

	DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847-4-20)	
	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.	
ICS 33.100.01	<div data-bbox="1085 506 1401 640" data-label="Text"> <p>Einsprüche bis 2009-10-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847-4-20):2008-03</p> </div> <div data-bbox="761 629 925 672" data-label="Text"> <p>Entwurf</p> </div> <p>Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-20: Prüf- und Messverfahren – Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern (IEC 77B/582/CDV:2008 + IEC 77B/583/CDV:2008); Deutsche Fassung FprEN 61000-4-20:2008</p> <p>Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides (IEC 77B/582/CDV:2008 + IEC 77B/583/CDV:2008); German version FprEN 61000-4-20:2008</p> <p>Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-20: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'émission et d'immunité en guides d'ondes transverse électromagnétique (TEM) (CEI 77B/582/CDV:2008 + CEI 77B/583/CDV:2008); Version allemande FprEN 61000-4-20:2008</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-08-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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. <p>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 80 Seiten</p> <p style="text-align: center;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p>	

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 61000-4-20:2008 „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-20: Prüf- und Messverfahren – Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern“ (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 77B/582/CDV:2008 + IEC 77B/583/CDV:2008 „Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides“ unverändert in den Entwurf FprEN 61000-4-20:2008 übernommen worden.

Das internationale Dokument wurde von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe des SC 77B „High frequency phenomena“ der IEC und des SC A „Radio interference measurements and statistical methods“ des Internationalen Sonderausschusses für Funkstörungen (CISPR) der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet. Die Federführung liegt beim IEC/SC 77B.

Änderungen gegenüber der vorhergehenden Ausgabe der Norm sind am Rand durch einen senkrechten Strich markiert.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für diesen Norm-Entwurf sind die nationalen Arbeitsgremien UK 767.3 „Hochfrequente Störgrößen“ und UK 767.4 „Geräte und Verfahren zum Messen von elektromagnetischen Aussendungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig. Die Federführung liegt beim UK 767.3.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847-4-20):2008-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Umstrukturierung der Norm; so wurde der bisherige B.2.2 zu 5.2.3 und der bisherige A.6.2 zu A.5.1.2;
- b) In 5.2.2 Erhöhung der Anzahl der Prüfpunkte auf 5 %, für die die sekundäre elektrische Feldkomponente einen Pegel bis zu -2 dB der primären elektrischen Feldkomponente haben dürfen, und Streichung der Festlegung für große TEM-Wellenleiter;
- c) Ergänzung der ANMERKUNG 2 in 5.2.2 und entsprechende Änderung der Nummern der nachfolgenden Anmerkungen;
- d) Ergänzung der ANMERKUNG 1 und ANMERKUNG 2 in 5.2.3 (vorher B.2.2) und entsprechende Änderung der Nummern der nachfolgenden Anmerkungen;
- e) Überarbeitung des Kalibrierverfahrens für die Gleichförmigkeit des Feldes in 5.2.3 (vorher B.2.2);
- f) Streichung des bisherigen 5.1.3 zu Effekten der Beladung in TEM-Wellenleitern;
- g) Streichung von 5.3 zu Betrachtungen der Messunsicherheit;
- h) Ergänzung der Abschnitte 7 bis 9; zugunsten der Aufnahme von 7.2 zu klimatischen Bedingungen wird C.5.1 gestrichen und die nachfolgenden Abschnitte entsprechend umnummeriert;

- i) Streichung von A.4.2.2 zum Eignungsnachweis des TEM-Wellenleiters für große Prüflinge;
- j) Überarbeitung von B.2.2 zur Kalibrierung des gleichförmigen Felds im TEM-Wellenleiter für Prüfungen der Störfestigkeit;
- k) Ergänzung eines neuen Anhangs E zur Kalibrierung von Feldsonden und Änderung der Bezeichnung des bisherigen Anhangs E in Anhangs F;
- l) redaktionelle Überarbeitung der Norm.

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
—	IEC 60050-161:1990 + A1:1997 + A2:1998	a)	—
EN 55014-1:2006 + A1:2009	IEC/CISPR 14-1:2005 + A1:2008	DIN EN 55014-1 (VDE 0875-14-1):2009-xx	VDE 0875-14-1
EN 55014-2:1997 + Corrigendum 1997 + A1:2001 + A2:2008	IEC/CISPR 14-2:1997 + A1:2001 + A2:2008	DIN EN 55014-2 (VDE 0875-14-2):2009-06	VDE 0875-14-2
EN 55016-1-1:2007 + A1:2007 + A2:2008	IEC/CISPR 16-1-1:2006 + A1:2006 + A2:2007	DIN EN 55016-1-1 (VDE 0876-16-1-1):2008-10	VDE 0876-16-1-1
EN 55016-1-4:2007 + A2:2008	IEC/CISPR 16-1-4:2007 + A1:2007	DIN EN 55016-1-4 (VDE 0876-16-1-4):2008-09	VDE 0876-16-1-4
EN 55016-2-3:2006	IEC/CISPR 16-2-3:2006	DIN EN 55016-2-3 (VDE 0877-16-2-3):2007-08	VDE 0877-16-2-3
EN 55016-2-4:2004	IEC/CISPR 16-2-4:2003	DIN EN 55016-2-4 (VDE 0877-16-2-4):2005-09	VDE 0877-16-2-4
—	IEC/CISPR/TR 16-4-1: 2009	—	—
EN 55016-4-2:2004	IEC/CISPR 16-4-2:2003	DIN EN 55016-4-2 (VDE 0876-16-4-2):2005-09	VDE 0876-16-4-2
—	IEC/CISPR 16-4-3:2004 + A1:2006	—	—
—	IEC/CISPR 16-4-4:2007	—	—

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 55020:2007	IEC/CISPR 20:2006	DIN EN 55020 (VDE 0872-20):2007-09	VDE 0872-20
EN 55022:2006 + A1:2007	IEC/CISPR 22:2005 + A1:2005	DIN EN 55022 (VDE 0878-22):2008-05	VDE 0878-22
EN 55025:2008	IEC/CISPR 25:2008	DIN EN 55025 (VDE 0879-2):2009-03	VDE 0879-2
EN 60068-1:1994	IEC 60068-1:1988 + Corrigendum 1988 + A1:1992	DIN EN 60068-1:1995-03	—
—	IEC 60489-1:1983 ^{b)}	DIN IEC 60489-1:1981-07	—
—	IEC 60489-3:1979 (Stand 1983)	DIN IEC 60489-3:1986-11	—
EN 61000-2-9:1996	IEC 61000-2-9:1996	DIN EN 61000-2-9 (VDE 0839-2-9):1996-12	VDE 0839-2-9
—	IEC 61000-2-11:1999	— ^{c)}	—
EN 61000-4-3:2006 + A1:2008	IEC 61000-4-3:2006 + A1:2007	DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847-4-3):2008-06	VDE 0847-4-3
EN 61000-4-23:2000	IEC 61000-4-23:2000	DIN EN 61000-4-23 (VDE 0847-4-23):2001-12	VDE 0847-4-23
—	IEC/TR 61000-4-32:2002	—	—
—	IEC/TR 61000-5-3:1999	—	—
EN 61967-2:2005	IEC 61967-2:2005	DIN EN 61967-2:2006-03	—
—	ISO 11452 (Reihe)	—	—
—	ISO 11452-3:2001	—	—
ENV 13005:1999	ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement:1995	DIN V ENV 13005:1999-06	—
<p>a) Als Bezugsquelle dient: Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe, im Rahmen der Datenbankanwendung DIN-TERM über den Beuth Verlag, Berlin, zu beziehen.</p> <p>b) Zur IEC 60489-1:1983 wurden die Änderung 1:1996 und Änderung 2:1999 veröffentlicht. Die beiden Änderungen wurden nicht in die DIN IEC 60489-1 übernommen.</p> <p>c) Die IEC 61000-2-11 wurde nicht als Europäische Norm übernommen. Der diesbezügliche Schluss-Entwurf prEN 61000-2-11:1999, der dem Schluss-Entwurf der IEC 61000-2-11 entspricht, war nicht ratifiziert worden. Die deutsche Fassung der prEN 61000-2-11:1999 war als E DIN EN 61000-2-11(VDE 0839-2-11):1999-09 veröffentlicht worden. Eine deutsche Norm wurde nicht herausgegeben.</p>			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 55014-1 (VDE 0875-14-1), *Elektromagnetische Verträglichkeit – Anforderungen an Haushaltgeräte, Elektrowerkzeuge und ähnliche Elektrogeräte – Teil 1: Störaussendung*

