

	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-20: Prüf- und Messverfahren – Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern (IEC 61000-4-20:2003) Deutsche Fassung EN 61000-4-20:2003	<u>DIN</u> EN 61000-4-20
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0847 Teil 4-20
ICS 33.100.20 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides (IEC 61000-4-20:2003); German version EN 61000-4-20:2003 Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-20: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'émission et d'immunité dans les guides d'onde TEM (CEI 61000-4-20:2003); Version allemande EN 61000-4-20:2003 Die Europäische Norm EN 61000-4-20:2003 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 61000-4-20 wurde am 2003-04-01 angenommen. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 767.4 „Geräte und Verfahren zum Messen von elektromagnetischen Aussendungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Das UK 767.3 „Hochfrequente Störgrößen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE wurde in die nationale Behandlung dieses Normprojekts einbezogen. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847 Teil 4-20):2003-06. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC A „Radio interference measurements and statistical methods“ des Internationalen Sonderausschusses für Funkstörungen (CISPR) der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) in Zusammenarbeit mit IEC/SC 77B „High frequency phenomena“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2004 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. Fortsetzung Seite 2 bis 5 und 62 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847 Teil 4-20):2003-10

Folgende Teile der EMV-Grundnorm IEC 61000-4 bzw. EN 61000-4 sind zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm verabschiedet:

- Teil 4-1:** Übersicht über die Störfestigkeitsprüfverfahren
- Teil 4-2:** Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität
- Teil 4-3:** Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder
- Teil 4-4:** Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Burst)
- Teil 4-5:** Störfestigkeit gegen Stoßspannungen
- Teil 4-6:** Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder über 9 kHz
- Teil 4-7:** Allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten
- Teil 4-8:** Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen
- Teil 4-9:** Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder
- Teil 4-10:** Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder
- Teil 4-11:** Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen
- Teil 4-12:** Störfestigkeit gegen gedämpfte Schwingungen
- Teil 4-13:** Störfestigkeit am Wechselstrom-Netzanschluss gegen Oberschwingungen und Zwischenharmonische einschließlich leitungsgeführter Störgrößen aus der Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen
- Teil 4-14:** Störfestigkeit gegen Spannungsschwankungen
- Teil 4-15:** Flickermeter – Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation
- Teil 4-16:** Störfestigkeit gegen leitungsgeführte, asymmetrische Störgrößen im Frequenzbereich von 0 kHz bis 150 kHz
- Teil 4-17:** Störfestigkeit gegen Wechselanteile der Spannung an Gleichstrom-Netzanschlüssen
- Teil 4-20:** Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-) Wellenleitern
- Teil 4-21:** Prüfverfahren in Modenverwirbelungskammern
- Teil 4-23:** Prüfverfahren für Komponenten zum Schutz gegen HEMP und andere gestrahlte Störgrößen
- Teil 4-24:** Prüfverfahren für Einrichtungen zum Schutz gegen leitungsgeführte HEMP-Störgrößen
- Teil 4-25:** Störfestigkeit von Einrichtungen und Systemen gegen HEMP-Störgrößen
- Teil 4-27:** Störfestigkeit gegen Unsymmetrie (der Versorgungsspannung)
- Teil 4-28:** Störfestigkeit gegen Schwankungen der energietechnischen Frequenz (Netzfrequenz)
- Teil 4-29:** Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen an Gleichstrom-Netzeingängen
- Teil 4-30:** Verfahren zur Messung der Qualität der Versorgungsspannung
- Teil 4-32:** Kompendium über Simulatoren für den in großer Höhe erzeugten elektromagnetischen Puls (HEMP)

Die Veröffentlichungen der Deutschen Fassungen erfolgen im Rahmen der Klassifikation VDE 0847.

