

	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 EN 61000-4-23
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 4-23
ICS 33.100.20 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-23: Testing and measurement techniques – Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances (IEC 61000-4-23:2000); German version EN 61000-4-23:2000 Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-23: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai pour les dispositifs de protection pour perturbations IEMN-HA et autres perturbations rayonnées (CEI 61000-4-23:2000); Version allemande EN 61000-4-23:2000 Die Europäische Norm EN 61000-4-23:2000 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 61000-4-23 wurde 2000-11-01 angenommen. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 767.3 „Hochfrequente Störgrößen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN EN 61000-4-23 (VDE 0847 Teil 4-23):2000-09. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 77C „High power transient phenomena“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2007 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 und 3 und 92 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Diese Norm enthält die Deutsche Fassung der Europäischen Norm EN 61000-4-23:2001-09 „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-23: Prüf- und Messverfahren – Prüfung von Geräten zum Schutz gegen HEMP und andere gestrahlte Störgrößen“, in die die Internationale Norm IEC 61000-4-23:2000-10 „Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-23: Testing and measurement techniques – Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances“ übernommen worden ist.

Sie legt die hinter Prüfungen gegen den in großer Höhe erzeugten nuklear-elektromagnetischen Impuls (en: HEMP) stehenden Grundlagen dar und beschreibt Prüfverfahren für Schutzelemente, die zum Schutz von Einrichtungen (Geräten), Systemen und Anlagen gegenüber gestrahlten Feldern, die durch einen in großer Höhe erzeugten nuklear-elektromagnetischen Impuls (en: HEMP) oder auf andere Weise erzeugt wurden, eingesetzt werden können. Betrachtet werden sowohl die gesamte Abschirmtopologie eines Systems oder einer Anlage als auch einzelne Teilbereiche.

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

- Hauptabschnitt 1:** Übersicht über die Störfestigkeitsprüfverfahren
- Hauptabschnitt 2:** Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität
- Hauptabschnitt 3:** Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder
- Hauptabschnitt 3/A1:** Störfestigkeit gegen hochfrequente Aussendungen von digitalen Funktelefonen
- Hauptabschnitt 4:** Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Burst)
- Hauptabschnitt 5:** Störfestigkeit gegen Stoßspannungen
- Hauptabschnitt 6:** Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder über 9 kHz
- Hauptabschnitt 7:** Allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten
- Hauptabschnitt 8:** Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen
- Hauptabschnitt 9:** Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder
- Hauptabschnitt 10:** Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder
- Hauptabschnitt 11:** Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen
- Hauptabschnitt 12:** Störfestigkeit gegen gedämpfte Schwingungen
- Hauptabschnitt 14:** Störfestigkeit gegen Spannungsschwankungen
- Hauptabschnitt 15:** Flickermeter – Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation
- Hauptabschnitt 16:** Störfestigkeit gegen leitungsgeführte, asymmetrische Störgrößen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 150 kHz
- Hauptabschnitt 23:** Prüfverfahren für Komponenten zum Schutz gegen HEMP und andere gestrahlte Störgrößen
- Hauptabschnitt 24:** Prüfverfahren für Einrichtungen zum Schutz gegen leitungsgeführte HEMP-Störgrößen
- Hauptabschnitt 27:** Störfestigkeit gegen Unsymmetrie (der Versorgungsspannung)
- Hauptabschnitt 28:** Störfestigkeit gegen Schwankungen der energietechnischen Frequenz (Netzfrequenz)
- Hauptabschnitt 29:** Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen an Gleichstrom-Netzeingängen

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 oder andere Unterlage 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 oder anderen Unterlage.

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen und anderen Unterlagen mit den entsprechenden Deutschen Normen und anderen Unterlagen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm oder anderen Unterlage waren die angegebenen Ausgaben gültig.

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	Deutsche Ausgabe des Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuchs - Kapitel 161: Elektromagnetische Verträglichkeit:1999	–
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
EN 61000-2-10:1999	IEC 61000-2-10:1998	DIN EN 61000-2-10 (VDE 0839 Teil 2-10):1999-10	VDE 0839 Teil 2-10
EN 61000-4-24:1997	IEC 61000-4-24:1997	DIN EN 61000-4-24 (VDE 0847 Teil 4-24):1997-11	VDE 0847 Teil 4-24

Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise

Deutsche Ausgabe des Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuchs – Kapitel 161: Elektromagnetische Verträglichkeit; Konsolidierte Fassung aus IEC 60050-161:1990-08, Änderung 1:1997-10 und Änderung 2:1998-04.

