

	DIN EN 62110 (VDE 0848-110)	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 17.220.20

Einsprüche bis 2009-11-30

Entwurf

**Magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden –
Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung
(IEC 106/177/FDIS:2009);
Deutsche Fassung FprEN 62110:2009**

Magnetic field levels generated by a. c. power systems –
Measurement procedures with regard to public exposure
(IEC 106/177/FDIS:2009);
German version FprEN 62110:2009

Champs électriques et magnétiques générés par les systèmes d'alimentation à courant alternatif –
Procédures de mesure des niveaux d'exposition du public
(CEI 106/177/FDIS:2009);
Version allemande FprEN 62110:2009

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-09-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an **dke@vde.com** in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter **www.dke.de/stellungnahme** abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 51 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 62110:2009 „Magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden – Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 106/177/FDIS:2009 „Magnetic field levels generated by a. c. power systems – Measurement procedures with regard to public exposure“ unverändert in den Entwurf FprEN 62110:2009 übernommen worden.

Das internationale Dokument wurde vom TC 106 „Testing instrumentation and methods for measuring electric and magnetic fields associated with human exposure“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für diesen Norm-Entwurf 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.

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
EN 61000-2-2:2002	IEC 61000-2-2:2002	DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2):2003-02	VDE 0839-2-2
–	IEC 61786:1998	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2):2003-02, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen (IEC 61000-2-2:2002)*; Deutsche Fassung EN 61000-2-2:2002

— **Entwurf** —

E DIN EN 62110 (VDE 0848-110):2009-09

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden – Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe.....	5
4 Messprinzipien für elektrische und magnetische Felder.....	6
4.1 Allgemeines.....	6
4.2 (Mess-)Geräte	6
4.3 Oberschwingungsanteil.....	7
4.4 Aufzeichnung des Messergebnisses	7
4.5 Messbetrachtungen	8
5 Grundlegende Messverfahren für elektrische und magnetische Felder.....	10
5.1 Allgemeines Verfahren.....	10
5.2 Ein-Punkt-Messung.....	10
5.3 Drei-Punkte-Messung	10
5.4 Fünf-Punkte-Messung.....	11
6 Messverfahren für die Ermittlung des höchsten Expositionspegels eines elektrischen Felds	12
6.1 Freileitungen	12
6.2 Unterirdisch verlegte Leitungen	13
6.3 Schaltanlagen und Einrichtungen des Energiesystems (Energieversorgungsnetzes)	13
7 Messverfahren für die Ermittlung des höchsten Expositionspegels eines magnetischen Felds	13
7.1 Freileitungen	13
7.2 Unterirdisch verlegte Leitungen	14
7.3 Schaltanlagen und Einrichtungen des Energiesystems (Energieversorgungsnetzes)	14
Anhang A (informativ) Eigenschaften der von Wechselstrom-Freileitungen erzeugten elektrischen Felder	15
A.1 Allgemeines.....	15
A.2 Allgemeines Berechnungsverfahren für elektrische Feldwerte	15
A.3 Beispiel für elektrische Feldwerte, die durch Übertragungs-Freileitungen verursacht werden	18
A.3.1 Räumliche Profile eines elektrischen Felds	18
A.3.2 Faktoren, die das elektrische Feld beeinflussen.....	19
A.3.3 Vertikale und horizontale Komponenten.....	23

	Seite
A.3.4 Näherungseffekt	24
Anhang B (informativ) Eigenschaften der von Wechselstrom-Freileitungen erzeugten magnetischen Felder	26
B.1 Allgemeines	26
B.2 Allgemeines Berechnungsverfahren für magnetische Feldwerte	26
B.2.1 Resultierendes magnetisches Feld	26
B.2.2 Maximaler und minimaler Effektivwert des magnetischen Felds eines Wechselstroms mit einer einzigen Frequenz	27
B.3 Beispiel für magnetische Feldwerte, die durch Übertragungs-Freileitungen verursacht werden	28
B.3.1 Räumliche Profile eines magnetischen Felds	28
B.3.2 Faktoren, die das magnetische Feld beeinflussen	29
B.3.3 Komponenten in Richtung der großen und der kleinen Halbachse	33
B.4 Beispiel für magnetische Felder, die durch Verteilungs-Freileitungen verursacht werden	35
B.5 Beispiel für magnetische Felder, die durch unterirdisch verlegte Kabel verursacht werden	35
B.6 Beispiel für magnetische Felder, die durch Einrichtungen der Energieverteilung verursacht werden	37
B.7 Beispiel für magnetische Felder, die durch vertikale Kabel verursacht werden	37
Anhang C (informativ) Konzept der <i>Drei-Punkte-Messung</i> im Hinblick auf den <i>mittleren Expositionswert</i>	38
C.1 Konzept der <i>Drei-Punkte-Messung</i>	38
C.2 Berechnung des <i>mittleren Expositionswerts</i>	38
C.3 Vergleich zwischen dem <i>mittleren Expositionswert</i> und dem <i>mittleren Drei-Punkte-Expositionswert</i>	39
C.3.1 Berechnung der magnetischen Feldwerte	39
C.3.2 Unendlich langes gerades Einleiterkabel	39
C.3.3 Drei parallele Kabel mit symmetrischen Strömen	40
C.3.4 Unterirdisch verlegte Kabel mit symmetrischen Strömen	41
C.3.5 Freileitungen mit symmetrischen Strömen	42
Anhang D (informativ) Beispiel für einen Bericht über Feldmessungen	44
Bilder	
Bild 1 – Höhen bei der <i>Drei-Punkte-Messung</i>	11
Bild 2 – Fünf-Punkte-Messung	12
Bild A.1 – Lineare Ladungsverteilung über dem Boden	16
Bild A.2 – Allgemeines <i>n</i> -Phasensystem mit Masse	17
Bild A.3 – Elektrische Feldwerte unter einer Übertragungs-Freileitung	18
Bild A.4 – Elektrische Feldwerte unter einer Übertragungs-Freileitung mit gebündelten Leitern	19
Bild A.5 – Elektrische Feldwerte und Inhomogenität unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss der Höhe der Leiter	20
Bild A.6 – Elektrische Feldwerte und Inhomogenität unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss der Höhe der Leiter	21