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 nachstehend wiedergegeben.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050 (161):1990 + A1:1997 + A2:1998	IEV Teil 161: 2000-08	–
EN 60068-1:1994	IEC 60068-1:1988 + Corrigendum:1988-10 + A1:1992	DIN EN 60068-1:1995-03	–
Reihe EN 55014	Reihe IEC/CISPR 14	DIN EN 55014-1 (VDE 0875 Teil 14-1):2003-09 + DIN EN 55014-2 (VDE 0875 Teil 14-2):2002-08	VDE 0875 Teil 14-1 VDE 0875 Teil 14-2
EN 55020:2002 + A1 :2003	IEC/CISPR 20:2002 + A1 :2002	DIN EN 55020 (VDE 0872 Teil 20):2002-03	VDE 0872 Teil 20
EN 55022:1998 + Corrigendum:2003 + A1:2000 + Corrigendum:2003 + A2:2003	IEC/CISPR 22:1997 + A1:2000 + A2:2002	DIN EN 55022 (VDE 0878 Teil 22):2003-09	VDE 0878 Teil 22
EN 55024:1998 + A1:2001 + A2 :2003	IEC/CISPR 24:1997 + A1:2001 + A2:2002	DIN EN 55024 (VDE 0878 Teil 24):2003-10	VDE 0878 Teil 24
EN 55025:2003	IEC/CISPR 25:2002	DIN EN 55025 (VDE 0879 Teil 22):2003-11	VDE 0879 Teil 2
–	IEC 60489-1:1983	DIN IEC 60489-1:1981-07	–
–	IEC 60489-3:1988	DIN IEC 60489-3:1986-11	–
EN 61000-2-9: 1996	IEC 61000-2-9:1996	DIN EN 61000-2-9 (VDE 0839 Teil 2-9):1996-12	VDE 0839 Teil 2-9
prEN 61000-2-11: 1999	IEC 61000-2-11:1996	E DIN EN 61000-2-11 (VDE 0839 Teil 2-11):1999-09	VDE 0839 Teil 2-11

DIN EN 61000-4-20 (VDE 0847 Teil 4-20):2003-10

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 61000-4-3: 2002	IEC 61000-4-3:2002	DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847 Teil 4-3):2003-03	VDE 0847 Teil 4-3
EN 61000-4-23: 2000	IEC 61000-4-23:2000	DIN EN 61000-4-23 (VDE 0847 Teil 4-23):2001-12	VDE 0847 Teil 4-23
–	IEC/CISPR 16-1:1999	E DIN VDE 0876-16-1 (VDE 0876 Teil 16-1):1998-05 + E DIN VDE 0876-16-1/A1 (VDE 0876 Teil 16-1/A1):1999-04 + E DIN VDE 0876-16-1/A2 (VDE 0876 Teil 16-1/A2):2002-05	VDE 0876 Teil 16-1 VDE 0876 Teil 16-1/A1 VDE 0876 Teil 16-1/A2
–	IEC/CISPR 16-2:1996 + A1:1999	E DIN VDE 0877-16-2 (VDE 0877 Teil 16-2):2000-06 + E DIN VDE 0877-16-2/A1 (VDE 0877 Teil 16-2/A1):2000-06	VDE 0877 Teil 16-2 VDE 0877 Teil 16-2/A1
–	Reihe ISO 11451	Reihe DIN ISO 11451	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

IEV Teil 161: *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 161: Elektromagnetische Verträglichkeit; Konsolidierte Fassung aus IEC 60050-161:1990-08, Änderung 1:1997-10 und Änderung 2:1998-04*

DIN EN 60068-1, *Umweltprüfungen – Teil 1: Allgemeines und Leitfaden (IEC 60068-1:1988 + Corrigendum:1988 + A1:1992); Deutsche Fassung EN 60068-1:1994*

DIN EN 55014-1 (VDE 0875 Teil 14-1), *Elektromagnetische Verträglichkeit – Anforderungen an Haushaltgeräte, Elektrowerkzeuge und ähnliche Elektrogeräte – Teil 1: Störaussendung (IEC/CISPR 14-1:2000 + A1:2001 + A2:2002); Deutsche Fassung EN 55014-1:2000 + A1:2001 + A2:2002*

DIN EN 55014-2 (VDE 0875 Teil 14-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit – Anforderungen an Haushaltgeräte, Elektrowerkzeuge und ähnliche Elektrogeräte – Teil 2: Störfestigkeit – Produktfamiliennorm (Einschließlich Corrigendum:1997) (IEC/CISPR 14-2:1997 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 55014-2:1997 + A1:2001*