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.*

DIN EN 61000-2-10 (VDE 0839 Teil 2-10), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-10: Umgebungsbedingungen – Beschreibung der HEMP-Umgebung – Leitungsgeführte Störgrößen (IEC 61000-2-10:1998); Deutsche Fassung EN 61000-2-10:1999.*

DIN EN 61000-4-24 (VDE 0847 Teil 4-24), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Messverfahren – Hauptabschnitt 24: Prüfverfahren für Einrichtungen zum Schutz gegen leitungsgeführte HEMP-Störgrößen - EMV-Grundnorm (IEC 61000-4-24:1997); Deutsche Fassung EN 61000-4-24:1997.*

– Leerseite –

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)

Electromagnetic compatibility (EMC)
Part 4-23: Testing and measurement techniques
– Test methods for protective devices for HEMP
and other radiated disturbances
(IEC 61000-4-23:2000)

Compatibilité électromagnétique (CEM)
Partie 4-23: Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes d'essai pour les dispositifs de
protection pour perturbations IEMN-HA et
autres perturbations rayonnées
(CEI 61000-4-23:2000)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2000-11-01 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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik 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 77C/92/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61000-4-23, ausgearbeitet von dem SC 77C „High power transient phenomena“ des IEC TC 77 „Electromagnetic compatibility“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2000-11-01 als EN 61000-4-23 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): 2001-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2003-11-01

Anhänge, die als "normativ" bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.
Anhänge, die als "informativ" bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.
In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und die Anhänge A, B, C, D und E sind informativ.
Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61000-4-23:2000 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Definitionen	6
4 HEMP-Prüfkonzepte	12
4.1 Prüfung von geschirmten Gehäusen	13
4.1.1 Gebäude	16
4.1.2 Schirmkabinen und -räume.....	16
4.1.3 Geräteschränke, Gerätegestelle und Schirmgehäuse.....	17
4.2 Prüfung von geschirmten Kabeln und Steckverbindern.....	20
4.2.1 Prüfung von Kabelschirmen.....	21
4.2.2 Prüfen von Kabelverbindern	23
4.3 Prüfen von Schirmmaterialien.....	24
4.3.1 Leitfähige Schirmdichtungen	24
4.3.2 Leitfähige Abschirmbleche und Schirme	26
4.3.3 Hohlleiter unterhalb der Grenzfrequenz und Wabenkamine	29
4.4 Zusammenfassung der Prüfkonzepte	30
5 HEMP-Prüfverfahren.....	31
5.1 Prüfung mit elektromagnetischem Feld	31
5.1.1 Prüfung mit impulsförmigem Feld	31
5.1.2 Prüfungen mit gestrahlten Dauerfeldern (en: „continuous wave field“, CW)	36
5.2 Prüfverfahren mit Stromeinspeisung.....	50
5.2.1 Einspeisungsprüfungen an Gehäusen.....	50
5.2.2 Kopplungsimpedanz und -admittanz von Kabelschirmen und Verbindungssteckern	52
5.2.3 Prüfung von Schirmmaterial	52
Anhang A (informativ) HEMP-Prüfkonzepte für elektrische Systeme (Anlagen)	55
A.1 Einführung	55
A.2 Arten von HEMP-Prüfungen	55
A.2.1 Transientenprüfungen auf Systemebene (Anlagenebene).....	55
A.2.2 Prüfungen mit gestrahlten Dauerfeldern (en: „continuous wave field“, CW)	56
A.2.3 Prüfverfahren mit Stromeinspeisung.....	56
A.2.4 Prüfung mit Teilbestrahlung	57
A.2.5 Prüfen von Untersystemen und Komponenten (Bauteilen)	57
A.4 Verwendung der Messdaten	61
A.4.1 Abnahme neuer Systeme (Anlagen).....	61
A.4.2 Systembewertung (Anlagenbewertung).....	61

A.4.3 Überwachung der Härtung gegen HEMP.....	61
A.4.4 Systemdesign (Anlagendesign)	61
A.5 Prüfunsicherheiten	62
ANHANG B (informativ) Eigenschaften von Schirmkabeln	63
B.1 Grundlagen über Kabelschirme	63
B.2 Definitionen der Kopplungsimpedanz und der Kopplungsadmittanz	64
B.3 Relative Bedeutung von Z_t' und Y_t'	66
ANHANG C (informativ) Einrichtungen für HEMP-Impulsmessungen	67
C.1 Einführung	67
C.2 Sonden für HEMP-Messungen	67
C.2.1 <i>B</i> - und <i>H</i> -Feld-Sonden	67
C.2.2 <i>D</i> - und <i>E</i> -Feld-Sonden	69
C.2.3 Stromzangen	71
C.3 (Mess-)Signalübertragung.....	72
C.3.1 Lichtwellenleiterverbindungen.....	72
C.3.2 Optoelektrische Wandler	73
C.4 (Mess-)Signal-Detektion und -Verarbeitung.....	74
ANHANG D (informativ) Geräte für CW-Prüfungen	75
D.1 Einführung	75
D.2 Das Antennensystem	75
D.3 Leistungsverstärker	77
D.4 Der Empfänger (Netzwerkanalysator).....	77
D.5 Bezugs- und Messsensoren.....	78
D.6 Lichtwellenleitersystem	79
D.7 Begrenzungen der Messungen	81
ANHANG E (informativ) Charakterisierung eines ebenen Schirms für HEMP-Schutz	82
E.1 Einführung	82
E.2 Problematik der Geometrie	83
E.3 Darstellung durch ein Ersatzschaltbild	84
E.3.1 Darstellung der verketteten Parameter des Schirms	85
E.3.2 Schaltkreisverhalten.....	86
E.3.2.1 Ausdruck für die Oberflächenfelder	86
E.3.2.2 Ausdruck für die eindringenden Felder	87
E.3.2.3 Oberflächenimpedanz	87
E.3.2.4 Kopplungsimpedanz des Schirms.....	89
E.3.2.5 Kopplungsadmittanz.....	89
Literaturhinweise	90
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	92