DIN EN 55014-2 (VDE 0875-14-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit – Anforderungen an Haushaltgeräte, Elektrowerkzeuge und ähnliche Elektrogeräte – Teil 2: Störfestigkeit – Produktfamiliennorm*

DIN EN 55016-1-1 (VDE 0876-16-1-1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messgeräte*

DIN EN 55016-1-4 (VDE 0876-16-1-4), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-4: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Zusatz-/Hilfseinrichtungen – Gestrahlte Störaussendung*

DIN EN 55016-2-3 (VDE 0877-16-2-3), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 2-3: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messung der gestrahlten Störaussendung*

DIN EN 55016-2-4 (VDE 0877-16-2-4), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 2-4: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messungen der Störfestigkeit*

DIN EN 55016-4-2 (VDE 0876-16-4-2), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 4-2: Unsicherheiten, Statistik und Modelle zur Ableitung von Grenzwerten (Störmodell) – Unsicherheit bei EMV-Messungen*

DIN EN 55020 (VDE 0872-20), *Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger und verwandte Geräte der Unterhaltungselektronik – Störfestigkeitseigenschaften – Grenzwerte und Prüfverfahren*

DIN EN 55022 (VDE 0878-22), *Einrichtungen der Informationstechnik – Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren*

DIN EN 55025 (VDE 0879-2), *Fahrzeuge, Boote und von Verbrennungsmotoren angetriebene Geräte – Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren für den Schutz von an Bord befindlichen Empfängern*

DIN EN 60068-1, *Umweltprüfungen – Teil 1: Allgemeines und Leitfaden*

DIN EN 61000-2-9 (VDE 0839-2-9), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2: Umgebungsbedingungen – Hauptabschnitt 9: Beschreibung der HEMP-Umgebung – Störstrahlung – EMV-Grundnorm*

DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847-4-3), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-3: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder*

DIN EN 61000-4-23 (VDE 0847-4-23), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-23: Prüf- und Messverfahren – Prüfverfahren für Geräte zum Schutz gegen HEMP und andere gestrahlte Störgrößen*

— Entwurf —

E DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847-4-20):2009-08

DIN EN 61967-2, *Integrierte Schaltungen – Messung von elektromagnetischen Aussendungen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 1 GHz – Teil 2: Messung der abgestrahlten Aussendungen – TEM-Zellen- und Breitband-TEM-Zellenverfahren*

DIN IEC 60489-1, *Messverfahren für Funkgerät im beweglichen Funkdienst – Teil 1: Allgemeine Begriffe und Messbedingungen*

DIN IEC 60489-3, *Messverfahren für Funkgerät im beweglichen Funkdienst – Empfänger für Aussendungen mit A3E(A3) oder F3E(F3)*

DIN ISO 11452 (Reihe), *Straßenfahrzeuge – Elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie – Prüfverfahren für Komponenten*

DIN ISO 11452-3, *Straßenfahrzeuge – Elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie – Prüfverfahren für Komponenten – Teil 3: Transversal-Elektro-Magnetischer (TEM-) Wellenleiter*

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

E DIN EN 61000-2-11 (VDE 0839-2-11), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-11: Umgebungsbedingungen – Klasseneinteilung von HEMP-Umgebungen*

Deutsche Fassung

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –
Teil 4-20: Prüf- und Messverfahren –
Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern

Inhalt

	Seite
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Abkürzungen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Abkürzungen	11
4 Allgemeines	11
5 Anforderungen an TEM-Wellenleiter	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Allgemeine Anforderungen in Bezug auf die Verwendung von TEM-Wellenleitern	12
5.3 Spezielle Anforderungen an bestimmte Typen von TEM-Wellenleitern	16
6 Überblick über Arten von Prüflingen	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Kleine Prüflinge	17
6.3 Große Prüflinge	17
7 Bezugsbedingungen im Labor	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Klimatische Bedingungen	17
7.3 Elektromagnetische Bedingungen	18
8 Ermittlung der Prüfergebnisse	18
9 Prüfbericht	18
Anhang A (normativ) Messung der Störaussendung in TEM-Wellenleitern	19
A.1 Einleitung	19
A.2 Messgeräte	19
A.3 Korrelation von TEM-Wellenleiterspannungen mit <i>E</i> -Feld-Daten	20
A.3.1 Allgemeine Bemerkungen	20
A.3.2 Korrelationsalgorithmen	20
A.4 Korrekturfaktoren für Aussendungsmessungen	25
A.4.1 Bezugsquellen	25
A.4.2 Anordnung kleiner Prüflinge	25
A.4.3 Berechnung des Korrekturfaktors für kleine Prüflinge	26

	Seite
A.5 Verfahren zur Messung der Störaussendung in TEM-Wellenleitern	28
A.5.1 Prüflingstypen	28
A.5.2 Aufstellung des Prüflings	29
A.6 Prüfbericht.....	29
Anhang B (normativ) Prüfung der Störfestigkeit in TEM-Wellenleitern.....	40
B.1 Einleitung	40
B.2 Prüfgeräte	40
B.2.1 Beschreibung der Prüfeinrichtung	40
B.2.2 Kalibrierung des Feldes	41
B.2.3 Prüfschärfegrade (Prüfpegel)	42
B.2.4 Harmonische.....	42
B.3 Prüfaufbau	42
B.3.1 Aufstellung von Tischgeräten	42
B.3.2 Aufstellung von Standgeräten.....	42
B.3.3 Anordnung der Leitungen	42
B.4 Prüfverfahren	43
B.5 Prüfergebnisse und Prüfbericht	43
Anhang C (normativ) Prüfung mit HEMP-Transienten in TEM-Wellenleitern	46
C.1 Einleitung	46
C.2 Prüfung der Störfestigkeit	46
C.2.1 Einrichtungen für Strahlungsprüfungen	47
C.2.2 Anforderungen an das Spektrum im Frequenzbereich.....	48
C.3 Prüfeinrichtung.....	48
C.3.1 Prüfgeräte	48
C.4 Prüfaufbau	49
C.5 Prüfverfahren	49
C.5.1 Prüfschärfe und Prüfbelastungen	50
C.5.2 Prüfverfahren	50
C.5.3 Durchführung der Prüfung	51
C.5.4 Durchführung der Störfestigkeitsprüfung gegen gestrahlte Störgrößen.....	51
Anhang D (informativ) Charakterisierung von TEM-Wellenleitern	53
D.1 Einleitung	53
D.2 Unterscheidung zwischen Feldwellenimpedanz und Leitungswellenimpedanz	53
D.3 TEM-Welle	54
D.3.1 Freiraum / TEM-Mode.....	54
D.3.2 Wellenleiter	54
D.4 Wellenausbreitung	55
D.4.1 Kugelwellenausbreitung.....	55