	Seite
Bild A.7 – Elektrische Feldwerte unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss des Abstands zwischen den Leitern	22
Bild A.8 – Elektrische Feldwerte und Inhomogenität unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss des Abstands zwischen den Leitern.....	23
Bild A.9 – Vertikale und horizontale Komponenten der elektrischen Feldwerte unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung	23
Bild A.10 – Vertikale und horizontale Komponenten der elektrischen Feldwerte unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung	24
Bild A.11 – Kontur des elektrischen Felds einer 25-kV-Freileitung.....	24
Bild A.12 – Elektrisches Feldprofil entlang der Wand eines Gebäudes in einer Höhe von 1 m über dem Boden.....	25
Bild B.1 – Magnetische Feldwerte unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung	28
Bild B.2 – Magnetische Feldwerte unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung	28
Bild B.3 – Magnetische Feldwerte und Inhomogenität unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss der Höhe der Leiter	30
Bild B.4 – Magnetische Feldwerte und Inhomogenität unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss der Höhe der Leiter	31
Bild B.5 – Magnetische Feldwerte unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss des Abstands zwischen den Leitern	32
Bild B.6 – Magnetische Feldwerte und Inhomogenität unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung – Einfluss des Abstands zwischen den Leitern.....	33
Bild B.7 – (Effektiv-)Werte der Komponenten in Richtung der großen und der kleinen Halbachse der magnetischen Feldwerte unter einer 77-kV-Übertragungs-Freileitung.....	34
Bild B.8 – (Effektiv-)Werte der Komponenten in Richtung der großen und der kleinen Halbachse der magnetischen Feldwerte unter einer 500-kV-Übertragungs-Freileitung.....	34
Bild B.9 – Magnetische Feldwerte und Inhomogenität unter einer Verteilungs-Freileitung (6 600 V bzw. 100 V)	35
Bild B.10 – Magnetische Feldwerte und Inhomogenität oberhalb von unterirdisch verlegten Kabeln – Einfluss der Verlegungstiefe	36
Bild B.11 – Magnetische Feldwerte und Inhomogenität oberhalb von unterirdisch verlegten Kabeln – Einfluss des Abstands zwischen den Leitern.....	36
Bild B.12 – Magnetische Feldmesswerte und Inhomogenität um einen 6 600-V-Transformator, der auf einer Auflage angebracht ist	37
Bild B.13 – Magnetische Feldmesswerte und Inhomogenität um vertikale 6 600-V-Kabel	37
Bild C.1 – Ein kugelförmiges Modell des menschlichen Körpers.....	39
Bild C.2 – Das Modell in einem magnetischen Feld, das durch ein gerades Kabel erzeugt wird.....	39
Bild C.3 – Magnetische Feldwerte, die durch ein gerades Kabel erzeugt werden	40
Bild C.4 – Das Modell in einem magnetischen Feld, das durch drei parallele Kabel erzeugt wird.....	40
Bild C.5 – Magnetische Feldwerte, die durch drei symmetrische parallele Kabel erzeugt werden	41
Bild C.6 – Das Modell in einem magnetischen Feld, das durch unterirdisch verlegte Kabel erzeugt wird.....	42
Bild C.7 – Magnetische Feldwerte, die durch unterirdisch verlegte Kabel erzeugt werden.....	42
Bild C.8 – Das Modell in einem magnetischen Feld, das durch eine Freileitung erzeugt wird	43
Bild C.9 – Magnetische Feldwerte, die durch symmetrische Freileitungen erzeugt werden	43

Einleitung

Sämtliche Populationen auf der Welt sind elektrischen und magnetischen Feldern ausgesetzt, und mit der Entwicklung von Industrie und Technik steigen die damit verbundenen Feldstärken weiter an. Manche Staaten besitzen Regelungen für die Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber solchen Feldern. Daher werden allgemein verwendbare Messverfahren zur adäquaten Ermittlung der Werte der Exposition von Personen gegenüber solchen Feldern nicht nur von Fachleuten der nationalen Behörden und der elektrischen Energieversorgungsunternehmen, sondern auch von der Allgemeinbevölkerung gefordert.