Einleitung

IEC 61000 wird in getrennten 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 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 Internationalen Norm IEC 61000 legt die hinter HEMP-Prüfungen stehenden Grundlagen dar und gibt eine Kurzbeschreibung der wichtigsten Konzepte für die Prüfung von Schirmelementen. Zu jedem Prüfverfahren werden folgende grundlegenden Informationen bereitgestellt:

- theoretische Grundlagen der Prüfung (das Prüfkonzept);
- Prüfaufbau;
- erforderliche (Prüf-)Einrichtung;
- Prüfverfahren;
- Datenverarbeitung / Verarbeitung der Messergebnisse.

Diese Internationale Norm enthält keine Angaben zu Anforderungen hinsichtlich Prüfschärfegrade (Prüfpegel).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teiles der IEC 61000 sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieses Teiles der IEC 61000 werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

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

IEC 60096-1:1986, *Radio-frequency cables – Part 1: General requirements and measuring methods*.

IEC 60625 (alle Teile), *Programmable measuring instruments – Interface system (byte serial, bit parallel)*.

IEC 61000-2-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 9: Description of HEMP environment – Radiated disturbance. Basic EMC publication*.

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

ANSI/IEEE Std 488.1:1987, *Standard IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, 02-Feb-1988*.

3 Definitionen

Für die Anwendung dieses Teiles der IEC 61000 gelten die nachfolgenden Definitionen zusammen mit denjenigen aus IEC 60050(161).

3.1

Apertur

Öffnung in einem elektromagnetischen Schirm, durch die elektromagnetische Felder eindringen können

3.2

Apertur-Öffnung

der Begriff Apertur-Öffnung umfaßt beabsichtigte oder unbeabsichtigte Löcher, Spalten, Öffnungen oder andere Unterbrechungen in einer geschirmten Oberfläche

ANMERKUNG Beabsichtigte Apertur-Öffnungen werden für den Ein- und Austritt von Personen und/oder Einrichtungen und zur Ventilation durch eine elektromagnetische Sperre bereitgestellt

3.3

Dämpfung

Abschwächung der Amplitude (als Ergebnis von Absorption und Streuung) eines elektrischen oder magnetischen Feldes, eines Stroms oder einer Spannung, üblicherweise in Dezibel (dB) ausgedrückt

3.4

Bandbreite

3.4.1

einer Einrichtung

Breite eines Frequenzbandes, in der sich ein vorgegebenes Merkmal eines Gerätes oder eines Übertragungskanals um nicht mehr als einen festgelegten Wert oder ein festgelegtes Verhältnis von einem Bezugswert unterscheidet

[IEV 161-06-09]^{N1)}

3.4.2

einer Aussendung oder eines Signals

Breite des Frequenzbandes, außerhalb dessen der Pegel einer beliebigen Spektralkomponente einen vorgegebenen prozentualen Anteil eines Bezugspegels nicht überschreitet

[IEV 161-06-10]^{N2)}

3.5

Wellenleiter-Simulator

Ausführungsform eines Simulators für die Erzeugung elektromagnetischer Felder innerhalb eines begrenzten Raumbereichs, der als „Prüfvolumen“ dient

3.6

Kasten

geschlossene Umhüllung, die elektrische Einrichtungen enthält

ANMERKUNG Solche Kästen enthalten üblicherweise Baueinheiten von Subsystemen.

3.7

Breitband

3.7.1

einer Aussendung

Aussendung, deren Bandbreite größer als die eines bestimmten Messgeräts oder Empfängers ist

[IEV 161-06-11]^{N3)}

3.7.2

-Gerät

Gerät, dessen Bandbreite solcher Art ist, dass es alle Spektralkomponenten einer bestimmten *Aussendung* empfangen und verarbeiten kann

[IEV 161-06-12]^{N4)}

^{N1)} Nationale Fußnote: inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-16-09 geändert.

^{N2)} Nationale Fußnote: inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-16-10 geändert.

^{N3)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-16-11 geändert.

^{N4)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-16-12 geändert.