	Seite
D.4.2 Ausbreitung ebener Wellen im Freiraum.....	55
D.4.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit	55
D.5 Polarisierung.....	55
D.5.1 Polarisationsvektor	55
D.5.2 Lineare und elliptische Polarisierung	55
D.6 Arten von TEM-Wellenleitern.....	56
D.6.1 Offene TEM-Wellenleiter (Streifenleiter usw.)	56
D.6.2 Geschlossene TEM-Wellenleiter (TEM-Zellen)	57
D.7 Grenzen des Frequenzbereiches	57
Anhang E (informativ) Kalibrierverfahren für E-Feldsonden.....	60
E.1 Einleitung	60
E.2 Anforderungen an die Sondenkalibrierung	60
E.2.1 Allgemeines	60
E.2.2 Frequenzbereich der Kalibrierung	60
E.2.3 Kalibrierungsvolumen	60
E.2.4 Abmessungen der Sonde	61
E.2.5 Linearität des TEM-Wellenleiters	61
E.2.6 Frequenzschritte	62
E.2.7 Feldstärke	63
E.3 Anforderungen an die Kalibriergeräte	63
E.3.1 Festlegungen des TEM-Wellenleiters	63
E.3.2 Oberschwingungen und Nebenaussendungen	64
E.3.3 Sondenhalterung	64
E.3.4 Messung der an das Sendegerät übertragenen Nettoleistung mit Hilfe von bidirektionalen Kopplern	64
E.4 Feldsondenkalibrierung	65
E.4.1 Kalibrierverfahren	65
E.4.2 Kalibrierverfahren in einem Zweitor-TEM-Wellenleiter.....	66
E.4.3 Kalibrierverfahren in einem Eintor-TEM-Wellenleiter	67
E.5 Bezugsschriftstücke.....	70
Anhang F (informativ) Normen, die TEM-Wellenleiter berücksichtigen.....	71
Literaturhinweise.....	72
Bilder	
Bild A.1a – Seitenansicht.....	30
Bild A.1b – Draufsicht	30
Bild A.1 – Verlegen der Zuleitung zur Ecke am Ortho-Winkel und zu der unteren Kante des (nutzbaren) Prüfvolumens	30
Bild A.2a – Die Ortho-Achse und der Ortho-Winkel	31
Bild A.2b – Seitenansicht (siehe 3.1.21 und A.5.2)	31

	Seite
Bild A.2c – Draufsicht (siehe 3.1.21 und A.5.2)	31
Bild A.2 – Prinzip des Ortho-Achsen-Positionierers oder Manipulators.....	31
Bild A.3 – Drei orthogonale Achsenrotationspositionen für Messungen der Störaussendung	32
Bild A.4 – Zwölf Seiten-/Achsen-Ausrichtungen für einen typischen Prüfling.....	33
Bild A.5 – Geometrie eines Freifeldes	34
Bild A.6a – Seitenansicht	35
Bild A.6b – Querschnitt	35
Bild A.6 – Zweitor-TEM-Zelle (symmetrisches Septum)	35
Bild A.7a – Seitenansicht	36
Bild A.7b – Querschnitt	36
Bild A.7 – Eintor-TEM-Zelle (asymmetrisches Septum)	36
Bild A.8a – Seitenansicht (1)	37
Bild A.8b – Seitenansicht (2)	37
Bild A.8c – Querschnitt.....	38
Bild A.8 – Streifenleiter (zwei Platten).....	38
Bild A.9a – Seitenansicht	39
Bild A.9b – Querschnitt	39
Bild A.9 – Streifenleiter (vier Platten, symmetrische Speisung).....	39
Bild B.1a – vertikale Polarisation	44
Bild B.1b – horizontale Polarisation	44
Bild B.1 – Beispiel eines Prüfaufbaus für einen in einer Richtung polarisierenden TEM-Wellenleiter	44
Bild B.2a – Seitenansicht	45
Bild B.2b – Querschnitt	45
Bild B.2 – Kalibrierpunkte des „gleichförmigen Bereichs“ im TEM-Wellenleiter	45
Bild C.1 – Betrag des Spektrums im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 MHz.....	52
Bild D.1 – Einfachster Wellenleiter (keine TEM-Welle!).....	58
Bild D.2 – Wellenleiter mit TEM-Ausbreitung	58
Bild D.3 – Polarisationsvektor	59
Bild D.4 – Übertragungsleitungsmodell für TEM-Ausbreitung	59
Bild D.5 – Ein- und Zweitor-TEM-Wellenleiter	59
Bild E.1 – Beispiel der Messpunkte für die Kalibrierung	61
Bild E.2 – Aufbau für die Validierung der Linearität	62
Bild E.3 – Aufbau zur Messung der an ein Sendegerät übertragenen Nettoleistung	65
Bild E.4 – Beispiel für einen Aufbau zur Kalibrierung von <i>E</i> -Feldsonden	66
Bild E.5 – Aufbau zur Kalibrierung von <i>E</i> -Feldsonden durch ein anderes Verfahren	68
Bild E.6 – Ersatzschaltbild von Antenne und Messgerät	69
Tabellen	
Tabelle 1 – Erweiterte Unsicherheit für normalverteilte Ergebnisse	14

	Seite
Tabelle B.1 – Kalibrierpunkte für den „gleichförmigen Bereich“	41
Tabelle B.2 – Prüfschärfegrade (Prüfpegel)	42
Tabelle C.1 – In dieser Norm für die Prüfung der Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen festgelegten Prüfschärfegrade (Prüfpegel)	52
Tabelle E.1 – Feldstärkepegel für die Kalibrierung.....	63

Einleitung

IEC 61000 wird in mehreren Teilen entsprechend der folgenden Struktur veröffentlicht:

Teil 1: Allgemeines

Allgemeine Betrachtungen (Einleitung, Grundprinzipien)
Definitionen, Begriffe

Teil 2: Umgebung

Umgebungsbeschreibung
Einteilung der Umgebung in Klassen
Verträglichkeitspegel

Teil 3: Grenzwerte

Grenzwerte der Störaussendung
Grenzwerte der Störfestigkeit (soweit sie nicht in den Zuständigkeitsbereich der Produktkomitees fallen)

Teil 4: Prüf- und Messverfahren

Messverfahren
Prüfverfahren

Teil 5: Installationsrichtlinien und Abhilfemaßnahmen

Installationsrichtlinien
Abhilfemaßnahmen und Geräte

Teil 6: Fachgrundnormen

Teil 9: Verschiedenes

Jeder Teil ist darüber hinaus in mehrere Teile unterteilt, die entweder als Internationale Normen, Technische Spezifikationen oder Technische Berichte veröffentlicht werden; einige von ihnen wurden bereits als Hauptabschnitte veröffentlicht. Andere werden veröffentlicht, wobei der Teilnummer ein Bindestrich folgt und eine zweite Nummer die Unterteilung kennzeichnet (z. B. IEC 61000-6-1).

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61000 gilt für die Messung der Störaussendung und Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen oder elektronischen Geräten (Einrichtungen), wobei verschiedene Arten von TEM-Wellenleitern (transversal-elektromagnetisch, TEM) eingesetzt werden. Diese beinhalten offene Strukturen (z. B. Streifenleiter und EMP-Simulatoren) und geschlossene Strukturen (z. B. TEM-Zellen), die weiter in Ein-, Zwei- oder Vieltor-TEM-Wellenleiter unterteilt werden können. Der Frequenzbereich hängt von den speziellen Prüfanforderungen und dem speziellen Typ des TEM-Wellenleiters ab.

Zweck dieser Norm ist zu beschreiben:

- die Eigenschaften von TEM-Wellenleitern einschließlich typischer Frequenzbereiche und Anwendungsgrenzen für die Abmessungen des Prüflings;
- Verfahren zur Eignungsprüfung von TEM-Wellenleitern, die bei EMV-Prüfungen eingesetzt werden;
- den Prüfling (d. h. Prüflingsgehäuse und -Verkabelung);
- Messaufbauten, Messverfahren und Messanforderungen für Messungen der gestrahlten Störgrößen in TEM-Wellenleitern;
- Prüfaufbauten, Prüfverfahren und Prüfanforderungen für Prüfungen der Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen in TEM-Wellenleitern.

ANMERKUNG In dieser Norm werden Prüfverfahren für die Messung der Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung auf die betroffenen Geräte (Einrichtungen) und für die Messung der elektromagnetischen Aussendungen durch die betroffenen Geräte (Einrichtungen) festgelegt. Die Nachbildung und Messung der elektromagnetischen Strahlung ist für eine quantitative Bestimmung von Auswirkungen auf Anlagen (Installationen) der endgültigen Nutzer nicht ausreichend genau. Die festgelegten Prüfverfahren sind auf den hauptsächlichen Zweck der Einführung einer angemessenen Wiederholpräzision von in verschiedenen Prüfeinrichtungen gewonnenen Ergebnisse im Hinblick auf eine qualitative Analyse der Auswirkungen zugeschnitten.