Diese Norm gilt für die Messung von Feldern, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen in Bereichen, zu denen die Allgemeinbevölkerung Zugang hat, erzeugt werden. Sie legt ein allgemein verwendbares Messverfahren zur Ermittlung der Werte der Exposition von Personen aus der Allgemeinbevölkerung gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern fest.

Die erzielten Werte werden dazu verwendet zu bestimmen, ob die Felder mit Expositionsgrenzwerten übereinstimmen, indem sie mit Feldstärke-Grenzwerten für die Exposition der Allgemeinbevölkerung, wie z. B. den Referenzwerten der ICNIRP-Richtlinien [1]¹⁾ (ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), den MPE-Werten (MPE: maximal zulässige Exposition) von IEEE [2] (IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers) oder den Werten aus nationalen Regelungen, verglichen werden. Wenn die erhaltenen Werte höher als die Referenz- oder die MPE-Werte sind, bedeutet dies noch nicht notwendigerweise, dass die Basisgrenzwerte ebenfalls überschritten sind. In diesem Fall müssen andere Verfahren verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Basisgrenzwerte nicht überschritten sind.

Die Werte, die durch Verwendung der in dieser Norm festgelegten Verfahren erhalten werden, gelten für die Lastbedingungen zum Zeitpunkt der Durchführung der Messung. Um die Übereinstimmung mit Expositionsrichtlinien oder Regelungen zu prüfen, kann es daher im Fall von Magnetfeldern erforderlich sein, dass diese Werte extrapoliert werden müssen, um die maximale Last der Leiter zu berücksichtigen.

Die mit dem Betrieb und/oder der Wartung von Energiesystemen (Energieversorgungsnetzen) verbundene berufliche Exposition (von Arbeitnehmern) fällt nicht in den Anwendungsbereich dieser Norm. Solche Expositionen können auftreten, wenn innerhalb einer Verteilungs- oder Übertragungs-Schaltanlage, eines Kraftwerks, in einem Kanalschacht bzw. Einstiegloch oder einem Tunnel für unterirdisch verlegte Leitungen oder an einem Freileitungsmast oder -stab gearbeitet wird.

¹⁾ Ziffern in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Verfahren zur Messung der Werte von elektrischen und magnetischen Feldern, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden, fest, um die Werte der Exposition von Personen gegenüber solchen Feldern zu ermitteln. Diese Norm gilt nicht für Gleichstrom-Energieübertragungssysteme.

Diese Internationale Norm gilt für die Exposition der Allgemeinbevölkerung in der häuslichen Umgebung und in Bereichen, zu denen die Allgemeinbevölkerung Zugang hat.

Diese Norm legt grundlegende Verfahren für die Messung von Feldern im Hinblick auf die Exposition von Personen fest, um einen Feldwert zu erhalten, der dem über den gesamten menschlichen Körper räumlich gemittelten Wert entspricht.

Diese Norm gilt nicht für die mit dem Betrieb und/oder der Wartung von Energiesystemen (Energieversorgungsnetzen) verbundene berufliche Exposition (von Arbeitnehmern). Solche Expositionen können auftreten, wenn innerhalb einer Verteilungs- oder Übertragungs-Schaltanlage, eines Kraftwerks, in einem Kanalschacht bzw. Einstiegloch oder einem Tunnel für unterirdisch verlegte Leitungen oder an einem Freileitungsmast gearbeitet wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61786, *Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurement*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe und Definitionen. In diesem Dokument werden die international anerkannten SI-Einheiten verwendet.

ANMERKUNG Die Unterscheidung zwischen „magnetischer Flussdichte“ und „magnetischer Feldstärke“ ist nur relevant, wenn Magnetfelder in magnetischen Materialien betrachtet werden. Im Medium Luft ist es gebräuchlich, den Begriff „magnetisches Feld“ als grundlegenden Begriff zu verwenden, um beide Größen zu erfassen.

3.1

Ein-Punkt-Messung

Verfahren zur Messung des Feldwertes in einer festgelegten Höhe, das für homogene Felder verwendet wird

ANMERKUNG Die Bedingungen, unter denen ein Feld als gleichförmig oder nicht gleichförmig angesehen werden können, werden in 5.1 angegeben.

3.2

Drei-Punkte-Messung

Verfahren zur Messung der Feldwerte in drei festgelegten Höhen an einem festen Standort, das für inhomogene Felder verwendet wird

3.3

Fünf-Punkte-Messung

Verfahren zur Messung der Feldwerte in fünf Punkten in einer festgelegten Höhe, das für inhomogene Felder verwendet wird, die durch unterhalb des Bodens oder der Erde befindliche Feldquellen erzeugt werden

3.4

mittlerer Expositionswert

über den gesamten menschlichen Körper gebildeter räumlicher Mittelwert der Felder, denen eine einzelne Person ausgesetzt ist

3.5

mittlerer Drei-Punkte-Expositionswert

arithmetisches Mittel der drei Werte, die aus der Drei-Punkte-Messung erhalten werden oder der drei höchsten Werte, die aus der Fünf-Punkte-Messung erhalten werden

ANMERKUNG Dieser arithmetische Mittelwert wird als Abschätzung des mittleren Expositionswerts an einem festen Standort verwendet.