3.8

Schaltkreis

Anordnung von untereinander verbundenen elektronischen Bauteilen, die einen oder mehrere in sich geschlossene Strompfade bilden

3.9

leitender Einführungspunkt

Durchdringungsleiter

elektrische Leitung, elektrisches Kabel oder anderes leitfähiges Objekt, wie z. B. eine Metallschiene, die (das) durch die elektromagnetische Sperre hindurchführt

3.10

Kopplung

Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Feldern und elektrischen Systemen, wobei ein Teil der Energie der Felder auf das System übertragen werden

3.11

Stromeinspeisung

Vorgang, bei dem durch äußere Maßnahmen ein Stromfluss in einem Schaltkreis an einer bestimmten Stelle erzwungen wird. Bei EMP-Prüfungen ist dies ein Verfahren, bei dem nachgebildete transiente EMP-Stromimpulse in ein Bauteil, einen Stromkreis oder ein System eingespeist werden, um Schwellen für die Zerstörung oder Funktionsausfall („Funktionsabsturz“) zu ermitteln

3.12

Stromeinspeisungsprüfung (en: „current injection test“, CIT)

Prüfverfahren, das die Stromeinspeisung verwendet

3.13

Grenzfrequenz (eines Hohlleiters)

die tiefste Frequenz, bei der die elektromagnetischen Felder, die sich in einem verlustfreien Hohlleiter ausbreiten, nicht gedämpft werden. Unterhalb dieser Frequenz werden diese Felder entlang des Hohlleiters exponentiell in Abhängigkeit von der Strecke im Hohlleiter gedämpft

3.14

Dipol

eine üblicherweise in der Mitte gespeiste stabförmige Antenne, die ihre maximale Abstrahlung in der Ebene senkrecht zur Richtung ihrer Hauptachse besitzt

3.15

Direkterregung

Anregung eines elektrischen Systems durch direktes Anlegen einer Spannungs- oder Stromquelle (die entweder eine transiente oder eine kontinuierliche Welle erzeugt) an Systemkabel oder an Oberflächen zur Nachbildung der Auswirkungen von transienten elektromagnetischen Impulsen (siehe auch Stromeinspeisung)

3.16

direkte Eindringung eines Feldes

Durchdringung einer Systemabschirmung durch das elektromagnetische Feld

3.17

Ausbreitungsrichtung

Richtung des Vektors k der Ausbreitungsrichtung einer ebenen Welle, der senkrecht zu der Ebene, die durch die Vektoren der Ausbreitungsrichtung des elektrischen und magnetischen Feldes gebildet wird, steht

3.18

elektrische Feldstärke (E)

in V/m gemessene Größe des Vektors der elektrischen Feldstärke einer elektromagnetischen Welle oder eines Feldes, die (das) durch Verteilung der elektrischen Ladung verursacht wird

3.19

elektromagnetische Sperre

topologisch geschlossene Oberfläche, die dazu dient, das Eintreten von elektromagnetischen Feldern und leitungsgeführten Transienten in einen geschlossenen Raum zu verhindern. Die Sperre besteht aus einer geschirmten Oberfläche und Maßnahmen an Eintrittspunkten und umhüllt das geschützte Volumen.

3.20

elektromagnetische Störgröße

elektromagnetische Erscheinung, die die Funktion eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems beeinträchtigen oder lebende oder tote Materie ungünstig beeinflussen kann

[IEV 161-01-05]^{N5)}

3.21

elektromagnetische Umgebung

Gesamtheit der elektromagnetischen Erscheinungen an einem gegebenen Ort

[IEV 161-01-01]^{N6)}

3.22

elektromagnetischer Impuls (en: „electromagnetic pulse“, EMP);

nuklear-elektromagnetischer Impuls (en: „nuclear electromagnetic pulse“, NEMP)

alle Arten von elektromagnetischen Feldern, die durch eine Nuklearexplosion erzeugt werden. Auch als nuklear-elektromagnetischer Impuls (NEMP) bezeichnet

3.23

elektromagnetische Strahlung

a) Erscheinung, bei der Energie in Form von elektromagnetischen Wellen aus einer Quelle in den Raum austritt^{N7)}

b) Energie, die in Form elektromagnetischer Wellen im Raum übertragen wird

[IEV 161-01-10]^{N8)}

3.24

elektromagnetische Topologie

Beschreibung der Zusammenschaltung von Abschirmungen oder elektromagnetischen Begrenzungsflächen in einem System, welche die Einwirkung eines EMP aus der Umgebung auf ein System begrenzt

3.25

äußere Einkopplung

Vorgang, bei dem ein einfallendes elektromagnetisches Feld auf die äußeren Teile einer elektrisch leitfähigen Systemumhüllung einwirkt und dabei einen Strom und elektrische Ladung induziert

3.26

Schirmdichtung

flexibles Element, üblicherweise elektrisch leitend, das zur Abdeckung einer Gehäuseöffnung verwendet wird

3.27

Härtung

Vorgang zur Verringerung der Empfindlichkeit (Verletzlichkeit) eines Systems oder einer Komponente durch konstruktive Maßnahmen, d. h., Schutz vor oder Entkopplung von unerwünschten Umgebungen wie z. B. EMP

^{N5)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-11-05 geändert.

^{N6)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-11-01 geändert.