Diese Norm beabsichtigt nicht, die auf irgendwelche besonderen Geräte (Einrichtungen) oder Systeme anzuwendenden Prüfverfahren festzulegen. Der Hauptzweck dieser Norm ist, allen interessierten Produktkomitees der IEC einen allgemeinen grundlegenden Bezug zur Verfügung zu stellen. Für Messungen der gestrahlten Aussendungen sollten die Produktkomitees entsprechende Grenzwerte der Störaussendung und zugehörige Messverfahren nach Rücksprache mit IEC/CISPR auswählen. Für Prüfungen der Störfestigkeit bleiben die Produktkomitees für die geeignete Auswahl von Störfestigkeitsprüfungen und Störfestigkeitsgrenzwerten, die auf die in ihren Anwendungsbereich fallenden Geräte (Einrichtungen) anzuwenden sind, verantwortlich. Diese Norm beschreibt Prüfverfahren, die von den in der IEC 61000-4-3 beschriebenen Prüfverfahren unabhängig sind. Diese anderen sich unterscheidenden Prüfverfahren können verwendet werden, wenn sie von den Produktkomitees nach Rücksprache mit IEC/CISPR und IEC/TC 77 ausgewählt wurden.

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 60050(161), *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 61000-2-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-11: Environment – Classification of HEMP environments. Basic EMC Publication*

IEC 61000-4-23, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-23: Testing and measurement techniques – Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances. Basic EMC Publication*

IEC 61000-4-32, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-32: Testing and measurement techniques – HEMP simulator compendium*

IEC/TR 61000-5-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-3: Installation and mitigation guidelines – HEMP protection concepts. Basic EMC publication*

IEC/CISPR 16-1-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

IEC/CISPR 16-1-4, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances*

IEC/CISPR 16-2-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*

IEC/CISPR 16-2-4, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-4: Methods of measurement of disturbances and immunity – Immunity measurements*

IEC/CISPR 22, *Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe aus IEC 60050(161) (IEV) sowie die nachfolgenden Begriffe.

3.1.1

transversaler elektromagnetischer (TEM-)Mode

Wellenleiter-Mode, bei dem die Komponenten des elektrischen und des magnetischen Feldes in Ausbreitungsrichtung überall viel kleiner sind als die primären Feldkomponenten in jedem zur Ausbreitungsrichtung transversalen Wellenleiterquerschnitt

3.1.2

TEM-Wellenleiter

offenes oder geschlossenes Übertragungsleitungssystem, in dem sich eine Welle im transversalen elektromagnetischen Mode ausbreitet, um ein festgelegtes Feld für Prüfzwecke zu erzeugen

3.1.3

TEM-Zelle

geschlossener TEM-Wellenleiter, oft eine rechteckige koaxiale Übertragungsleitung, in dem sich eine Welle im transversalen elektromagnetischen Mode ausbreitet, um ein festgelegtes Feld für Prüfzwecke zu erzeugen, und mit einem Außenleiter, der den Innenleiter vollständig umschließt

3.1.4

Zweitor-TEM-Wellenleiter

TEM-Wellenleiter mit Ein-/Ausgängen an beiden Enden

3.1.5

Eintor-TEM-Wellenleiter

TEM-Wellenleiter mit einem einzigen Eingangs-/Ausgangsanschluss

ANMERKUNG Solche TEM-Wellenleiter haben typischerweise einen breitbandigen Übertragungsleitungsabschluss am nicht als Anschluss genutzten Ende.

3.1.6

Streifenleiter

abgeschlossenes Übertragungsleitungssystem, bestehend aus zwei oder mehreren parallelen Platten, zwischen denen sich eine Welle im transversalen elektromagnetischen Mode ausbreitet, um ein festgelegtes Feld für Prüfzwecke zu erzeugen

ANMERKUNG Für den Zugang zum Prüfling und die Überwachung des Prüflings sind die Seiten von Streifenleitern gewöhnlich offen.

3.1.7

Innenleiter

Septum

Innenleiter eines koaxialen Übertragungsleitungssystems (auch als Septum bezeichnet), oftmals flach im Falle eines rechteckigen Wellenleiterquerschnitts. Der Innenleiter kann in Bezug auf den Außenleiter symmetrisch oder asymmetrisch angeordnet sein

3.1.8

Außenleiter

Gehäuse

Außenleiter eines koaxialen Übertragungsleitungssystems, oftmals mit einem rechteckigen Querschnitt

3.1.9

Leitungswellenimpedanz

für beliebige Wellenfronten mit konstanter Phase der Betrag des Verhältnisses der Spannung zwischen Innenleiter und Außenleiter zum Strom in beiden Leitern. Die Leitungswellenimpedanz ist vom Betrag der Spannung oder des Stromes unabhängig und hängt nur von der Querschnittsgeometrie des Übertragungsleitungssystems ab. TEM-Wellenleiter sind typischerweise so konstruiert, dass sie eine Leitungswellenimpedanz von 50 Ω haben. TEM-Wellenleiter mit einer Leitungswellenimpedanz von 100 Ω werden oft für Prüfungen mit Transienten verwendet

3.1.10

Absorbermaterial

beliebiges Material, das die Eigenschaft aufweist, elektromagnetische Energie zu absorbieren oder auf andere Weise den Pegel der von diesem Material reflektierten elektromagnetischen Energie zu verringern

3.1.11

breitbandiger Übertragungsleitungsabschluss

breitbandiger Leitungsabschluss

Abschluss, der sich aus einer Last aus diskreten Bauelementen für den Niederfrequenzbereich, um die Leitungswellenimpedanz des TEM-Wellenleiters (typisch 50 Ω) angepasst abzuschließen, und einem Volumen mit Absorbermaterial für den Hochfrequenzbereich zusammensetzt

3.1.12

Korrelationsverfahren

mathematisches Verfahren zur Umrechnung von Spannungsmessungen im TEM-Wellenleiter in Feldstärkepegel auf dem Freifeld (en: OATS), in der (teilausgekleideten) Absorberkammer (en: SAC) oder im Freiraum

3.1.13

Prüflingstyp

Gruppe von Produkten mit hinreichend ähnlichen elektromagnetischen Eigenschaften, um die Prüfung mit derselben Prüfeinrichtung und demselben Prüfablauf zulassen zu können

3.1.14

Zuleitung

Leitung, die den Prüfling mit Geräten außerhalb des TEM-Wellenleiters verbindet oder aus dem nutzbaren Prüfvolumen herausführt

ANMERKUNG Das nutzbare Prüfvolumen ist in 5.2.2 festgelegt.

3.1.15

Verbindungsleitung

Leitung, die Teile (Baugruppen) des Prüflings innerhalb des Prüfvolumens verbindet und die nicht aus dem Prüfvolumen herausführt

3.1.16

Prüfhalterung

nicht reflektierende, nicht leitende Halterung mit niedriger Permittivität und Bezugsposition, die präzise Rotationen des Prüfling ermöglicht, wie sie von einem Korrelationsverfahren oder Prüfablauf gefordert werden

ANMERKUNG Ein typisches Material ist geschäumtes Polystyrol. Hölzerne Halterungen sollten nicht verwendet werden (siehe [7])¹⁾.

3.1.17

Ortho-Winkel

die Diagonale eines Würfels bildet mit der Diagonale des Würfelbodens und mit der Würfelkante, die von zwei Würfelseitenflächen gebildet wird, ein Dreieck. Unter der Annahme, dass die Würfelkanten entlang den kartesischen Koordinatenachsen des TEM-Wellenleiters verlaufen, betragen der Azimut- und der Elevationswinkel der Projektionen der Würfeldiagonalen auf die Würfelseitenflächen 45° und der Ortho-Winkel $54,7^\circ$

ANMERKUNG 1 Bild A.2a zeigt ein Diagramm des Ortho-Winkels.

ANMERKUNG 2 Im Zusammenhang mit einem Prüfling wird diese Würfeldiagonale gewöhnlich als Ortho-Achse bezeichnet.

3.1.18

primäre Feldkomponente

elektrische Feldkomponente in Richtung der beabsichtigten Prüfpolarisation

BEISPIEL Das Septum verläuft in konventionellen Zweitor-TEM-Zellen parallel zum horizontalen Boden und der Feldvektor des primären elektrischen Feldmodes steht senkrecht auf dem transversalen Mittelteil der TEM-Zelle.