DIN EN 55020 (VDE 0872 Teil 20), *Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger und verwandte Geräte der Unterhaltungselektronik – Störfestigkeitseigenschaften – Grenzwerte und Prüfverfahren IEC/CISPR 20:2002 + A1:2002); Deutsche Fassung EN 55020:2002 + A1:2003*

DIN EN 55022 (VDE 0878 Teil 22), *Einrichtungen der Informationstechnik – Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren (IEC/CISPR 22:1997 + A1:2000 + A2:2002); Deutsche Fassung EN 55022:1998 + Corrigendum Juli 2003 + A1:2000 + Corrigendum April 2003 + A2:2003*

DIN EN 55024 (VDE 0878 Teil 24), *Einrichtungen der Informationstechnik – Störfestigkeitseigenschaften – Grenzwerte und Prüfverfahren (IEC/CISPR 24:1997, modifiziert + A1:2001 + A2:2002); Deutsche Fassung EN 55024:1998 + A1:2001 + A2:2003*

DIN EN 55025 (VDE 0879 Teil 2), *Funk-Entstörung zum Schutz von Empfängern in Fahrzeugen, Booten und Geräten – Grenzwerte und Messverfahren (IEC/CISPR 25:2002); Deutsche Fassung EN 55025:2003*

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); Identisch mit IEC 60489-3, Ausgabe 1979 (Stand 1983)*

DIN EN 61000-2-9 (VDE 0839 Teil 2-9), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2: Umgebungsbedingungen – Hauptabschnitt 9: Beschreibung der HEMP-Umgebung – Störstrahlung – EMV-Grundnorm (IEC 61000-2-9:1996); Deutsche Fassung EN 61000-2-9:1996*

E DIN EN 61000-2-11 (VDE 0839 Teil 2-11), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-11: Umgebungsbedingungen – Klasseneinteilung von HEMP-Umgebungen (IEC 77C/71/FDIS:1999); Deutsche Fassung prEN 61000-2-11:1999*

DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847 Teil 4-3), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-3: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder (IEC 61000-4-3:2002); Deutsche Fassung EN 61000-4-3:2002*

DIN EN 61000-4-23 (VDE 0847 Teil 4-23), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-23: Prüf- und Messverfahren – Prüfverfahren für Geräte zum Schutz gegen HEMP und andere gestrahlte Störgrößen (IEC 61000-4-23:2000); Deutsche Fassung EN 61000-4-23:2000*

DIN ISO 11451 (Reihe), *Straßenfahrzeuge – Elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie – Fahrzeugprüfverfahren*

E DIN VDE 0876-16-1 (VDE 0876 Teil 16-1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit (IEC/CISPR 16-1:1993)*

E DIN VDE 0876-16-1/A1 (VDE 0876 Teil 16-1/A1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Änderung 1 (IEC/CISPR 16-1:1993/A1:1997)*

E DIN VDE 0876-16-1/A2 (VDE 0876 Teil 16-1/A2), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Änderung 1 (IEC/CISPR 16-1:1999:1999, modifiziert)*

E DIN VDE 0877-16-2 (VDE 0877 Teil 16-2), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 2: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit (IEC/CISPR 16-2:1996)*

E DIN VDE 0877-16-2/A1 (VDE 0877 Teil 16-2/A1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 2: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Änderung 1 (IEC/CISPR 16-2:1996/A1:1999)*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
Teil 4-20: Prüf- und Messverfahren – Messung der Störaussendung und
Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern
(IEC 61000-4-20:2003)

Electromagnetic compatibility (EMC)
Part 4-20: Testing and measurement
techniques – Emission and immunity testing
in transverse electromagnetic (TEM)
waveguides
(IEC 61000-4-20:2003)

Compatibilité électromagnétique (CEM)
Partie 4-20: Techniques d'essai et de
mesure – Essais d'émission et d'immunité
dans les guides d'onde TEM
(CEI 61000-4-20:2003)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2003-04-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