3.6

maximaler Expositionswert

Höchstwert aus den Ein-Punkt-Messungen oder *mittlere Expositionswerte* über den interessierenden Bereich

3.7

Energiesystem

Energieversorgungsnetz

aus Freileitungen und unterirdisch verlegten Leitungen, Schaltanlagen und anderen Energieverteilungs- und -übertragungseinrichtungen bestehendes System (Netz). Bahnsysteme werden durch eine besondere Norm erfasst und sind daher aus dem Anwendungsbereich dieser Norm ausgenommen.

4 Messprinzipien für elektrische und magnetische Felder

4.1 Allgemeines

Detaillierte grundlegende Informationen und Anforderungen in Bezug auf die Messung von elektrischen und magnetischen Feldern sind in IEC 61786 und anderen technischen Dokumenten, wie z. B. den technischen Broschüren von CIGRE [6] [8] und den IEEE-Richtlinien [7] [9], enthalten.

4.2 (Mess-)Geräte

Geräte zur Messung von elektrischen und magnetischen Feldern müssen die Anforderungen der IEC 61786 oder einer anderen geeigneten nationalen oder internationalen Norm in Bezug auf die Kalibrierung und die Spezifikation (Eigenschaften) einhalten. Diese Geräte sollten unter geeigneten, vom Hersteller empfohlenen Bedingungen, insbesondere im Hinblick auf ihre elektromagnetische Störfestigkeit, die Temperatur und Luftfeuchte, verwendet werden.

Ein Drei-Achsen-Messgerät misst Effektivwerte F_r des resultierenden Felds. Ein Ein-Achsen-Messgerät kann dazu verwendet werden, den Wert F_r durch Messung der drei Komponenten F_x , F_y und F_z mit Hilfe der Gleichung (1) zu erhalten:

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

Dabei ist

F_x , F_y und F_z die Effektivwerte der drei aufeinander senkrecht stehenden Komponenten der elektrischen oder magnetischen Felder.

Wenn das Feld keine Oberschwingungen besitzt, kann F_r auch durch Messung von $F_{\max}$ und $F_{\min}$ mit anschließender Verwendung der Gleichung (2) erhalten werden:

$$F_r = \sqrt{F_{\max}^2 + F_{\min}^2} \quad (2)$$

Dabei ist

$F_{\max}$ der höchste Effektivwert der großen Halbachse der Feldellipse;

$F_{\min}$ der kleinste Effektivwert der kleinen Halbachse der Feldellipse.

4.3 Oberschwingungsanteil

Oberschwingungen werden im Allgemeinen durch nichtlineare Geräte und Einrichtungen verursacht. Sie können in Übertragungs- und Verteilungsleitungen auftreten. Im Allgemeinen ist der Gesamtverzerrungsfaktor bei Wechselstrom-Energieverteilungssystemen (siehe [3] [4]) ausreichend hoch, dass die Exposition nicht wesentlich beeinflusst wird, und somit ist es gewöhnlich nicht erforderlich, den Oberschwingungsanteil zu beziffern. Wechselstrom-Übertragungssysteme besitzen niedrigere Oberschwingungsanteile.

Wenn bedeutsame Anzeichen vorhanden sind, dass der Oberschwingungsanteil von Feldern nicht außer Acht gelassen werden kann, sollten vorhandene Verfahren zur Beurteilung des Oberschwingungsanteils des Felds verwendet werden, wobei die Messung nach IEC 61786 erfolgen sollte. Die Beurteilung der Felder unter Berücksichtigung der Oberschwingungsfrequenzen sollte entsprechend dem Verfahren, das in der anzuwendenden Sicherheitsnorm (z. B. [5]) festgelegt ist, erfolgen.

4.4 Aufzeichnung des Messergebnisses

Folgende Informationen sollten in den Messbericht aufgenommen werden:

- Datum, Zeitpunkt und Wetterbedingungen (z. B. sonnig, Regen, Schnee und Windbedingungen), zu dem/unter denen die Messung durchgeführt wurde;
- Temperatur und Luftfeuchte (bei Messungen von elektrischen Feldern);
- Art (Freileitung, Kabel, Schaltanlage usw.) und Nennspannung des Energiesystems, Konfiguration und Phasenarrangement der Freileitungen und/oder unterirdisch verlegten Kabel, die die gemessenen Felder erzeugten, falls vorhanden bzw. verfügbar;
- Informationen über die (Mess-)Geräte ((Mess-)Gerätehersteller, Modell, Sondengröße und -geometrie, Art der Sonde oder des Messgeräts (Freikörper-Messgerät, Bezugsmasse-Messgerät, „Förster-Sonde“, Spulensonde, Hallsonde), magnetischer Bereich, Durchlass-Bandbreite, letztes Kalibrierdatum, falls vorhanden bzw. verfügbar;
- Abschätzung der Unsicherheit der Messung.