3.1.19

sekundäre Feldkomponente

in einem kartesischen Koordinatensystem die beiden elektrischen Feldkomponenten, die senkrecht auf der primären Feldkomponente stehen und senkrecht zueinander sind

3.1.20

resultierendes Feld (resultierende Feldamplitude)

in V/m ausgedrückte Wurzel aus der Summe der quadrierten Werte der primären und der zwei sekundären Feldkomponenten

3.1.21

Manipulator

jede Art von manueller oder automatischer nichtmetallischer Prüfhalterung ähnlich einem Drehtisch, die in der Lage ist, einen an ihr befestigten Prüfling in verschiedenen Positionen zu halten, wie dies von Korrelationsverfahren oder Prüfabläufen gefordert wird. Als Beispiel siehe Bild A.2

ANMERKUNG Bild A.2b zeigt ein Beispiel für einen Entwurf des Manipulators.

3.1.22

hyperrotierter TEM-Wellenleiter

TEM-Wellenleiter, der so gedreht wurde, dass seine Ortho-Achse senkrecht zur Erdoberfläche ist (siehe [6])

ANMERKUNG Zusätzliche Einzelheiten sind in [6] gegeben.

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

3.1.23

von der Gravitationsrichtung abhängig/unabhängig

die Gravitation der Erde besitzt eine feste Richtung. Der Prüfling kann um alle seine drei Achsen gedreht werden. Er wird auf Grund unterschiedlicher Rotationspositionen durch die Gravitation in verschiedenen Richtungen beeinflusst. Er ist von der Gravitationsrichtung unabhängig, wenn er in allen Positionen, d. h. unabhängig von der Richtung des Gravitationsvektors, bezogen auf den Prüfling, ordnungsgemäß funktioniert. Der Prüfling ist von der Gravitationsrichtung abhängig, wenn er in einer oder mehreren Prüfpositionen nicht ordnungsgemäß funktioniert.

3.2 Abkürzungen

BALUN	Balanced-to-unbalanced transformer	Symmetrierglied
DFT	Discrete Fourier Transform	Diskrete Fourier-Transformation
EUT	Equipment under test	Prüfling
FFT	Fast Fourier Transform	Schnelle Fourier-Transformation
GTEM	Gigahertz transverse electromagnetic mode	Gigahertz-transversal-elektromagnetisch
HEMP	High-altitude electromagnetic pulse	In großer Höhe erzeugter elektromagnetischer Puls
HF	Radio frequency	Hochfrequenz; Funkfrequenz
OATS	Open-area test site	Freifeld
PoE	Point of entry	Eintrittspunkt
SAC	Semi-anechoic chamber	Halbabsorber-Kammer
SPD	Surge protective device	Überspannungsschutzgerät
TDR	Time-domain reflectometer	Zeitbereichs-Reflexionsmessgerät
TE	Transverse electric (mode), (H-mode)	transversal-elektrisch(e Mode), (H-Mode)
TEM	Transverse electromagnetic mode	transversal-elektromagnetisch
TM	Transverse magnetic (mode), (E-mode)	transversal-magnetisch(e Mode), (E-Mode)
VSWR	Voltage-standing-wave-ratio	Spannungs-Stehwellenverhältnis

4 Allgemeines

Diese Norm beschreibt grundlegende Eigenschaften und Begrenzungen von TEM-Wellenleitern, namentlich das Prüfvolumen, die Feldhomogenität, Reinheit der TEM-Moden und Frequenzbereiche. Eine Einführung und einige grundlegende Eigenschaften von TEM-Wellenleitern sind im Anhang D gegeben.

Messungen der Störabstrahlung in TEM-Wellenleitern werden gewöhnlich mit der Messung auf dem Freifeld (OATS) und in der Halbabsorber-Kammer (SAC) korreliert, die gültige und reproduzierbare Messergebnisse für Störfeldstärken von Geräten liefern. In diesen Fällen werden so genannte Korrelationsverfahren benutzt, um Messergebnisse aus TEM-Wellenleitern in zum Freifeld äquivalente Daten zu konvertieren, wie in Anhang A beschrieben. Produktkomitees sollten zeigen, dass für typische Produktarten eine gute Korrelation zwischen den Messergebnissen besteht.

TEM-Wellenleiter können auch als Felderzeuger zur Prüfung der Störfestigkeit von Geräten gegenüber elektromagnetischen Feldern benutzt werden. Einzelheiten werden im Anhang B beschrieben. Prüfungen der Störfestigkeit in TEM-Wellenleitern werden in mehreren anderen Normen zitiert, die im Anhang F aufgeführt sind. Felderzeugungseigenschaften können auch für die Messung von Feldstärken benutzt werden – siehe Anhang E und andere in den Literaturhinweisen aufgeführte Publikationen.

Prüfungen in TEM-Wellenleitern sind nicht auf Messungen der Strahlung von komplett montierten Geräten begrenzt; sie können auch zur Prüfung von Bauteilen (Komponenten), integrierten Schaltungen (IC's) und der Schirmdämpfung von Dichtungsmaterialien und Leitungen verwendet werden.

5 Anforderungen an TEM-Wellenleiter

5.1 Allgemeines

TEM-Wellenleiter können für Messungen der Störaussendung und Prüfungen der Störfestigkeit genutzt werden, wenn bestimmte Anforderungen erfüllt werden. Für die Eignungsprüfung eines TEM-Wellenleiters müssen die nachfolgenden Verfahren angewendet werden.

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf allgemeine Eignungskriterien, wie den vorherrschenden TEM-Mode und die Feldhomogenität. Spezielle Eignungsanforderungen für Messungen der Störabstrahlung, Prüfungen der Störfestigkeit und Prüfungen hinsichtlich transients Größen sind in den Anhängen zu finden.

5.2 Allgemeine Anforderungen in Bezug auf die Verwendung von TEM-Wellenleitern

5.2.1 Nachweis des TEM-Modes

TEM-Wellenleiter können Resonanzen oberhalb einer bestimmten Grenzfrequenz („cut-off-Frequenz“) aufweisen, die von den Querschnittsabmessungen und/oder der Wellenleiterlänge abhängen. Für die praktische Anwendung wird angenommen, dass sich das Feld eines TEM-Wellenleiters als TEM-Mode ausbreitet, wenn die nachfolgenden Anforderungen erfüllt werden. Im Allgemeinen muss der Hersteller des TEM-Wellenleiters das TEM-Mode-Verhalten für den gewünschten Frequenzbereich nachweisen und dokumentieren und diese Daten in die Gebrauchsanweisung einfügen. Diese Nachweisprüfung für den TEM-Mode gilt für Wellenleiter, die entweder für Messungen der Störaussendung und/oder für Prüfungen der Störfestigkeit genutzt werden.

ANMERKUNG 1 Das TEM-Mode-Verhalten muss in regelmäßigen Abständen bestätigt werden (siehe 5.2.3).

Unter Verwendung eines Kalibrierverfahrens nach Art der Störfestigkeitsprüfung unter Verwendung eines gleichförmigen Feldes (entsprechend 5.2.3) müssen die Beträge der sekundären (unerwünschten) elektrischen Feldkomponenten für mindestens 75 % der Prüfpunkte in einem festgelegten (senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehenden) Querschnitt des TEM-Wellenleiters mindestens 6 dB kleiner als die primären Komponenten des elektrischen Feldes sein. Für diese 75 % der Prüfpunkte ist für die primäre elektrische Feldkomponente eine Grenzabweichung von -0 dB bis zu $+0 \text{ dB}$ oder für die sekundäre elektrische Feldkomponente ein Pegel bis zu -2 dB der primären elektrischen Feldkomponente für maximal 5 % der Prüffrequenzen (mindestens für eine Frequenz) unter der Voraussetzung zulässig, dass die tatsächlichen Grenzabweichungen und dazugehörigen Frequenzen in den Prüfberichten festgehalten werden. Der Frequenzbereich beträgt 30 MHz bis zur höchsten Frequenz des vorgesehenen Betriebs des TEM-Wellenleiters. Der erste Frequenzschritt darf 1 % der Grundfrequenz und danach 1 % der jeweils vorhergehenden Messfrequenz für den Bereich 80 MHz – 5 % bis 1 000 MHz + 5 % nicht überschreiten. Die Einschwingzeit der Feldsonde stellt eine Einschränkung für die Geschwindigkeit des Frequenzdurchlaufs dar. Diese Nachweisprüfung für den TEM-Mode gilt für TEM-Wellenleiter sowohl für Prüfungen der Störfestigkeit als auch für Messungen der Störaussendung. Für weitere Einzelheiten siehe Anhang B.

