Fernfeld-Grenze wird häufig der Näherungsansatz

$$R = 2D^2 / \lambda$$

verwendet.

Dabei ist:

D : größte Aperturweite. Einheit: m

λ : Wellenlänge. Einheit: m

R : Abstand von der Strahlungsquelle. Einheit: m

Diese Näherung gilt streng nur in der Hauptstrahlrichtung von Flächenstrahlern bei Freiraumausbreitung. Für andere spezielle Antennenformen siehe [2].

3.6 Nahfeld

Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld.

ANMERKUNG 1 Das Nahfeld einer Strahlungsquelle ist dadurch gekennzeichnet, daß hier die im Fernfeld bei Freiraumausbreitung gültigen Fernfeldbedingungen nicht erfüllt sind. Die elektrische und magnetische Feldstärke können im Nahfeld eine Phasendifferenz aufweisen. Eine einfache Umrechnung zwischen den Feldgrößen E , H und S ist in der Regel nicht möglich. Das schließt jedoch nicht aus, daß einzelne in 3.5 genannte Bedingungen auch im Nahfeld erfüllt sein können.

ANMERKUNG 2 Bei leitungsgebundenen Feldern der elektrischen Energietechnik handelt es sich um Nahfelder.

3.7 Polarisisation

Richtung des Vektors der elektrischen Feldstärke.

ANMERKUNG Der allgemeine Fall ist die elliptische Polarisisation, siehe [3].

Die Polarisisation ist linear, wenn der Endpunkt des E -Vektors sich auf einer Geraden bewegt. Liegt diese Gerade parallel zur Erdoberfläche, spricht man von horizontaler Polarisisation, steht sie senkrecht darauf, von vertikaler Polarisisation.

3.8 Antennengewinn

Verhältnis der von einer Antenne in Hauptstrahlrichtung im Fernfeld erzeugten Leistungsflußdichte zu der von einer Bezugsantenne in gleicher Entfernung bei gleicher zugeführter Leistung erzeugten maximalen Leistungsflußdichte.

Formelzeichen: G

3.9 Wirksame Strahlungsleistung

Produkt aus der Leistung P , die der Strahlungsquelle unter Berücksichtigung der Modulation zugeführt wird, und dem Antennengewinn G .

Formelzeichen: $P \cdot G$ Einheit: W

3.10 Trägerleistung eines Hochfrequenzgenerators

Mittelwert der Leistung eines Hochfrequenzgenerators, die er seiner Last während einer Periode der Hochfrequenzschwingung ohne Modulation zuführt.

Formelzeichen: P_T Einheit: W

3.11 Mittlere Leistung eines Hochfrequenzgenerators

Mittelwert der Leistung eines Hochfrequenzgenerators, die er seiner Last zuführt, gemittelt über eine im Verhältnis zur Periode der tiefsten Modulationsfrequenz genügend lange Zeit.

Formelzeichen: P_M Einheit: W

3.12 Maximalleistung eines Hochfrequenzgenerators

Mittelwert der Leistung eines Hochfrequenzgenerators, die er seiner Last während einer Periode der Hochfrequenzschwingung bei der höchsten Spitze der Modulationshüllkurve zuführt.

Formelzeichen: P_S Einheit: W

3.13 Maximaler Augenblickswert der Leistung eines Hochfrequenzgenerators

Augenblickswert der Leistung eines Hochfrequenzgenerators, die er seiner Last bei der höchsten Spitze der Modulationshüllkurve zuführt.

Formelzeichen: $\hat{P}$ Einheit: W

3.14 Bemessungsleistung/Nennleistung eines Hochfrequenzgenerators

Vom Hersteller angegebene Leistung eines Hochfrequenzgenerators, die er unter festgelegten Betriebsbedingungen an eine Prüflast abgibt.

Formelzeichen: P_N Einheit: W

ANMERKUNG Abhängig von der Betriebsart (Sendart), für welche der Hochfrequenzgenerator ausgelegt ist, kann die Bemessungsleistung/Nennleistung als mittlere Leistung, Trägerleistung oder Spitzenleistung ausgedrückt werden.

3.15 Empfangsgebilde

Elektrisch leitfähige Gegenstände, in denen durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder Spannungen und Ströme erzeugt werden können.