ANMERKUNG 1 Die Messunsicherheit kann mit Hilfe eines z. B. durch IEC 61786 vorgeschlagenen Verfahrens abgeschätzt werden.

- Person oder Unternehmen, die/das die Messung durchgeführt hat;
- Höhe(n) über der Erde oder dem Boden, in der/denen die Messung durchgeführt wurde;
- Ort der Messung in Bezug auf das interessierende Energiesystem;
- Ort der Messung in dem Raum, wenn die Messung in einem Gebäude durchgeführt wurde;
- gemessene (elektrische oder magnetische) Feldwerte;
- ein eindeutiger Hinweis, welche Feldgröße festgehalten wurde, z. B. resultierendes Feld, Effektivwerte der drei aufeinander senkrecht stehenden Komponenten des Felds oder der höchste oder der kleinste Effektivwert der großen bzw. der kleinen Halbachse des Felds;
- Art, räumliche Position und Betriebsbedingungen von anderen Feldquellen in der Nähe des Messpunkts;
- Skizze und/oder Fotografie des Messorts mit der Position der Messung und anderen Feldquellen;
- Art, Materialsorte, Abmessungen und räumliche Position von dauerhaften und entfernbaren Gegenständen, die magnetische Materialien oder nicht magnetische Leiter enthalten, für die Magnetfeldmessung;
- Werte des Stromflusses zum Zeitpunkt, wenn die Magnetfeldmessung durchgeführt wurde, falls diese erhalten werden können und relevant sind.

ANMERKUNG 2 Es kann Fälle geben, in denen es schwierig sein wird, diese Lastwerte zu erhalten. Ferner kann in Niederspannungs-Energieversorgungssystemen der Netzstrom der wesentlichere Parameter sein.

ANMERKUNG 3 Eine Möglichkeit zur Gewinnung einer Übersicht über die Schwankung der Last ist, ein zweites Magnetfeldmessgerät an einer festen Position zu verwenden.

- Oberschwingungsanteile, falls von Bedeutung;

Die vorstehende Information ist von Bedeutung, wenn die Messergebnisse mit berechneten Werten und/oder anderen Messergebnissen verglichen werden.

Ein Beispiel für einen Messbericht ist in Anhang D enthalten.

4.5 Messbetrachtungen

4.5.1 Ausrichtung des Felds

4.5.1.1 Elektrisches Feld

Geräte zur Messung von elektrischen Feldern sind entweder Ein-Achsen- oder Drei-Achsen-Messgeräte. Letztere stellen die bevorzugte Möglichkeit dar.

Elektrische Felder in der Nähe von leitfähigen Oberflächen stehen senkrecht auf dieser Oberfläche. Daher kann die horizontale Komponente des elektrischen Felds, insbesondere wenn es durch Freileitungen erzeugt wird, in der Nähe der Bodenoberfläche vernachlässigt werden. Daher reicht in der Nähe des Bodens eine Ein-Achsen-Messung (vertikale Komponente) aus. Einige Beispiele von berechneten elektrischen Feldwerten in einer Höhe von 1,0 m über dem Boden unter einer Freileitung werden in A.3.3 gezeigt. Diese Beispiele zeigen, dass die vertikale Komponente in 1,0 m über dem Boden dem resultierenden Feld ähnelt (siehe Bilder A.9 und A.10).

Besondere Aufmerksamkeit muss dem Vorhandensein von leitfähigen Oberflächen gewidmet werden (siehe 4.5.2.1) oder wenn der Abstand zwischen Leiter und Boden klein ist.

4.5.1.2 Magnetisches Feld

Messungen von magnetischen Feldern sollten mit Drei-Achsen-Messgeräten durchgeführt werden, und es sollte das resultierende Feld gemessen werden, es sei denn, es gibt einen besonderen Grund für die Verwendung von Ein-Achsen-Messgeräten. Begründungen für die Verwendung von Ein-Achsen-Messgeräten schließen den Wunsch ein, die Richtung des Feldes und den höchsten Effektivwert der großen Halbachse der Feldellipse zu kennen oder die Ausrichtung und die Kurvenform der magnetischen Feldellipse zu untersuchen sowie Fälle, in denen die Richtung eines linear polarisierten Feldes bereits bekannt ist. Jedoch werden diese Fälle nicht vom Anwendungsbereich dieser Norm erfasst.

Wenn ein geeignetes Drei-Achsen-Messgerät nicht verfügbar ist, darf ein Ein-Achsen-Messgerät für die Bestimmung des resultierenden Felds mit Hilfe von Gleichung (1) oder Gleichung (2) verwendet werden, vorausgesetzt, dass der Feldpegel während der Zeit, die zur Durchführung der Messungen benötigt wird, stabil ist. In diesem Fall ist es für den Messvorgang zweckmäßig, eine Halterung aus nicht leitendem Material für die Ausrichtung der Sonde in drei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen zu verwenden.