^{N7)} Nationale Fußnote: Wenn die Strahlung als unerwünschte Beeinflussung einer Einrichtung zu betrachten ist, wird der Ausdruck „Störstrahlung“ bevorzugt.

^{N8)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-11-10 geändert.

3.28

in großer Höhe erzeugter elektromagnetischer Impuls (en: „high altitude electromagnetic pulse“, HEMP)

elektromagnetischer Impuls, der durch eine außerhalb der Erdatmosphäre in Höhen typischerweise oberhalb 30 km stattfindende Nuklearexplosion erzeugt wird

3.29

magnetische Feldstärke (H)

Größe des Vektors der magnetischen Feldstärke einer elektromagnetischen Welle oder eines Feldes, das durch den Stromfluss in einer Leitung, einer Schleifenantenne usw. erzeugt wird

3.30

Gesamtschirmung; umfassende Schirmung

Schutz einer gesamten Einrichtung durch Benutzung einer einzigen Schirmhülle oder einer gleichwertigen praktischen Maßnahme, wie z. B. der Schutz aller Einrichtungen in einem gesamten Gebäude durch Abschirmung des gesamten Gebäudes

3.31

Parallel-Platten-EMP-Simulator

Prüfgerät, bei der das elektromagnetische Feld zwischen den Platten eines Parallelplatten-Wellenleiters benutzt wird, um einen EMP nachzubilden. Ein derartiger Simulator besteht gewöhnlich aus einem Puls-generator, pyramidenförmig zulaufenden Eingangs- und Ausgangsabschnitten des Wellenleiters und einem Abschlusswiderstand zur Minimierung von Reflektionen

3.32

Durchdringung

Übertragung von elektromagnetischer Energie durch eine elektromagnetische Sperre von einem Volumen zum anderen. Dies kann erfolgen durch Diffusion des Feldes durch eine Begrenzungsfläche, durch Leckfelder durch Aperturen und durch elektrische Ströme in Leitern, die die beiden Volumen verbinden (Drähte, Kabel, Durchführungen, Rohre, Kabelschächte usw.)

3.33

Durchdringungspunkt

Eintrittspunkt (en: „point-of-entry“; „port-of-entry“ (PoE))

physikalischer Ort (Punkt) auf einer elektromagnetischen Sperre (Begrenzungsfläche), wo elektromagnetische Energie in einen topologischen Raum eindringen oder aus ihm austreten kann, sofern kein geeignetes Schutzgerät vorhanden ist. Ein PoE ist nicht auf einen geometrischen Punkt beschränkt. Durchdringungspunkte werden entsprechend der Art des Durchtritts als Apertur-Durchdringungspunkte oder leitende Durchdringungspunkte klassifiziert. Sie werden auch entsprechend ihrer Funktion als architektonische, mechanische, strukturelle oder elektrische Durchdringungspunkte klassifiziert

3.34

PoE-Schutzgerät

PoE-Schutzmaßnahme

Schutzmaßnahme, die zur Verhinderung oder Begrenzung des Eindringens von elektromagnetischer Energie in ein geschütztes Volumen an einem PoE verwendet wird. Gemeinsame PoE-Schutzgeräte schließen Hohlleiter unterhalb der Grenzfrequenz, Deckel auf Apertur-Durchdringungspunkten sowie Filter und elektrische Überspannungsableiter an den Durchdringungsleitern ein

3.35

geschütztes Volumen; Schutzzone

dreidimensionaler Raum, der von einer elektromagnetischen Sperre (Begrenzungsfläche) umschlossen wird

3.36

Impuls

sprunghafte, kurzzeitige Änderung einer physikalischen Größe, der eine schnelle Rückkehr zum ursprünglichen Zustand folgt

[IEV 161-02-02]^{N9)}

3.37

Hochfrequenz (HF)

Frequenz im elektromagnetischen Spektrum, die zwischen dem Tonfrequenz- und Infrarot-Bereich liegt

ANMERKUNG Manchmal werden Frequenzen des Tonfrequenzbereichs als zugehörig betrachtet.

3.38

schirmdurchdringende Felder

Felder, die innerhalb geschlossener Gehäuse vorgefunden werden. Solche inneren Felder können auftreten, weil der Schirm aus Material mit endlicher Leitfähigkeit gemacht und/oder wenn er unzureichend ist (durch das Vorhandensein von Löchern oder anderer Aperturen)

3.39

geschirmtes Gehäuse

geschirmter Raum

Gehäuse aus metallischen Maschen oder Blechen, das speziell für die elektromagnetische Trennung von innerer und äußerer Umgebung bestimmt ist

[IEV 161-04-37]^{N10)}

3.40

Schirmdämpfungsminderung

allgemeine oder örtlich begrenzte Verringerung der elektromagnetischen Schirmdämpfung als Auswirkung von Öffnungen, Durchdringungen, Abnutzung, unsachgemäßem Gebrauch usw.