3.16 Effektive Länge eines Empfangsgebildes zur Bestimmung der Leerlaufspannung

Verhältnis von Leerlaufspannung U_L zwischen zwei Punkten eines Empfangsgebildes zum Betrag der elektrischen Feldstärke E bei Fernfeldbedingungen. Das Empfangsgebilde muß bezüglich Richtcharakteristik und Polarisation im elektromagnetischen Feld optimal orientiert sein, und der Abstand der zwei gewählten Punkte muß klein gegenüber der Wellenlänge des einwirkenden Feldes sein.

Formelzeichen: $l_{w,u}$ Einheit: m
 U_L Einheit: V

$$l_{w,u} = \frac{U_L}{E} \quad (9)$$

ANMERKUNG Diese Definition stimmt mit dem üblicherweise in der Literatur verwendeten Begriff der effektiven Länge überein.

3.17 Effektive Länge eines Empfangsgebildes zur Bestimmung des Kurzschlußstromes

Verhältnis von Kurzschlußstrom I_K bei Verbindung von zwei Punkten eines Empfangsgebildes zum Betrag der magnetischen Feldstärke H bei Fernfeldbedingungen. Das Empfangsgebilde muß bezüglich Richtcharakteristik und Polarisation im elektromagnetischen Feld optimal orientiert sein, und der Abstand der zwei gewählten Punkte muß klein gegenüber der Wellenlänge des einwirkenden Feldes sein.

Formelzeichen: $l_{w,i}$ Einheit: m
 I_K Einheit: A

$$l_{w,i} = \frac{I_K}{H} \quad (10)$$

3.18 Wirkfläche

Zur Ausbreitungsrichtung senkrechte Fläche, durch die bei einer einfallenden ebenen Welle mit der elektromagnetischen Leistungsflußdichte S die maximale Empfangsleistung $P_{\max}$ der Antenne bei Leistungsanpassung hindurchtreten würde.

Formelzeichen: A_w Einheit: m²
 $P_{\max}$ Einheit: W

$$A_w = \frac{P_{\max}}{S} \quad (11)$$

3.19 Spezifische Absorption

Quotient aus einem Energieelement dW und dem das Energieelement absorbierenden Massenelement dm , das in einem Volumenelement dV mit einer gegebenen Dichte ρ enthalten ist.

Formelzeichen: SA Einheit: $\frac{J}{kg}$

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho \cdot dV} \quad (12)$$

ANMERKUNG Die spezifische Absorption kann räumlich über die gesamte Körpermasse (Ganzkörperabsorption) oder über einzelne Körperteilmassen (Teilkörperabsorption) gemittelt werden.

3.20 Spezifische Absorptionsrate

Zeitliche Ableitung des Quotienten aus einem Energieelement dW und dem das Energieelement absorbierenden Massenelement dm , das in einem Volumenelement dV mit einer gegebenen Dichte ρ enthalten ist.

Formelzeichen: SAR Einheit: $\frac{W}{kg}$

$$SAR = \frac{d}{dt} \left[\frac{dW}{dm} \right] = \frac{d}{dt} \left[\frac{dW}{\rho \cdot dV} \right] \quad (13)$$

ANMERKUNG Ferner gilt:

$$SAR = \sigma \cdot \frac{E_{\text{int}}^2}{\rho} = c \frac{dT}{dt} \quad (14)$$

Dabei ist:

E_{int} Betrag der elektrischen Feldstärke im Körpergewebe. Einheit: V/m

σ spezifische elektrische Leitfähigkeit des Körpergewebes. Einheit: S/m

ρ Dichte des Körpergewebes. Einheit: kg/m³

$\frac{dT}{dt}$ zeitliche Ableitung der Temperaturerhöhung im Körpergewebe. Einheit: K/s

c Proportionalitätsfaktor – „spezifische Wärme“. Einheit: J/(kg · K)

Die spezifische Absorptionsrate kann räumlich über die gesamte Körpermasse (Ganzkörperabsorption) und/oder über einzelne Körperteilmassen (Teilkörperabsorption) gemittelt werden.

3.21 Körperstrom

Im Körper fließender Strom, der durch Induktion, Influenz oder Berühren leitfähiger Gegenstände hervorgerufen wird.

3.22 Gesamtkörperableitstrom

Körperstrom, der zwischen einer Person im elektrischen Feld und dem lokalen Bezugspotential (i. allg. Erdpotential) fließt. Bei der Messung muß die Person bis auf den Meßpfad vom lokalen Bezugspotential isoliert sein.

3.23 Berührungsspannung

Leerlaufspannung an der Berührungsstelle eines Empfangsgebildes gegen das lokale Bezugspotential (i. allg. Erdpotential).