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

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

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks IEC/CISPR/A/419/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61000-4-20, ausgearbeitet von dem IEC/CISPR/SC A „Radio interference measurements and statistical methods“ in Zusammenarbeit mit IEC/SC 77B „High frequency phenomena“ des IEC/TC 77 „Electromagnetic compatibility“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2003-04-01 als EN 61000-4-20 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2004-01-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2006-04-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge A, B, C und ZA normativ und die Anhänge D und E sind informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61000-4-20:2003 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm genehmigt.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC/CISPR 14	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 55014 (nicht modifiziert).
IEC/CISPR 20	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 55020:2002 (nicht modifiziert).
IEC 61000-2-9	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61000-2-9:1996 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Abkürzungen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Abkürzungen	7
4 Allgemeines	11
5 Anforderungen an TEM-Wellenleiter	11
5.1 Allgemeine Anforderungen in Bezug auf die Verwendung von TEM-Wellenleitern	12
5.2 Spezielle Anforderungen an bestimmte Typen von TEM-Wellenleitern	13
5.3 Betrachtungen der Messunsicherheit	14
6 Überblick über Arten von Prüflingen	14
6.1 Kleine Prüflinge	15
6.2 Große Prüflinge	15
Anhang A (normativ) Messung der Störaussendung mit TEM-Wellenleitern	16
A.1 Einleitung	16
A.2 Messeinrichtung	16
A.3 Korrelation von TEM-Wellenleiterspannungen mit <i>E</i> -Feld-Daten	17
A.3.1 Allgemeine Bemerkungen	17
A.3.2 Korrelationsverfahren	17
A.4 Eignungsverfahren für TEM-Wellenleiter zur Emissionsmessung	21
A.4.1 Eignungsverfahren	21
A.4.2 Anforderungen der Eignungsprüfung an TEM-Wellenleiter für kleine und große Prüflinge	22
A.5 Verfahren zur Messung der Störaussendung in TEM-Wellenleitern	19
A.5.1 Prüflingstypen	25
A.5.2 Aufstellung des Prüflings	25
A.6 Prüfbericht	26
A.6.1 Kleine Prüflinge in TEM-Wellenleitern	26
A.6.2 Große Prüflinge in TEM-Wellenleitern	25
Anhang B (normativ) Prüfung der Störfestigkeit in TEM-Wellenleitern	37
B.1 Einleitung	37
B.2 Prüfgeräte	37
B.2.1 Beschreibung der Prüfeinrichtung	37
B.2.2 Kalibrierung des Feldes	38
B.2.3 Prüfschärfegrade (Prüfpegel)	40
B.2.4 Korrelation mit IEC 61000-4-3	40

	Seite
B.2.5 Harmonische	40
B.3 Prüfaufbau	40
B.3.1 Aufstellung von Tischgeräten	40
B.3.2 Aufstellung von Standgeräten	40
B.3.3 Anordnung der Leitungen	41
B.4 Prüfverfahren	41
B.5 Prüfergebnisse und Prüfbericht	41
Anhang C (normativ) Prüfung mit HEMP-Transienten in TEM-Wellenleitern	44
C.1 Einleitung	44
C.2 Prüfung der Störfestigkeit	44
C.2.1 Einrichtungen für Strahlungsprüfungen	45
C.2.2 Anforderungen an das Spektrum im Frequenzbereich	45
C.3 Prüfeinrichtung	46
C.3.1 Prüfgeräte	46
C.4 Prüfaufbau	46
C.5 Prüfverfahren	47
C.5.1 Klimatische Bedingungen	47
C.5.2 Prüfschärfe und Prüfbelastungen	48
C.5.3 Prüfverfahren	48
C.5.4 Durchführung der Prüfung	49
C.5.5 Durchführung der Störfestigkeitsprüfung gegen gestrahlte Störgrößen	49
Anhang D (informativ) Charakterisierung von TEM-Wellenleitern	51
D.1 Einleitung	51
D.2 Unterscheidung zwischen Feldwellenimpedanz und Leitungswellenimpedanz	51
D.3 TEM-Welle	52
D.3.1 Freiraum / TEM-Mode	52
D.3.2 Wellenleiter	52
D.4 Wellenausbreitung	52
D.4.1 Kugelwellenausbreitung	53
D.4.2 Ausbreitung ebener Wellen im Freiraum	53
D.4.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit	53
D.5 Polarisierung	53
D.5.1 Polarisationsvektor	53
D.5.2 Lineare und elliptische Polarisierung	53
D.6 Arten von TEM-Wellenleitern	53
D.6.1 Offene TEM-Wellenleiter (Streifenleiter usw.)	54
D.6.2 Geschlossene TEM-Wellenleiter (TEM-Zellen)	54
D.7 Grenzen des Frequenzbereiches	55
Anhang E (informativ) Normen, die TEM-Wellenleiter berücksichtigen	58