ANMERKUNG 2 Das TEM-Feld stellt den vorherrschenden Mode dar und die Gütefaktoren sind kleiner als Q , daher wird nicht erwartet, dass die Resonanzen klein sind. Aus diesem Grund ist die Verwendung von logarithmischen Frequenzen für die Nachweisprüfung für den TEM-Mode akzeptabel.

ANMERKUNG 3 Für Prüfungen mit Transienten sollte die Startfrequenz 100 kHz betragen.

ANMERKUNG 4 Das 6-dB-Kriterium aus 5.2.1 spezifiziert den vorherrschenden TEM-Mode und nicht die Gleichförmigkeit des Feldes. Es ist getrennt von den Anforderungen zur Gleichförmigkeit des Feldes nach 5.2.3 zu betrachten und darf nicht mit diesen verwechselt werden. Weitere Informationen zur Gleichförmigkeit des Feldes sind in [17] enthalten.

5.2.2 Prüfvolumen und maximale Prüflingsgröße

Die maximale Größe eines Prüflings hängt von der Größe des „nutzbaren Prüfvolumens“ im TEM-Wellenleiter ab. Das „nutzbare Prüfvolumen“ des TEM-Wellenleiters hängt von der Größe und Geometrie des TEM-Wellenleiters sowie der räumlichen Verteilung des elektromagnetischen Feldes ab.

Das „nutzbare Prüfvolumen“ eines TEM-Wellenleiters (siehe Bilder A.6 bis A.9) hängt von der in 5.2.3 festgelegten „Gleichförmigkeitsebene“ ab. Die Ausbreitungsrichtung des TEM-Modus (typisch: z -Achse) ist senkrecht zu einer Gleichförmigkeitsebene (transversalen Ebene, typisch: x - y -Ebene). In der x - y -Ebene muss der gesamte Querschnitt des nutzbaren Prüfvolumens die in 5.2.3 festgelegten Anforderungen an die Gleichförmigkeitsebene erfüllen. Der Mindestwert des Abstandes h_{EUT} zwischen dem Prüfling und jedem Leiter oder Absorber des Wellenleiters (siehe Bilder A.6 bis A.9) wird durch den Abstand zwischen der Grenze der Gleichförmigkeitsebene (siehe 5.2.3) und dem Leiter bestimmt. In keinem Fall sollte h_{EUT} null sein, um mögliche Änderungen in den Betriebsbedingungen des Prüflings durch die enge Kopplung zwischen Prüfling und leitenden Teilen des Wellenleiters zu vermeiden (empfohlen wird: h_{EUT} sollte größer als $0,05 h$ sein). Entlang der z -Achse (Ausbreitungsrichtung) ist das nutzbare Prüfvolumen auf $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ begrenzt. Die Länge des Prüfvolumens beträgt $L = z_{\max} - z_{\min}$. Die Anforderungen einer Gleichförmigkeitsebene müssen für alle Querschnitte am Ort z mit $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ erfüllt werden. Unter den folgenden Bedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen an den TEM-Mode im Bereich $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ erfüllt sind:

- wenn die Anforderungen an den TEM-Mode an der Position $z_{\max}$ erfüllt sind und die Geometrie des Wellenleiters einem der in den Bildern A.6 bis A.9 dargestellten Typen ähnlich ist und ein konstantes Verhältnis von h zu w (Formtreue) für $0 < z < z_{\max}$ vorhanden ist; oder
- wenn die Anforderungen an den TEM-Mode an den Positionen $z_{\min}$ und $z_{\max}$ erfüllt sind und der Wellenleiterquerschnitt im Bereich $z_{\min} < z < z_{\max}$ konstant ist oder sich konisch verjüngt, wobei die Ableitungen dh/dz und dw/dz glatte Funktionen für $z_{\min} < z < z_{\max}$ sind (keine Knicke oder Stufen in der Leitergeometrie).

Die maximale Größe eines Prüflings hängt von der Größe des „nutzbaren Prüfvolumens“ ab. Der Prüfling darf nicht größer als $0,6 w \times 0,6 L$ sein (siehe Bilder A.6 bis A.9).

ANMERKUNG 1 Die Reihe ISO 11452 empfiehlt eine Prüflingsgröße von $0,33 w \times 0,6 L$ und MIL-STD 462F empfiehlt $0,5 w \times 0,5 L$.

Die maximale nutzbare Prüflingshöhe sollte $0,33 h$ nicht überschreiten, wobei h gleich dem Abstand zwischen Innen- und Außenleiter an der Position des Mittelpunkts des Prüflings im Prüfvolumen ist (z. B. zwischen Septum und Boden in einer TEM-Zelle). Für alle TEM-Wellenleiter gilt, dass der Prüfling in allen Drehpositionen in das nutzbare Prüfvolumen hineinpasst.

ANMERKUNG 2 Die meisten Normen beschränken die Prüflingsgröße auf $0,33 h$. Die meisten Datenblätter von TEM-Zellen-Anbietern begrenzen die Prüflingshöhe auf $0,5 h$. Außer für hochgenaue Kalibrierungen, wie z. B. für Feldsonden und Sensoren, kann die Prüflingshöhe $0,33 h$ überschreiten, sollte aber nicht die Empfehlungen des Herstellers überschreiten. Die maximale nutzbare Prüflingshöhe kann größer als $0,33 h$ sein, wenn der Hersteller Informationen über die Messunsicherheit bei größeren Prüflingen zur Verfügung stellt. Weitere Informationen über Effekte der Beladung in TEM-Wellenleitern sind in [25] enthalten.

5.2.3 Eignungsnachweis für das nutzbare Prüfvolumen

In diesem Abschnitt wird das Konzept des „gleichförmigen Bereichs“ verwendet, der eine hypothetische Ebene darstellt, in der Abweichungen der Höhe des Feldes akzeptierbar klein sind (siehe [15]). Die Abmessungen des TEM-Wellenleiters bestimmen die Größe dieses „gleichförmigen Bereichs“, es sei denn, der Prüfling kann durch eine kleinere Oberfläche vollständig bestrahlt werden. Die maximale Größe eines Prüflings hängt von der Größe des „nutzbaren Prüfvolumens“ ab (siehe 5.2.2).

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen sind die Form und die Lage des gleichförmigen Bereichs nicht festgelegt.

ANMERKUNG 2 Wenn keine andere Definition gegeben ist, sollte der gleichförmigen Bereich eine vertikale Ebene, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Feldes ausgerichtet ist, sein. Der Prüfling muss mit einer Ebene konfrontiert sein.

ANMERKUNG 3 Für die vertikale Ebene wird davon ausgegangen, dass die Ausbreitungsrichtung des TEM-Modes nahezu horizontal (entlang der z -Achse) und eine Ausbreitung einer ebenen Welle gegeben ist. Wenn die Ausbreitung des TEM-Modes in eine andere Richtung erfolgt, mag die Lage des „gleichförmigen Bereichs“ entsprechend angepasst werden.

Der Gebrauch einer Übertragungsleitung vermeidet Störungen, die in Halbabsorberkammern durch Feld-reflexionen am Boden auftreten; folglich können gleichförmige Felder in der Nähe der Innen- und Außenleiter eingerichtet werden (das E -Feld ist nur senkrecht zur Leiteroberfläche orientiert).

Prinzipiell kann der „gleichförmige Bereich“ in einem beliebigen Abstand vom Eingangstor angeordnet werden; die Position hängt von der speziellen Geometrie des Wellenleiters ab. Der „gleichförmige Bereich“ ist nur für den Abstand vom Eingangstor gültig, für den er kalibriert wurde. Um Drehungen des Prüflings zu ermöglichen muss der Mindestabstand des „gleichförmigen Bereichs“ zum Ende des nutzbaren Prüfvolumens $z_{\max}$, wie es in 5.2.2 definiert ist, größer als die größte Gehäuseabmessung des Prüflings sein.