ANMERKUNG Drei-Achsen-Messgeräte messen die drei Komponenten häufig einzeln (der Reihe nach); dies sollte berücksichtigt werden, wenn das Feld sich ändert.

Im Allgemeinen ist der Effektivwert der kleinen Halbachse der Feldellipse unter Übertragungsleitungen beträchtlich kleiner als derjenige der großen Halbachse. In solchen Fällen können Ein-Achsen-Messgeräte verwendet werden (siehe B.3.3).

4.5.2 Messorte

4.5.2.1 Elektrisches Feld

Für Messungen von elektrischen Feldwerten, die das ungestörte Feld an einem gegebenen Ort repräsentieren, sollte der Bereich, in dem gemessen wird, soweit wie möglich frei sein von anderen Freileitungen, Masten, Bäumen, Zäunen, hohem Gras oder anderen Unregelmäßigkeiten. Ferner sollte der Ort vorzugsweise relativ flach sein. Es sollte beachtet werden, dass der Einfluss der Vegetation auf den elektrischen Feldpegel eine Rolle spielen kann. Im Allgemeinen tritt eine Feldverstärkung oberhalb einzelner Mitglieder der Vegetation und eine Felddämpfung seitlich in der Nähe auf. Störungen des Felds können ausgesprochen vom Wassergehalt in der Vegetation abhängen.

Sämtliche beweglichen Gegenstände sollten entfernt werden, falls dies möglich ist. Wenn dies nicht möglich ist, sollte der Abstand zwischen der Sonde und dem Gegenstand größer sein als das Dreifache der Höhe des Gegenstands (wenn der Gegenstand nicht dauerhaft ist) oder 1,0 m (wenn der Gegenstand dauerhaft ist) betragen.

Wenn die vorstehenden Empfehlungen nicht eingehalten werden können, sollte dies im Messbericht ausdrücklich und eindeutig festgehalten werden.

4.5.2.2 Magnetisches Feld

Gegenstände, die nicht dauerhaft sind und magnetische Materialien enthalten, sowie nicht magnetische Leiter sollten einen Abstand von mindestens dem Dreifachen der größten Abmessung des Gegenstands zum Messpunkt besitzen, damit der Wert des ungestörten Felds gemessen werden kann. Der Abstand zwischen der Sonde und Dauermagnet-Objekten sollte nicht kleiner als 1,0 m sein, damit das umgebende ungestörte Feld genau gemessen werden kann [7].

Wenn die vorstehenden Empfehlungen nicht eingehalten werden können, sollte dies im Messbericht ausdrücklich und eindeutig festgehalten werden.

4.5.2.3 Störwirkungen der durchführenden Person bei der Messung von elektrischen Feldern

Zur Verringerung der Störung eines gemessenen elektrischen Felds sollte der ungestörte Feld an einem gegebenen Ort repräsentieren, sollte der Abstand zwischen dem elektrischen Feldmessgerät und der die Messung durchführenden Person mindestens 1,5 m betragen und ein Abstand von 3 m ist empfehlenswert [6]. Dies kann durch Verwendung eines Lichtwellenleiters zwischen dem Monitor und der Sonde erreicht werden, wobei Letztere auf einer nicht leitenden Unterlage angeordnet ist.

4.5.2.4 Einflüsse von anderen Quellen bei der Messung von magnetischen Feldern

Andere in der Nähe des Messpunkts vorhandene Quellen magnetischer Felder als Energiesysteme sollten abgeschaltet oder entfernt werden, falls dies möglich ist, um ihren Einfluss auf das Messergebnis zu minimieren. Wenn das Abschalten oder Entfernen dieser Quellen schwierig ist, sollten relevante Informationen über sie, wie z. B. über die Art der Quelle, ihren Ort bezogen auf den Messpunkt usw., festgehalten werden.

4.5.2.5 Luftfeuchte-Bedingung bei der Messung von elektrischen Feldern

Wegen der Kondensationswirkung bei der Sonde und der Unterlage können (Messungen von) elektrische(n) Felder(n) gestört sein, wenn die relative Luftfeuchte höher als 70 % ist. Da die Wirkung der Luftfeuchte vom Feldmessgerät abhängt, sollte die Fähigkeit des Feldmessgeräts, unter den vorstehenden Bedingungen korrekt zu arbeiten, vor der Messung geprüft werden.

5 Grundlegende Messverfahren für elektrische und magnetische Felder

5.1 Allgemeines Verfahren

An dieser Stelle werden verschiedene Verfahren festgelegt, die Ein-Punkt, Drei-Punkte- oder Fünf-Punkte-Messungen nutzen. Wenn sämtliche erhaltenen Werte unterhalb des Referenzwerts oder des MPE liegen, ist kein weiteres Vorgehen erforderlich, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen zu zeigen.