3.41

Schirmdämpfung (en: „shielding effectiveness“, SE)

üblicherweise in Dezibel (dB) ausgedrücktes Maß für die Verringerung oder Dämpfung der Feldstärke des elektromagnetischen Felds an einem Punkt im Raum, die durch die Einfügung eines Schirms zwischen der Quelle und diesem Punkt verursacht wird

3.42

Skineffekt (auch Hauteffekt)

Effekt der Verdrängung (Konzentration) elektrischer Wechselströme an die (der) Oberfläche eines Leiters. Der Skineffekt erhöht den Widerstand eines Leiters mit zunehmender Frequenz des elektrischen Stroms.

3.43

System

- a) Anordnung von Untersystemen, Geräte-Zusammenstellungen und/oder Komponenten, die in einer einheitlichen Weise zusammenwirken, um eine grundlegende Aufgabe erfüllen
- b) Zusammenstellung von Einrichtungen, Untersystemen, geschultem Personal und technischen Verfahren, die in der Lage ist, eine festgelegte betriebliche Funktion durchzuführen oder zu unterstützen. Ein komplettes System schließt aufeinander bezogene Ausrüstungen, Einrichtungen, Untersysteme, Materialien, Dienste und Personal ein, die für seinen Betrieb bis zu dem Grad benötigt werden, bei dem es als selbstständig funktionierend innerhalb seiner betrieblichen oder unterstützenden Umgebung angesehen werden kann

3.44

Transiente

bezeichnet eine Erscheinung oder Größe, die sich während eines auf der betrachteten Zeitskala kleinen Zeitintervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden stationären Zuständen ändert

[IEV 161-02-01]^{N11)}

^{N9)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-12-02 geändert.

^{N10)} Nationale Fußnote: inzwischen wurde diese Definition in IEV 161-14-40 geändert.

3.45

Transienten-Schutzgerät (en: „transient protection devices“, TPD, sowie „transient suppression devices“, „transient attenuation devices“)

Gerät, das einen leitenden Eintrittspunkt (PoE) schützt. Es kann z. B. aus der Anordnung von einem oder mehreren der folgenden Teile bestehen: eine Funkenstrecke, ein Metalloxid-Varistor (MOV) oder ein Filter. Diese Geräte werden zur Verringerung der elektromagnetischen Störgrößen, die eine elektromagnetische Sperre durchdringen, verwendet

3.46

Wellenimpedanz

in Ω ausgedrücktes Verhältnis zwischen elektrischer und magnetischer Feldstärke am Beobachtungsort

3.47

Hohlleiter unterhalb der Grenzfrequenz

Hohlleiter, dessen Hauptzweck die Dämpfung von elektromagnetischen Wellen auf Frequenzen unterhalb seiner niedrigsten Grenzfrequenz ist, wobei er jedoch gleichzeitig eine physikalische Öffnung in den geschirmten Raum hinein darstellt

3.48

Wabenkamin

Anordnung von parallelen Hohlleitern unterhalb der Grenzfrequenz, die benutzt wird, wenn der Bereich einer Schirm-Apertur, der für die Sicherstellung eines angemessenen Luft- oder Flüssigkeitsstroms innerhalb begrenzter Druckverhältnisse erforderlich ist, größer ist als der zulässige Bereich eines einzelnen Hohlleiters unterhalb der Grenzfrequenz

3.49

Maschendraht

angeschlossenes Drahtgeflecht, das üblicherweise zum Schutz von Aperturen in elektromagnetischen Sperren (Begrenzungsflächen) verwendet wird

4 HEMP-Prüfkonzepte

Eine Schlüsselrolle beim HEMP-Schutz spielt die Gesamtbeschreibung und das Auslegungskonzept der *elektromagnetischen Schirmtopologie* eines Systems. Dadurch wird das Lokalisieren und Charakterisieren der verschiedenen Oberflächen (oder elektromagnetischen Sperren) innerhalb der gegen HEMP-Beeinflussung geschützten Bereiche (Gehäuse, Volumen), die das System umschließen, ermöglicht. Gewöhnlich werden diese Oberflächen aus leitendem Material hergestellt, wie z. B. bei Metallschirmen. In tatsächlichen Systemen müssen für den üblichen Betrieb und die Funktionsfähigkeit der im Inneren vorhandenen Einrichtungen (Geräte) Öffnungen in den Abschirmwänden vorhanden sein. Diese Öffnungen verschlechtern die Schirmung, und wenn diese Verschlechterung zu stark ist, müssen verschiedene Arten von HEMP-Schutzgeräten an diesen Durchdringungspunkten im Schirm vorgesehen werden. Die Lage der verschiedenen Durchdringungspunkte und die Art der Schutzgeräte bestimmen Ort und Art der durchzuführenden Prüfungen für den Nachweis der Systemabschirmung.