3.24 Ladespannung

Die Ladespannung ist die im elektrischen Feld durch Influenz erzeugte Berührungsspannung isolierter Empfangsgebilde oder Personen gegen ein lokales Bezugspotential (i. allg. Erdpotential). Sie ist nur für den Sonderfall einzelner Entladungen über den menschlichen Körper von Bedeutung.

3.25 Schutzkonzept

Gesamtheit der Bedingungen für das Erreichen des Schutzzieles (z. B. Wirkungsweise der Felder, Einwirkungszeiten, Einwirkungsflächen, Inhomogenität, Polarisation, organisatorische Maßnahmen, Einwirkungsort, Frequenzabhängigkeit u. a.).

3.26 Verkoppelte Strahlungsquelle

Quelle elektromagnetischer Felder, bei der die Rückwirkung von Körper und ggf. Körperhilfsmittel auf die Quelle nicht zu vernachlässigen ist.

3.27 Nichtverkoppelte Strahlungsquelle

Quelle elektromagnetischer Felder, bei der die Rückwirkung von Körper und ggf. Körperhilfsmittel auf die Quelle zu vernachlässigen ist.

4 Meßverfahren

4.1 Allgemeine Anforderungen an Meßeinrichtungen

Die verwendeten Meßeinrichtungen müssen die zu messenden Größen im Hinblick auf die festgelegten zulässigen Werte und die ihnen zugrundeliegenden Bedingungen in geeigneter Weise erfassen. Sie müssen einen für den Anwendungsfall geeigneten Meß- und Frequenzbereich haben. Die Meßunsicherheit ist bei der Beurteilung der Einhaltung der zulässigen Werte zu berücksichtigen.

Die Meßergebnisse können z. B. beeinflusst werden durch

- Umwelteinflüsse auf die Meßeinrichtung, z. B. Temperatur,
- Luftfeuchte,
- Meßaufbau,
- Störung des Feldes, z. B. durch die messende Person während der Ablesung des Meßergebnisses,
- ungenügende Störfestigkeit des Gerätes,
- Einkopplung auf Anschlußleitungen,
- nicht zu messende Feldgrößen (E- und H-Feldentkopplung).

4.2 Allgemeine Anforderungen an Meßverfahren

Die Eigenschaften der Meßeinrichtungen hinsichtlich des Meßwertaufnehmers, des Meßprinzips und der Art der Meßwertanzeige müssen hinreichend bekannt sein. Dem Einfluß auf den Meßwert durch das tatsächlich vorhandene Frequenzspektrum (z. B. Modulation, Harmonische, mehrere Frequenzen) muß Rechnung getragen werden. Bei der Effektivwertbildung ist die Integrationszeit dem jeweiligen Schutzkonzept anzupassen.

Unter Berücksichtigung der genannten Gesichtspunkte muß die Meßperson entscheiden, ob selektiv oder breitbandig gemessen werden kann. Weiterhin bestimmen die zu betrachtenden zulässigen Werte, ob Spitzen- oder Effektivwert zu ermitteln ist.

Sind die zulässigen Werte im zu betrachtenden Frequenzbereich gleich, so können die Spitzenwerte bei mehreren Frequenzen (auch bei unterschiedlicher Modulation) nur dann direkt (ohne Korrekturfaktoren) gemessen werden, wenn breitbandige und unabhängig von der Signalform messende Geräte verwendet werden. Eine derartige Messung ist nur dann zulässig, wenn die Meßbandbreite hinreichend groß ist, um alle relevanten Frequenzen zu erfassen. Ferner muß die Beobachtungszeit hinreichend groß gewählt werden, um den maximal vorkommenden Spitzenwert zu erfassen, der sich durch Überlagerung der verschiedenen Größen ergeben kann. Bei der Benutzung von selektiven Meßeinrichtungen müssen die Spitzenwerte für die Einzelfrequenzen zur Ermittlung des Gesamtspitzenwertes linear addiert werden.