Wenn Feldwerte unter Freileitungen gemessen werden, wird das Feld in der Nähe des Bodens als gleichförmig angesehen (siehe die Begründung hierfür in B.3.2.1); daher reichen Ein-Punkt-Messungen aus. Andere Situationen, wie z. B. öffentliche Bereiche in der Nähe zu unterirdisch verlegten Kabeln, Schaltanlagen im Inneren von Gebäuden usw., werden als Situationen mit inhomogenen Feldern angesehen und Drei- oder Fünf-Punkte-Messungen müssen durchgeführt werden, je nachdem, welche geeignet ist.

5.2 Ein-Punkt-Messung

Wenn das Feld als gleichförmig angesehen wird, sollte der Wert des elektrischen oder magnetischen Felds im interessierenden Punkt in einer Höhe von 1,0 m über der Erdoberfläche oder dem Boden des Gebäudes (bei Messungen in Gebäuden) gemessen werden. Der so gemessene Wert wird als *mittlerer Expositionspegel* angesehen (siehe Anhang A und Anhang B).

Falls erforderlich, dürfen andere Höhen verwendet werden; in diesem Fall sollte die tatsächlich verwendete Messhöhe im Messbericht ausdrücklich festgehalten werden.

5.3 Drei-Punkte-Messung

Wenn das Feld als inhomogen angesehen wird, sollte der Wert des elektrischen oder magnetischen Felds im interessierenden Punkt in drei Höhen – 0,5 m, 1,0 m und 1,5 m – über der Erdoberfläche oder dem Boden des Gebäudes (bei Messungen in Gebäuden) gemessen werden. Messungen neben Energieeinrichtungen in einem Gebäude sollten in einem horizontalen Abstand von 0,2 m von der Oberfläche oder Begrenzung oder einer Wand erfolgen.

In Situationen, in denen die Höhe der Einrichtung kleiner als 1,5 m ist, müssen die Drei-Punkte-Messungen in drei Höhen mit jeweils gleichem Höhenabstand durchgeführt werden, wobei die maximale Höhe gleich der Höhe der Einrichtung ist (siehe Bild 1).

Falls erforderlich, dürfen andere Höhen verwendet werden; in diesem Fall sollten die tatsächlich verwendeten Messhöhen im Messbericht ausdrücklich festgehalten werden.

ANMERKUNG Wenn die Sicherheitsnorm eine räumliche Mittelung nicht zulässt (wie z. B. bei [2]), dann sollte der Höchstwert der drei gemessenen Werte verwendet werden.

Der *mittlere Expositionspegel der drei Punkte* wird als *mittlerer Expositionspegel* angesehen (siehe Anhang C).