Als Beispiel wird der hypothetische Fall eines Gebäudes, in dem ein stark geschirmter Raum vorhanden ist, betrachtet. Hierbei wird angenommen, dass innerhalb des geschirmten Raumes mehrere durch Abschirmkabel und Verbindungsstecker miteinander verbundene Gerätegehäuse vorhanden sind. Die erste Schirmungsoberfläche in diesem System ist die Gebäudeoberfläche. Abhängig von der Art des Gebäudes kann diese einen wesentlichen Beitrag zur Abschirmung des Gebäudeinneren beisteuern (oder auch nicht beisteuern). Große Öffnungen in Form von Türen und Fenstern sowie leitende Eintrittspunkte für elektrische Stromversorgungs- und Kommunikationsleitungen können vorhanden sein. Um das Schirmungsmaß dieser Umhüllung festzustellen, müssen Prüfungen dieser individuellen Eindringungsmechanismen durchgeführt werden.

Innerhalb des Gebäudes ist das HEMP-Feld durch die Gebäudewände oder -hülle etwas gedämpft. Somit ist die innerhalb des geschirmten Raumes auftretende elektrische Störgröße etwas niedriger als das Feld der äußeren HEMP-Umgebung. Da der innere Schirmraum speziell für die Abschwächung von elektromagnetischen

^{N11)} Nationale Fußnote: Inzwischen wurde diese Definition in IEC 161-12-01 geändert.

schen Feldern in seinem Inneren entwickelt wurde, darf ordnungsgemäße Funktion unterstellt werden – wenn die an den verschiedenen Durchdringungspunkten angebrachten Schutzgeräte wirksam sind. Feld-eindringung durch Wandspalten und Wandnähte, Diffusion durch das Schirmungsmaterial hindurch und leitende Durchdringung entlang von Signalleitungen sind die Hauptwege für das Eindringen von Energie in den geschirmten Raum.

Innerhalb des Schirmraums bilden die elektrisch leitenden äußeren Teile der Gerätegehäuse und die geschirmten Kabel die dritte elektromagnetische Sperre in diesem hypothetischen System. Wie oben beschrieben, kann die elektromagnetische Energie in diese inneren Kästen durch leitende Durchdringung, Durchdringung durch Aperturen und über Diffusion eindringen. Außerdem kann das Eindringen von Energie durch Kabelgeflechte und Steckverbinder entlang der die verschiedenen inneren Gerätegehäuse verbindenden Leitungen stattfinden.

Anhang A beschreibt Prüfkonzepte für sowohl leitungsgeführte als auch gestrahlte Störgrößen. In diesem Abschnitt werden verschiedene Verfahren zur Prüfung der nur gegen gestrahlte HEMP-Umgebungsstörgrößen wirkenden Schutzmaßnahmen beschrieben. Diese Prüfungen umfassen die direkte Erzeugung von elektromagnetischen Feldern, die auf Gerätegehäuse oder Abschirmungen einwirken, oder das Einspeisen von Schirmungen mit Strömen und elektrischer Ladung, um das Verhalten der Strukturen bei der Wechselwirkung mit einstrahlenden Feldern nachzuahmen. Im Schlussteil dieses Abschnitts wird ein kurzer Überblick über die verschiedenen HEMP-Prüfkonzepte und Prüfverfahren in bezug auf einstrahlende Felder gegeben. Die spezifischen Prüfverfahren werden in **Abschnitt 5** vorgestellt.

4.1 Prüfung von geschirmten Gehäusen

Es gibt unterschiedliche Verfahren zur Charakterisierung des Abschirmverhaltens von Schutzgehäusen. Nachfolgend werden verschiedene Prüfkonzepte, die Auskunft über das Abschirmverhalten der betrachteten Abschirmelemente geben, beschrieben. Dabei erfolgt keine Beschäftigung mit der Frage, wie Schutz-elemente funktionieren und innerhalb der Gesamtabschirmung zusammenwirken, welches schließlich zum Gesamtverhalten gegen den HEMP führt. Auch erfolgt keine Beschäftigung mit Aspekten von speziellen Systemuntersuchungen, sogenannte „Rauch-“ (Ausbrenn-) oder „Bestanden/Nicht-Bestanden-Prüfungen“ sowie System-Ausfall-Prüfungen, die sich auf die Beobachtung des Gesamtverhaltens auf der Systemebene abstützen. **Anhang A** sollte hinsichtlich zusätzlicher Informationen über diese Arten von HEMP-Prüfungen zu Rate gezogen werden. Stattdessen werden Prüfverfahren zum Nachweis des Schutzgrades, der von speziellen Abschirmkomponenten innerhalb eines Systems erreicht wird, dargelegt, und es wird aufgezeigt, was im Rahmen dieser Prüfungen gemessen werden sollte.

Feld-Übertragungs-Funktionen

Ein allgemein gebräuchliches Maß für die Abschirmung ergibt sich durch die Untersuchung der Feldstärke des inneren elektromagnetischen Feldes im Vergleich zur Feldstärke des äußeren Erregungsfeldes (d. h. des Feldes bei nicht vorhandenem Gebäude). Da die äußere und innere Störumgebung entweder in Einheiten des *E*-Feldes oder des *H*-Feldes definiert werden kann und weil diese Werte Vektorgößen darstellen, ist eine Vielzahl von Feldkombinationen möglich. Darüber hinaus verändern sich diese Felder naturgemäß in Abhängigkeit von der Zeit aufgrund des natürlichen Transienten-Verlaufs der HEMP-Bedrohung.