Literaturhinweise.....	59
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	61
Bilder	
Bild A.1a – Seitenansicht.....	27
Bild A.1b – Draufsicht	27
Bild A.1 – Verlegen der Zuleitung zur Ecke am Ortho-Winkel und zu der unteren Ecke des nutzbaren Prüfvolumens.....	27
Bild A.2c – Draufsicht (siehe 3.1.21 und A.5.2).....	28
Bild A.2 – Prinzip des Ortho-Achsen-Positionierers oder Manipulators	28
Bild A.3 – Drei orthogonale Rotationspositionen für Messungen der Störaussendung	29
Bild A.5 – Geometrie eines Freifeldes	31
Bild A.6a – Seitenansicht.....	32
Bild A.6b – Querschnitt	32
Bild A.6 – Zweitor-TEM-Zelle (symmetrisches Septum).....	32
Bild A.7a – Seitenansicht.....	33
Bild A.7b – Querschnitt	33
Bild A.7 – Eintor-TEM-Zelle (asymmetrisches Septum)	33
Bild A.8a – Seitenansicht.....	34
Bild A.8b – Seitenansicht.....	34
Bild A.8 – Streifenleiter (zwei Platten)	35
Bild A.9b – Querschnitt	36
Bild A.9 – Streifenleiter (vier Platten, symmetrische Speisung)	36
Bild B.1 – Beispiel eines Prüfaufbaus für einen in einer Richtung polarisierenden TEM-Wellenleiter	42
Bild B.2a – Seitenansicht.....	43
Bild B.2b – Querschnitt	43
Bild B.2 – Kalibrierpunkte des gleichförmigen Bereichs (der Gleichförmigkeitsebene) im TEM- Wellenleiter	43
Bild C.1 – Betrag des Spektrums im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 MHz	50
Bild D.1 – Einfachster Wellenleiter (keine TEM-Welle!)	56
Bild D.2 – Wellenleiter mit TEM-Ausbreitung	56
Bild D.3 – Polarisationsvektor.....	57
Bild D.4 – Übertragungsleitungsmodell für TEM-Ausbreitung.....	57
Bild D.5 – Ein- und Zweitor-TEM-Wellenleiter	57
Tabellen	
Tabelle B.1 – Kalibrierpunkte für den „gleichförmigen Bereich“ (die „Gleichförmigkeitsebene“)	39
Tabelle B.2 – Prüfschärfegrade (Prüfpegel)	40
Tabelle C.1 – Prüfschärfegrade (Prüfpegel) für die in dieser Norm definierte Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen.....	50

Einleitung

Diese Norm ist ein Teil der Reihe IEC 61000 entsprechend der folgenden Struktur:

- 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 oder als Technische Spezifikationen oder als 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 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-Messungen eingesetzt werden;
- den Prüfling (d. h. Prüflingsgehäuse und -Verkabelung);
- Messaufbauten, Messverfahren und Messanforderungen für Messungen der gestrahlten Störgrößen in TEM-Wellenleitern und
- Prüfaufbauten, Prüfverfahren und Prüfanforderungen für Prüfungen der Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen in TEM-Wellenleitern.

2 Normative Verweisungen

Die nachfolgenden 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 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

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 compendium¹⁾*

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

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

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

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

¹⁾ Noch zu veröffentlichen.

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teiles der Internationalen Norm IEC 61000 gelten die Begriffe aus IEC 60050(161) (IEV) zusammen mit den nachfolgenden Begriffen.