Der „gleichförmige Bereich“ wird im leeren TEM-Wellenleiter über den in 5.2.1 festgelegten Frequenzbereich und mit den in 5.2.1 festgelegten Frequenzschritten unter Verwendung eines unmodulierten Signals kalibriert.

Abhängig von der Größe des „gleichförmigen Bereichs“ wird dieser mit einer Mindestanzahl von fünf Prüfpunkten (vier an den Ecken und einer im Mittelpunkt) kalibriert. Der Abstand zwischen zwei Prüfpunkten muss kleiner als 50 cm sein. Wenn der Grenzwert von 50 cm überschritten wird, muss ein Gitternetz mit gleichen Abständen zwischen jeweils zwei Prüfpunkten verwendet werden. Dies bedeutet, dass neun Punkte verwendet werden sollten.

Die Gleichförmigkeit des Feldes wird in der nachfolgenden Weise definiert.

Die gemessene Feldstärke im Prüfpunkt i ist als E_i gegeben. Der Mittelwert und die Standardabweichung werden für N Prüfpunkte berechnet.

$$\text{Mittelwert : } \bar{E} = \frac{1}{N} \sum_{(N)} E_i \quad (1)$$

$$\text{Standardabweichung : } \sigma_E = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{(N)} (E_i - \bar{E})^2} \quad (2)$$

Im statistischen Sinne stellt $N = 16$ eine sehr kleine Größe dar, aber nichtsdestotrotz kann eine Normalverteilung für die Messungen von E_i angenommen werden. Für die Wahrscheinlichkeit, dass 75 % der Messergebnisse in das Band

$$\bar{E} - K \times \sigma_E \leq E_i \leq \bar{E} + K \times \sigma_E \quad (3)$$

fallen, wird der Faktor K zu 1,15 gewählt.

ANMERKUNG 4 Tabelle 1 zeigt die Werte von K für eine Normalverteilung.

Tabelle 1 – Erweiterte Unsicherheit für normalverteilte Ergebnisse

Faktor K	1	1,15	1,3	1,5	2	3
Wahrscheinlichkeit	68,3 %	75,0 %	80,6 %	86,6 %	95,5 %	99,7 %

Wenn mit dB-Werten gearbeitet wird, ist oft die Wahrscheinlichkeit gefordert, ob der Messwert E_i in das Band entsprechend Gleichung (4) fällt:

$$E_{\text{Grenzwert}} \leq E_i \leq E_{\text{Grenzwert}} + E_{\text{Abstand}} \quad (4)$$

Der Vergleich dieses Bands mit dem nach Gleichung (3) ergibt Gleichung (5):

$$E_{\text{Grenzwert}} \leq E_i \leq E_{\text{Grenzwert}} + 2 K \times \sigma_{\bar{E}} \quad (5)$$

$E_{\text{Grenzwert}}$ wird formal auf den Mittelwert gesetzt. Die Standardabweichung wird für einen gegebenen Abstand und eine gegebene Wahrscheinlichkeit entsprechend Gleichung (6) berechnet:

$$\sigma_{\bar{E}} \leq \frac{\text{Abstand}}{2 K} \quad (6)$$

Für 75 % entsprechend $K = 1,15$ und einem Abstand von 6 dB muss die Standardabweichung $\sigma_{\bar{E}} \leq \frac{6 \text{ dB}}{2 \times 1,15} = 2,61 \text{ dB}$ sein.

Die größte Abmessung der Kalibriersonde sollte kleiner als 10 % des Abstands zwischen dem Innen- und Außenleiter sein. In diesem Fall kann jegliche Störung des Feldes vernachlässigt werden. Weitere Einzelheiten werden in [18] gegeben.

Das Verfahren zur Durchführung der Kalibrierung wird als Methode konstanter eingespeister Vorwärtsleistung bezeichnet und wird wie folgt durchgeführt:

- Ordne die isotrope Feldsonde auf einem der Punkte des Netzes an.
- Lege eine solche Vorwärtsleistung an das Eingangstor des TEM-Wellenleiters an, dass die erzielte Feldstärke der primären Feldkomponente im Bereich des vorgegebenen Grenzwerts $E_{\text{Grenzwert}}$ liegt, wobei der in 5.2.1 festgelegte Frequenzbereich mit den in 5.2.1 festgelegten Frequenzschritten durchlaufen wird. Zeichne sowohl die Ablesewerte für die Vorwärtsleistung als auch die Ablesewerte für die primäre und sekundäre Komponente der Feldstärke auf.
- Miss die primäre und sekundäre Feldstärke bei gleicher Vorwärtsleistung an den verbleibenden Gitterpunkten und zeichne sie auf.
- Berechne die Standardabweichung mit Hilfe von Gleichung (2). Sämtliche Messergebnisse werden in dB(V/m) ausgedrückt.
- Der Betrag der primären Feldkomponente der verbleibenden Punkte muss innerhalb eines Bereichs von 6 dB liegen. Der Pegel der sekundären Feldkomponenten in jedem dieser Messpunkte darf – 6 dB der primären Feldkomponente nicht überschreiten.
- Nimm von den verbleibenden Punkten denjenigen mit der kleinsten primären Feldstärke als Bezugspunkt (dieses stellt sicher, dass die Anforderung $\pm 0_6 \text{ dB}$ erfüllt wird).
- Aus der Kenntnis der Vorwärtsleistung und der Feldstärke kann die für die festgelegte Prüf-Feldstärke erforderliche Vorwärtsleistung berechnet werden:

$$P_{\text{Prüfung}} = \frac{E_{\text{Prüfung}}^2}{E_{\text{Vorwärts}}^2} P_{\text{Vorwärts}} \text{ mit } E \text{ in V/m und } P \text{ in W} \quad (7)$$

Diese muss aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG 5 Zum Beispiel: Wenn an einem gegebenen Punkt 81 W 9 V/m ergeben, dann werden 9 W für 3 V/m benötigt.

Ein gleichwertiges Verfahren ist alternativ, eine konstante elektrische Feldstärke der primären Komponente im Bereich des vorgegebenen $E_{\text{Grenzwert}}$ zu erzeugen und die an das Eingangstor gelieferte Vorwärtsleistung aufzuzeichnen. Die in a), d), e), f) und g) umrissenen Grundsätze müssen beachtet werden. Dieses Verfahren ist als Verfahren der „konstanten Feldstärke“ bekannt.

Die Kalibrierung ist gültig für alle Prüflinge, deren sämtliche Seiten (einschließlich jeglicher Verkabelung) vollständig durch den „gleichförmigen Bereich“ umschlossen werden können. Es ist vorgesehen, dass die volle Kalibrierung des „gleichförmigen Bereichs“ jährlich durchgeführt wird oder wenn Änderungen am Wellenleitergehäuse vorgenommen wurden (gilt für TEM-Zelle oder Streifenleiter innerhalb eines geschirmten Gehäuses).

5.3 Spezielle Anforderungen an bestimmte Typen von TEM-Wellenleitern

5.3.1 Aufbau eines offenen TEM-Wellenleiters

Um Umgebungseinflüsse zu minimieren, sollten offene TEM-Wellenleiter in einem geschirmten Raum aufgestellt werden.

ANMERKUNG 1 Das zulässige Störsignal der Umgebung ist in Anhang A, Anhang B und Anhang C definiert und hängt stark von den Gegebenheiten der Prüfung ab.

Ein minimaler Abstand von einem Plattenabstand h des zwischen dem offenen TEM-Wellenleiter auf der einen Seite und dem Boden, den Wänden und der Decke des geschirmten Raumes auf der anderen Seite wird empfohlen. Zusätzliches Absorbermaterial kann im geschirmten Raum geeignet platziert werden, um Reflexionen zu minimieren. Diese Abstände sind nur zur Orientierung angegeben. Es ist zu beachten, dass es auch möglich ist, einen offenen TEM-Wellenleiter zu konstruieren, bei dem eine Platte aus dem Boden des geschirmten Raumes besteht und die andere ein im Raum installiertes Septum ist.