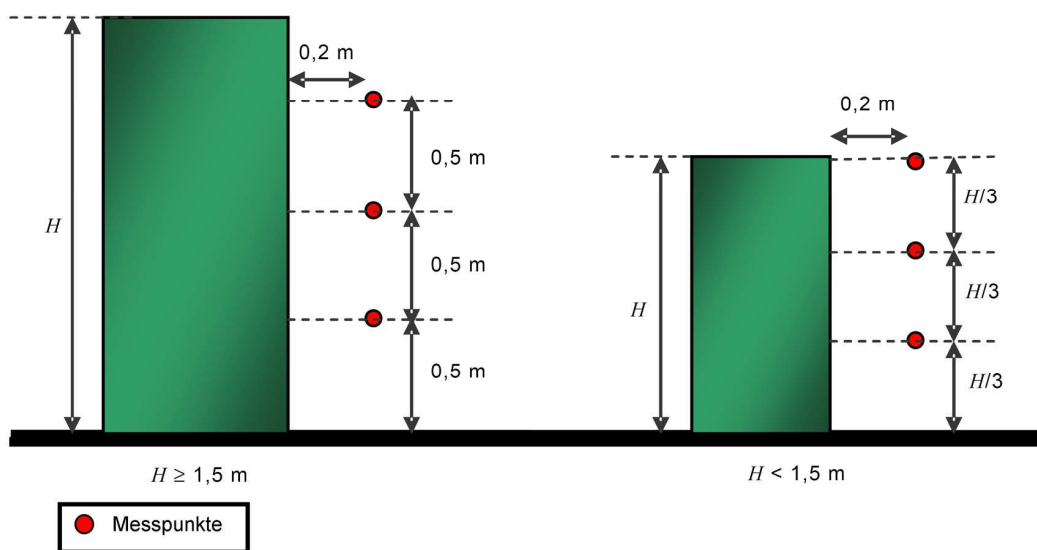


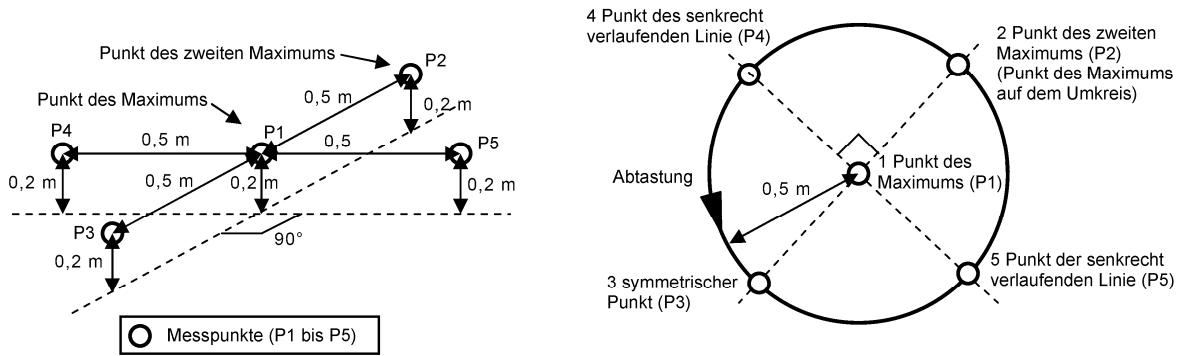
Bild 1 – Höhen bei der *Drei-Punkte-Messung*

5.4 Fünf-Punkte-Messung

Wenn Feldquellen unterhalb der Erdoberfläche oder des Bodens vorhanden sind und die begründete Möglichkeit existiert, dass wahrscheinlich eine Person oberhalb einer solchen Quelle liegen kann, sollte eine Fünf-Punkte-Messung wie folgt durchgeführt werden.

Der Wert des magnetischen Felds sollte in einer Höhe von $0,2 \text{ m}$ über der Erdoberfläche oder dem Boden des Gebäudes (bei Messungen in Gebäuden) abgetastet werden, um den Wert und den Ort des maximalen Felds zu finden. Der Wert und der Ort des zweithöchsten Felds sollten durch Abtastung auf einem Kreis mit dem Ort des maximalen Felds als Mittelpunkt und mit einem Radius von $0,5 \text{ m}$ bestimmt werden. Eine andere Messung sollte in dem Punkt durchgeführt werden, der symmetrisch zum Ort des zweithöchsten Felds ist. Weitere zwei Messungen sollten entlang der Linie durchgeführt werden, die senkrecht auf der Linie steht, die durch die drei vorherigen Messpunkte verläuft. Sie sollten auf jeder Seite des Ortes des Höchstwerts in einem Abstand von jeweils $0,5 \text{ m}$ zum Ort des Höchstwerts durchgeführt werden (siehe Bild 2). Der Mittelwert der drei höchsten der fünf angezeigten Werte muss berechnet werden. Dieser Mittelwert wird als *mittlerer Expositionspegel* angesehen.

ANMERKUNG In der Praxis kann es erforderlich sein, das Verfahren anzupassen, um Mobiliar, das nicht entfernt werden kann, und die Wände des Raums zu berücksichtigen.



Messpunkte	gemessene Werte	angenommene Werte
P1	10 μ T	X
P2	5 μ T	X
P3	1 μ T	
P4	2 μ T	
P5	3 μ T	X



Der mittlere Drei-Punkte-Expositions-wert beträgt:

$$\frac{(P1 + P2 + P5)}{3} = 6 \mu T$$

ANMERKUNG Gestrichelte Linien repräsentieren die Höhe des Erdoberfläche oder des Bodens.

Bild 2 – Fünf-Punkte-Messung

6 Messverfahren für die Ermittlung des höchsten Expositionspegels eines elektrischen Felds

6.1 Freileitungen

Die Werte des elektrischen Felds unter einer Freileitung hängen von vielen Faktoren, darunter dem Abstand zu den Leitern, dem Abstand zwischen den Leitern und die Phasenordnung sowie die Spannung der Leitung, ab (siehe Anhang A).

Der höchste Wert des elektrischen Felds unter einer Freileitung wird an der Stelle gefunden, wo die Leiter aufgrund ihres Durchhangs dem Boden am nächsten kommen. Um diese Stelle zu finden, wo der Wert des Felds am höchsten ist, sollte der Wert des elektrischen Felds zunächst entlang eines parallel zur Freileitung verlaufenden Wegs in einer Höhe von 1,0 m über dem Boden gemessen werden, wenn möglich in geeigneten Abständen (Längsprofil). Anschließend sollte die Messung entlang des senkrecht zur Freileitung verlaufenden Wegs, der durch den Punkt des vorher ermittelten Maximums des Längsprofils verläuft, in einer Höhe von 1,0 m über dem Boden durchgeführt werden, um festzustellen, ob ein anderer Höchstwert auftritt (seitliches Profil).

Wenn im interessierenden Bereich die Stelle, wo der Wert des Feldes den höchsten Wert aufweist, bereits bekannt ist, sollte an dieser Stelle eine *Ein-Punkt-Messung* durchgeführt werden.

Wenn der interessierende Bereich von keinem Leiter überspannt wird, dann ist der Vorgang zur Ermittlung des *höchsten Expositions-werts* ähnlich, aber das Längsprofil sollte parallel zur Leitung verlaufen.

Einige Literaturstellen, wie [6] und [7] enthalten detaillierte Verfahren zur Ermittlung der Profile der elektrischen Feldwerte im Umkreis einer Freileitung.