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 im zur Ausbreitungsrichtung transversalen Wellenleiterquerschnitt.

3.1.2

TEM-Wellenleiter

offenes oder geschlossenes Leitungssystem, 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 Koaxialleitung, in dem sich eine Welle im transversalen elektromagnetischen Mode ausbreitet, um ein festgelegtes Feld für Prüfzwecke zu erzeugen. Der Außenleiter umschließt vollständig den Innenleiter.

3.1.4

Zweitor-TEM-Wellenleiter

TEM-Wellenleiter mit je einem Messtor (en: port) an beiden Enden, die sowohl als Eingang als auch als Ausgang betrieben werden können

3.1.5

Eintor-TEM-Wellenleiter

TEM-Wellenleiter mit einem einzigen Messtor (en: port), das sowohl als Eingang als auch Ausgang betrieben werden kann. Solche TEM-Wellenleiter haben typischerweise einen breitbandigen Leitungsabschluss am nicht als Messtor genutzten Ende.

3.1.6

Streifenleiter

abgeschlossenes Leitungssystem, 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. Gewöhnlich sind die Seiten offen und ermöglichen den Zugang zum Prüfling und die Überwachung des Prüflings.

3.1.7

Innenleiter

Septum

Innenleiter eines koaxialen Übertragungsleitungssystems (auch als Septum bezeichnet), oftmals flach im Falle eines rechteckigen Wellenleiterquerschnittes. 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 Leitungswellen-

impedanz von 50 Ω haben. TEM-Wellenleiter mit 100 Ω Leitungswellenimpedanz 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 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

Kabel, das den Prüfling mit Geräten außerhalb des TEM-Wellenleiters verbindet oder aus dem in 5.1.2 definierten Prüfvolumen herausführt

3.1.15

Verbindungsleitung

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

3.1.16

Prüfhalterung

nicht reflektierende, nicht leitende Halterung mit niedriger Dielektrizität 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 [7]²⁾.

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, sind der Azimut- und der Elevationswinkel der Projektionen der Würfeldiagonalen auf die Würfelseitenflächen 45° und der Ortho-Winkel 54,7° (siehe Bild A.2a).

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

3.1.18

primäre Feldkomponente

elektrische Feldkomponente in Richtung der beabsichtigten Prüfpolarisation

²⁾ Angaben in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

ANMERKUNG Zum Beispiel verläuft in konventionellen TEM-Zellen das Septum 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 Handhabungsvorrichtung ähnlich einem Drehtisch, die einen an ihr befestigten Prüfling in verschiedenen Positionen halten kann, wie dies von Korrelationsverfahren oder Prüfabläufen gefordert wird. Das Material muss die für Prüfhaltungen festgelegten Anforderungen erfüllen (siehe 3.1.16). Als Beispiel siehe Bild A.2.

3.1.22

hyperrotierter TEM-Wellenleiter

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

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 ordnungsgemäß funktioniert, d. h. unabhängig von der Richtung des Gravitationsvektors, bezogen auf den Prüfling funktioniert er ordnungsgemäß. 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	Absorberkammer mit teilweiser Absorberauskleidung

SPD	Surge protective device	Überspannungsschutzgerät
TDR	Time-domain reflectometer	Zeitbereichs-Reflexionsmessgerät
TE	Transverse electromagnetic mode	transversal-elektromagnetisch
VSWR	Voltage-standing-wave-ratio	Stehwellenverhältnis

N1)

4 Allgemeines

Diese Norm beschreibt grundlegende Eigenschaften und Begrenzungen von TEM-Wellenleitern, namentlich das Prüfvolumen, die Feldhomogenität, Reinheit der TEM-Mode 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 Absorberkammer mit teilweiser Absorberauskleidung (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 E aufgeführt sind.

Messungen 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

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 folgenden Verfahren angewendet werden.