ANMERKUNG 2 MIL-STD 461F fordert, dass offene TEM-Wellenleiter in einem geschirmten Raum aufgestellt werden. Der erforderliche minimale Abstand zu den Wänden sollte in Relation zur Größe des TEM-Wellenleiters festgelegt werden. MIL-STD 462F RS105 fordert einen Abstand von $2h$ vom nächsten metallischen Boden, einschließlich Decke und Wände des geschirmten Raumes usw., wobei h der maximale vertikale Abstand zwischen den Wellenleiter-Platten ist. IEC/CISPR 20 fordert einen minimalen Abstand von 800 mm von Wänden, Boden und Decke, was $1h$ entspricht.

5.3.2 Alternative Nachweisprüfung des TEM-Modes für einen Zweitor-TEM-Wellenleiter

Als Alternative zu 5.2.1 kann der nutzbare Frequenzbereich eines Zweitor-TEM-Wellenleiters durch das nachfolgende Messverfahren festgestellt werden.

Bevor der Prüfling geprüft wird, müssen die Resonanzen eines Zweitor-TEM-Wellenleiters mit im TEM-Wellenleiter vorhandenem Prüfaufbau und aufgebautem, aber ausgeschaltetem Prüfling bestimmt werden. In diesem Fall muss für die Übertragungsdämpfung des TEM-Wellenleiters für den nutzbaren Frequenzbereich gelten:

$$A_{\text{tloss}} = \left| 10 \times \lg \left(\frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{fwd}}} + \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{fwd}}} \right) \right| \leq 1 \text{ dB} \quad (8)$$

Dabei ist

- A_{tloss} die Übertragungsdämpfung des beladenen TEM-Wellenleiters in dB;
- P_{refl} die am Eingangstor gemessene reflektierte Leistung in W;
- P_{fwd} die am Eingangstor gemessene Vorwärtsleistung in W;
- P_{output} die am zweiten (Ausgangs-)Tor gemessene Ausgangsleistung in W.

ANMERKUNG 1 Die reflektierte, vorwärts eingespeiste und zurückfließende (oder Ausgangs-)Leistung wird bezogen auf die Leitungswellenimpedanz des TEM-Wellenleiters gemessen. Ein Impedanzumformer wird nicht verwendet. Es wird nur direkt „in der Leitung“ gemessen. Gleichung (8) gilt für eine Leitungswellenimpedanz von 50 Ω .

ANMERKUNG 2 Dies ist ein alternatives Nachweisverfahren für einen Zweitor-TEM-Wellenleiter der Art, wie er in der ISO 11452-3 aufgeführt ist. Es beruht auf der Annahme, dass in Resonanz befindlichere höhere Moden Energie aus dem TEM-Mode entnehmen.

6 Überblick über Arten von Prüflingen

6.1 Allgemeines

Ein Prüflingstyp ist eine Gruppe von Produkten mit solch hinreichender Ähnlichkeit der elektromagnetischen Eigenschaften oder mechanischen Abmessungen, dass eine Prüfung mit derselben Prüfeinrichtung und demselben Prüfablauf zulässig ist. Der Prüflingstyp und seine Konfiguration gelten für Prüfungen der Störfestigkeit und Messungen der Störaussendung, um gleiche Anordnungen im Prüfvolumen zu ermöglichen.

6.2 Kleine Prüflinge

Ein Prüfling wird als kleiner Prüfling definiert, wenn die größte Abmessung seines Gehäuses kleiner als eine Wellenlänge bei der höchsten Prüffrequenz ist (z. B. bei 1 GHz $\lambda = 300$ mm) und wenn keine Leitungen mit dem Prüfling verbunden sind. Alle anderen Prüflinge werden als große Prüflinge definiert.

6.3 Große Prüflinge

Ein Prüfling wird als großer Prüfling definiert, wenn er:

- ein kleiner Prüfling mit einer oder mehreren Zuleitungen;
- ein kleiner Prüfling mit einer oder mehreren Verbindungsleitungen;
- ein Prüfling mit oder ohne Leitung(en), bei dem eine Abmessung größer als eine Wellenlänge bei der höchsten Prüffrequenz ist;
- eine Gruppe kleiner, in einem Prüfaufbau mit Verbindungsleitung(en) sowie mit oder ohne Zuleitung(en) angeordneter Prüflinge;

ist.

7 Bezugsbedingungen im Labor

7.1 Allgemeines

Um die Einflüsse von Umgebungsbedingungen auf die Prüfergebnisse zu verringern, müssen die Prüfungen unter den in 7.2 und 7.3 festgelegten klimatischen und elektromagnetischen Bezugsbedingungen durchgeführt werden.

7.2 Klimatische Bedingungen

Wenn durch das für die Fachgrund- oder Produktnorm zuständige Technische Komitee nichts anderes festgelegt ist, müssen die klimatischen Bedingungen im Labor innerhalb jeglicher für den Betrieb des Prüflings und die Prüfeinrichtung durch ihre jeweiligen Hersteller angegebenen Grenzen liegen.

Prüfungen dürfen nicht durchgeführt werden, wenn die relative Luftfeuchte so hoch ist, dass Feuchtigkeitsniederschlag auf dem Prüfling oder der Prüfeinrichtung stattfindet.

ANMERKUNG Wenn ausreichende Anzeichen dafür gesehen werden, dass die Auswirkungen des durch diese Norm erfassten Phänomens durch die klimatischen Bedingungen beeinflusst werden, sollte das für diese Norm zuständige Technische Komitee darauf aufmerksam gemacht werden.

7.3 Elektromagnetische Bedingungen

Die elektromagnetischen Bedingungen im Labor müssen so sein, dass sie den bestimmungsgemäßen Betrieb des Prüflings sicherstellen, um eine Beeinflussung des Prüfergebnisses zu vermeiden.

8 Ermittlung der Prüfergebnisse

Die Prüfung muss auf der Grundlage eines Prüfplans durchgeführt werden, der in den Prüfbericht aufgenommen werden muss. Die Prüfergebnisse und die Anforderungen an die Dokumentation hängen von der Art der durchgeführten Prüfung ab.

9 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss alle für die Wiederholbarkeit der Prüfung notwendigen Informationen enthalten. Insbesondere muss Folgendes festgehalten werden:

- die im Prüfplan festgelegten Einzelheiten;
- Identifizierung des Prüflings und jeglicher zugehöriger Zusatz-/Hilfseinrichtungen, z. B. Markenname, Produkttyp, Seriennummer;
- Identifizierung der Prüfeinrichtung, z. B. Markenname, Produkttyp, Seriennummer;
- jegliche besondere Umgebungsbedingungen, unter denen die Prüfung durchgeführt wurde;
- jegliche besondere Bedingungen, die notwendig sind, um die Durchführung der Prüfung zu ermöglichen;
- vom Hersteller, Auftraggeber oder Käufer festgelegte Betriebsqualität;
- bei Prüfungen der Störfestigkeit die in der Fachgrund-, Produkt- oder Produktfamiliennorm festgelegten Bewertungskriterien für das Betriebsverhalten;
- jegliche Auswirkungen auf den Prüfling, die während oder nach der Anwendung der Prüfstörgröße beobachtet wurden, und die Zeitdauer, in der diese Auswirkungen auftraten;
- bei Prüfungen der Störfestigkeit die Begründung für die Entscheidung, dass die Prüfung bestanden/nicht bestanden wurde (auf der Grundlage der in der Fachgrund-, Produkt- oder Produktfamiliennorm festgelegten oder zwischen dem Hersteller und dem Käufer vereinbarten Bewertungskriterien für das Betriebsverhalten);
- jegliche besondere Gebrauchsbedingungen, z. B. hinsichtlich der Kabellänge und des Kabeltyps, der Schirmung oder Erdung, oder die Betriebsbedingungen des Prüflings, die zum Erreichen der Übereinstimmung mit den Anforderungen erforderlich sind;
- die klimatischen Bedingungen;
- Zeichnung und/oder Bilder (Fotos) des Prüfaufbaus und der Anordnung des Prüflings.