Sind die zulässigen Werte im zu betrachtenden Frequenzbereich gleich, so können die Effektivwerte bei mehreren Frequenzen (auch bei unterschiedlicher Modulation) nur dann direkt (ohne Korrekturfaktoren) gemessen werden, wenn breitbandige und unabhängig von der Signalform messende Geräte verwendet werden. Eine derartige Messung ist nur dann zulässig, wenn die Meßbandbreite hinreichend groß ist, um alle relevanten Frequenzen zu erfassen. Ferner muß die Beobachtungszeit hinreichend groß gewählt werden, um den maximal vorkommenden Effektivwert zu erfassen, der sich durch Überlagerung der verschiedenen Größen ergeben kann. Bei der Benutzung von selektiven Meßeinrichtungen müssen die Effektivwerte der Einzelfrequenzen zur Ermittlung des Gesamteffektivwertes geometrisch addiert werden.

Sind die zulässigen Werte im zu betrachtenden Frequenzbereich nicht gleich, so kann mit bewertenden oder mit frequenzselektiven Meßeinrichtungen gemessen werden. Bei Verwendung frequenzselektiver Meßeinrichtungen ist die Bandbreite so klein zu wählen, daß die Änderung des zulässigen Wertes innerhalb dieses Frequenzintervalls unbedeutend ist. Wird im Zeitbereich gemessen (Transienten-Recorder) und das Frequenzspektrum durch Fourier-Transformation berechnet, muß eine genügende Frequenzauflösung sichergestellt sein, um die Bewertung bezüglich der zulässigen Werte zu ermöglichen (nicht anwendbar bei voneinander unabhängigen Frequenzen).

Bei einer großen Anzahl von zu untersuchenden Situationen in elektromagnetischen Feldern besteht kein in mathematisch einfacher Weise erfaßbarer Zusammenhang zwischen der elektrischen und der magnetischen Feldstärke. Umrechnungen von der einen auf die andere Größe nach Gleichung (7) sind hier nicht zulässig. In diesem Fall muß jede Größe getrennt gemessen werden.

Bei leitungsgebundenen Feldern der elektrischen Energietechnik müssen die elektrischen und magnetischen Feldstärken immer getrennt gemessen werden.

4.3 Messung der elektrischen Feldstärke

4.3.1 Meßverfahren

In statischen Feldern kann die elektrische Feldstärke z. B. mit dem Influenz-E-Feldmeßgerät gemessen werden.

Homogene elektrische Felder werden in der Regel mit Hilfe des Verschiebungsstromes zwischen zwei voneinander und gegen Erde isolierten Elektroden gemessen.

Inhomogene niederfrequente elektrische Felder werden durch Messung des Gesamtkörperableitstroms einer Körpernachbildung oder Versuchsperson in dem zu messenden Feld und Multiplikation mit einem Proportionalitätsfaktor bestimmt, der sich aus der Messung des Gesamtkörperableitstroms in einem bekannten homogenen Feld ergibt. In elektromagnetischen Feldern kann eine Komponente der elektrischen Feldstärke in einer Raumrichtung z. B. mit einem Monopol oder Dipol gemessen werden. Die Ausgangsspannung bzw. der Ausgangsstrom solcher Meßwertaufnehmer sind ein Maß für die elektrische Feldstärke.

Nur im Fernfeld einer Strahlungsquelle kann die elektrische Feldstärke auch mit einer Rahmenantenne ermittelt werden. Diese mißt die magnetische Feldstärke in der Richtung senkrecht zur Rahmenebene. Durch Umrechnung oder Benutzung eines entsprechend der Gleichung $E = Z_0 \cdot H$ anzeigenden Gerätes kann die elektrische Feldstärke bestimmt werden.

4.3.2 Anforderungen an Meßwertaufnehmer

Erfordert das jeweils zugrundeliegende Schutzkonzept die Erkennung von Feldinhomogenitäten, so müssen die Abmessungen des Meßwertaufnehmers klein gegenüber den entsprechend dem Schutzkonzept betrachteten räumlichen Ausdehnungen sein.

ANMERKUNG Eine Feldinhomogenität ist daran zu erkennen, daß sich die Anzeige bei Verschiebung dieses Meßwertaufnehmers im Bereich der Abmessungen, die dem Schutzkonzept zugrunde liegen, nennenswert ändert.

4.3.3 Anforderungen an Meßgeräte

Geräte zur Messung der elektrischen Feldstärke müssen den unter 4.1 gestellten allgemeinen Anforderungen genügen. Die Anzeige erfolgt zweckmäßigerweise in V/m.

Feldstärkemessungen zur Beurteilung der Sicherheit in elektromagnetischen Feldern erfolgen vielfach unter besonderen Bedingungen. Es sind im allgemeinen spezielle Meßgeräte zu verwenden. Die Eignung von Meßgeräten für nachrichtentechnische Zwecke ist zu prüfen.