N1) Nationale Fußnote:

ANMERKUNG 1 ZUR DEUTSCHEN AUSGABE *Vorwärtsleistung* (engl.: *forward power*): Vom Generator oder Verstärker an den Wellenleiter abgegebene Leistung ohne den Leistungsanteil, der vom gespeisten Wellenleiter zurück zum Verstärker läuft. Die Vorwärtsleistung ist im allgemeinen Fall nicht die nominale Leistung des Generators oder Verstärkers. Die in den Wellenleiter eingespeiste Vorwärtsleistung kann mit einem Richtkoppler kombiniert mit einem HF-Voltmeter oder Leistungsmesser gemessen werden.

ANMERKUNG 2 ZUR DEUTSCHEN AUSGABE *cut-off-Frequenz* (engl.: *cut off frequency*): Frequenz, oberhalb deren betreffende Mode höherer Ordnung (E_{mn} , H_{mn}) im Wellenleiter ausbreitungsfähig ist. Jeder Mode hat eine eigene *cut-off-Frequenz*. Sie ist abhängig von den Abmessungen und der Form des Wellenleiters. Sie wird auch als *Grenzfrequenz* oder *Ausbreitungsgrenzfrequenz* des betreffenden Modes bezeichnet.

ANMERKUNG 3 ZUR DEUTSCHEN AUSGABE *cut-off-Punkt* (engl.: *cut off position*): Ort auf der in Ausbreitungsrichtung der TEM-Welle zeigenden z -Achse des Wellenleiters, ab dem der betreffende Mode höherer Ordnung (E_{mn} , H_{mn}) im Wellenleiter ausbreitungsfähig ist. Jeder Mode hat einen eigenen *cut-off-Punkt*. Er ist abhängig von den Abmessungen und der Form des Wellenleiters.

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

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

5.1.1 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.

ANMERKUNG 1 Das TEM-Mode-Verhalten muss in regelmäßigen Abständen bestätigt werden (siehe B.2.2).

Unter Verwendung eines Kalibrierverfahrens nach Art der Störfestigkeitsprüfung unter Verwendung eines gleichförmigen Feldes (entsprechend B.2.2) müssen die Beträge der sekundären (unerwünschten) elektrischen Feldkomponenten für mindestens 75 % der Messpunkte 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 Messpunkte ist für die primäre elektrische Feldkomponente eine Grenزابweichung von -0_{+6} dB, bis zu -0_{+10} dB oder für die sekundäre elektrische Feldkomponente ein Pegel bis zu -2 dB der primären elektrischen Feldkomponente für maximal 3 % der Prüffrequenzen (mindestens für eine Frequenz) unter der Voraussetzung zulässig, dass die tatsächlichen Grenزابweichungen und dazugehörigen Frequenzen in den Prüfberichten festgehalten werden. Für große TEM-Wellenleiter sollte hierfür ein Höchstwert von 3 % der Prüffrequenzen nicht überschritten werden, zulässig sind bis zu 5 % (der Prüffrequenzen), wenn dies in den Prüfberichten festgehalten wird. Der Frequenzbereich beträgt 30 MHz bis zur höchsten Frequenz des vorgesehenen Betriebs des TEM-Wellenleiters. Der erste Frequenzschritt darf 1 % der niedrigsten (grundlegenden) Frequenz nicht überschreiten, danach 1 % der vorhergehenden Messfrequenz für den Bereich 80 MHz -5 % bis 1 000 MHz +5 %. Eine Einschränkung für die Geschwindigkeit des Frequenzdurchlaufs stellt die Einschwingzeit der Feldsonde dar. Diese Nachweisprüfung für den TEM-Mode gilt für TEM-Wellenleiter sowohl für Prüfungen der Störfestigkeit als auch für Messungen der Störaussendung.

ANMERKUNG 2 Für Messungen von Transienten sollte die Startfrequenz 100 kHz betragen.

ANMERKUNG 3 Das 6-dB-Kriterium aus 5.1.1 spezifiziert den vorherrschenden TEM-Mode und nicht die Gleichförmigkeit des Feldes. Ein Feld wird als gleichförmig angesehen, wenn die Anforderungen nach B.2.2 erfüllt werden. Weitere Informationen zur Gleichförmigkeit des Feldes sind in [17] enthalten.

5.1.2 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 Bild A.6 bis A.9) hängt von der in B.2.2 festgelegten „Gleichförmigkeitsebene“ ab. Die Ausbreitungsrichtung des TEM-Modes (typisch: z -Achse) ist senkrecht zu einer Gleichförmigkeitsebene (transversalen Ebene, typisch: xy -Ebene). In der xy -Ebene muss der gesamte Querschnitt des nutzbaren Prüfvolumens die in B.2.2 festgelegten Anforderungen an eine 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 B.2.2) 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 ist $L = z_{max} - z_{min}$. 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 $0 < z < z_{\max}$ aufweist 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 462D empfiehlt $0,5 w \times 0,6 L$.

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, darf 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. Die Messunsicherheit muss im Prüfbericht festgehalten werden. Weitere Informationen über Effekte der Beladung in TEM-Wellenleitern sind in [29] enthalten.

5.1.3 Effekte der Beladung in TEM-Wellenleitern

In Bearbeitung.

ANMERKUNG 1 Um den Einfluss der Beladung bei einem TEM-Wellenleiter zu messen, werden die folgenden Verfahren vorgeschlagen:

- Messung des Oberflächenstroms auf dem Prüfling im Freiraum (das Freifeld ist auch eine Möglichkeit) oder in einem TEM-Wellenleiter;
- Feldmessungen mit einem isotropen Sensor;
- Zeitbereichs-Reflexionsmessung (TDR) am Eingangsanschluss oder Messung des Stehwellenverhältnisses (VSWR);
- Einfügungsdämpfung für Zweitor-TEM-Wellenleiter;
- Messung mit einem Monopol, der durch den Außenleiter des TEM-Wellenleiters hindurch eingefügt wird.

ANMERKUNG 2 Für Störabstrahlungen haben Korrelationen mit großen Prüflingen eine mittlere Erhöhung der korrelierten Feldstärke um 1 dB gezeigt (siehe [20]).

ANMERKUNG 3 Der Einfluss der Prüfhaltung oder des Manipulators sollte ebenfalls geprüft werden [4].

5.2 Spezielle Anforderungen an bestimmte Typen von TEM-Wellenleitern

5.2.1 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 1 h zwischen den Platten des offenen TEM-Wellenleiters und Boden, Wand und Decke des geschirmten Raumes ist erforderlich. Zusätzliches Absorbermaterial kann geeignet im geschirmten Raum platziert werden, um Reflexionen zu minimieren.

Die vorgenannten Abstände sind nur zur Orientierung angegeben. Die Reflexion (und Übertragung in Zweitor-TEM-Wellenleitern) stellt das endgültige Maß für hinreichende Entkopplung des TEM-Wellenleiters vom geschirmten Raum dar. 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 462 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 462D RS105 fordert einen Abstand von 2 h 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 1 h entspricht.

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

Als Alternative zu 5.1.1 kann der nutzbare Frequenzbereich eines Zweitor-TEM-Wellenleiters durch das nachfolgende Messverfahren festgestellt werden.

Bevor der Prüfling geprüft wird, müssen die Resonanzen des TEM-Wellenleiters mit dem im Prüfaufbau installiertem Prüfling bestimmt werden, wobei der Prüfaufbau vorhanden und der Prüfling im TEM-Wellenleiter aufgebaut, aber ausgeschaltet sein muss. In diesem Fall muss für die Übertragungsdämpfung des TEM-Wellenleiters für den nutzbaren Frequenzbereich gelten:

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

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, rückfließende (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 (1) 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. Er beruht auf der Annahme, dass in Resonanz befindliche höhere Moden Energie aus dem TEM-Mode entnehmen.

5.3 Betrachtungen der Messunsicherheit

Allgemeine Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit sind in Bearbeitung. Verfahren entsprechend A.4.2.1 werden zur Abschätzung der Messunsicherheit empfohlen.

ANMERKUNG Abschätzungsverfahren zur Messunsicherheit von TEM-Wellenleitern werden z. B. in [34], [3] und [22] erörtert.

6 Überblick über Arten von Prüflingen

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.

6.1 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 sind große Prüflinge.

6.2 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) und/oder mit Zuleitung(en) angeordneter Prüflinge

ist.