4.4 Messung der magnetischen Feldstärke

4.4.1 Meßverfahren

In statischen Feldern kann die magnetische Feldstärke z. B. mit Hallsonden gemessen werden.

In elektromagnetischen Feldern kann eine Komponente der magnetischen Feldstärke in einer Raumrichtung mit einem Meßwertaufnehmer gemessen werden, der nach dem Induktionsprinzip arbeitet (Induktionsspule, Rahmenantenne). Die induzierte Spannung bzw. der induzierte Strom sind ein Maß für die Komponente der magnetischen Feldstärke senkrecht zur Spulen- oder Rahmenebene.

Im Fernfeld einer Strahlungsquelle kann die magnetische Feldstärke durch Messung der elektrischen Feldstärke nach 4.1 und Umrechnung nach der Beziehung $H = E/Z_0$ ermittelt werden.

Mit Geräten, deren Anzeige in Einheiten der elektrischen Feldstärke erfolgt, die aber einen induktiven Meßwertaufnehmer benutzen (Induktionsspule, Rahmen), kann durch Umrechnung entsprechend der Beziehung $H = E/Z_0$ die magnetische Feldstärke sowohl im Fern- als auch im Nahfeld ermittelt werden.

4.4.2 Anforderungen an Meßwertaufnehmer

Erfordert das jeweils zugrundeliegende Schutzkonzept die Erkennung von Feldinhomogenitäten, so müssen die Abmessungen des Meßwertaufnehmers klein gegenüber den entsprechend dem Schutzkonzept betrachteten räumlichen Ausdehnungen sein.

ANMERKUNG Eine Feldinhomogenität ist daran zu erkennen, daß sich die Anzeige bei Verschiebung dieses Meßwertaufnehmers im Bereich der Abmessungen, die dem Schutzkonzept zugrunde liegen, nennenswert ändert.

4.4.3 Anforderungen an Meßgeräte

Geräte zur Messung der magnetischen Feldstärke müssen den unter 4.1 gestellten allgemeinen Anforderungen genügen. Die Anzeige erfolgt zweckmäßigerweise in A/m oder T.

Feldstärkemessungen zur Beurteilung der Sicherheit in elektromagnetischen Feldern erfolgen vielfach unter besonderen Bedingungen. Es sind im allgemeinen spezielle Meßgeräte zu verwenden. Die Eignung von Meßgeräten für nachrichtentechnische Zwecke ist zu prüfen.

4.5 Messung des Spitzenwertes der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke und des Effektivwertes der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke

4.5.1 Meßverfahren

Eine Messung des Spitzenwertes der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke und des Effektivwertes der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke ist möglich, indem die Meßwerte von drei senkrecht zueinander angeordneten Meßwertaufnehmern (isotrop) nach den Festlegungen unter 3.2.1 bis 3.3.1 zusammengefaßt und angezeigt werden.

Bei der Messung der Feldstärken nach den Gleichungen (2), (3), (5) und (6) mit einem eindimensionalen Meßwertaufnehmer werden die einzelnen Feldstärken in drei senkrecht zueinander orientierten Raumrichtungen separat gemessen und die Feldstärke durch Berechnung entsprechend 3.2 bzw. 3.3 ermittelt.

Bei einer Messung des Spitzenwertes der Feldstärke nach den Gleichungen (1) und (4) mit einem eindimensionalen Meßwertaufnehmer wird diese durch Drehen des Meßwertaufnehmers in verschiedene Raumrichtungen ermittelt. Dabei muß das Meßgerät auf Spitzenwertdetektion und Spitzenwertanzeige eingestellt sein.

ANMERKUNG Bei diesem Meßverfahren müssen die Meßwertaufnehmer klein gegenüber der Wellenlänge sein.

4.5.2 Anforderungen an Meßgeräte

Siehe 4.3.3 bzw. 4.4.3.

4.6 Messung der Leistungsflußdichte

4.6.1 Meßverfahren

Zur Ermittlung der Leistungsflußdichte aus den Feldstärken im Nahfeld ist es notwendig, sowohl die elektrischen als auch die magnetischen Feldstärken in drei zueinander senkrechten Raumrichtungen nach Betrag und Phase zu messen. Aus diesen läßt sich die Leistungsflußdichte errechnen. Die Bestimmung der Leistungsflußdichte im Nah- und Fernfeld ist auch durch thermische Messung von absorbierte Feldenergie möglich.