Bei Betrachtung der inneren und äußeren Felder, aufgelöst in ihre Spektren im Frequenzbereich, wird ein Maß für die Gebäudedämpfung durch die Feldübertragungsfunktion $T(\omega)$ bereitgestellt, die das Verhältnis zwischen passend gewählten Feldgrößen ist, wiedergegeben als

$$T(\omega) = \frac{A_{\text{ein}}(\omega)}{A_{\text{aus}}(\omega)} \quad (1)$$

Dabei ist

A_{aus} die Spektralkomponente des Vektors entweder des erregenden *E*- oder des erregenden *H*-Feldes außerhalb der Anlage und

A_{ein} die Komponente entweder des *E*- oder des *H*-Feldes innerhalb des Gebäudes.

Abhängig von der Auswahl der Messeinheiten für die inneren und äußeren Felder kann dieses Verhältnis entweder dimensionslos sein oder in den Dimensionen der Impedanz (in Ω) oder Admittanz (in Siemens (S)) angegeben sein.

Die Feld-Übertragungs-Funktion in Gleichung (1) ist eine komplexe Funktion, die sowohl einen Amplituden- als einen Phasenwert besitzt. Eine Darstellung einer gemessenen H -Feld-Übertragungsfunktion zwischen dem inneren H -Feld und dem erregenden äußeren H -Feld für das Beispiel einer Gehäuseabschirmung ist in Bild 1 gezeigt. Wenn eine genaue Darstellung der inneren transienten Felder anhand der Messungen von $T(\omega)$ durchzuführen ist, müssen beide Größen gemessen werden. Wenn für das Gebäude nur eine relative Anzeige der Dämpfung als Funktion der Frequenz gewünscht wird, ist es ausreichend, nur den Betrag zu messen $|T(\omega)|$.

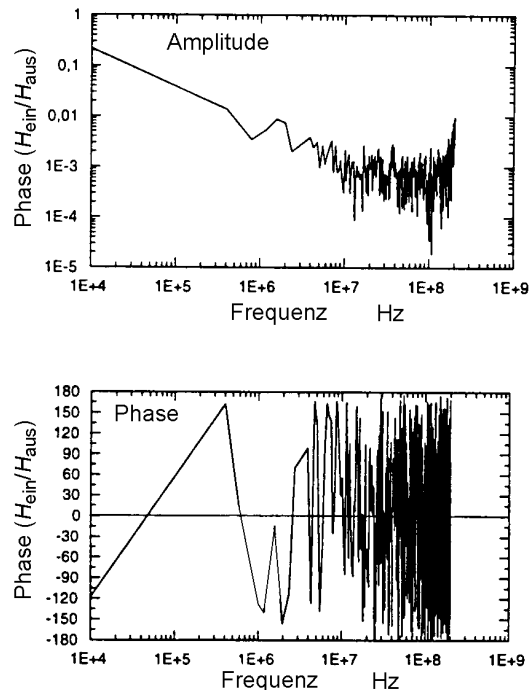


Bild 1 – Beispiel für die gemessene Amplitude und Phase der Übertragungs-Funktion $T(\omega) = H_{ein}/H_{aus}$ für ein geschirmtes Gehäuse

Schirmdämpfung

Die Schirmdämpfung einer Anlage hängt eng mit der oben beschriebenen Schirm-Übertragungsfunktion zusammen, wobei die relativen Beträge zweier gleichartiger Feldkomponenten innerhalb eines Frequenzbereichs verglichen werden. Jedoch enthält diese Größenangabe weniger Information, weil die Information über die Phasenlage fehlt. Die Schirmdämpfung des Gehäuses wird definiert als

$$SE_A = 20 \log_{10} \left(\frac{|A_{aus}|}{|A_{ein}|} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{|T_A(\omega)|} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

Darin sind A_{aus} und A_{ein} passend definierte äußere und innere E - oder H -Feldstärkewerte. Somit ist die Darstellung der Feldstärkeamplitude unmittelbar bezogen auf die Größe der Feld-Übertragungsfunktion.

Wegen der grundsätzlichen Unterschiede der Abschirmungsmechanismen gegen elektrische und magnetische Felder im unteren Frequenzbereich weichen die Kurven der Schirmdämpfung gegen elektrische Felder, unten als SE_E bezeichnet, bei niedrigen Frequenzen deutlich im Vergleich zu denjenigen gegen magnetische Felder, unten als SE_H bezeichnet, voneinander ab. Bild 2 zeigt die theoretische Schirmdämpfung, wie sie von einem geschlossenen Aluminiumgehäuse mit einer Wandstärke von 0,5 mm bereitgestellt wird. Dieses Bild verdeutlicht die physikalische Tatsache, dass bei Frequenzen bei etwa 1 MHz die Werte der Schirm-

dämpfung gegen beide Felder ungefähr gleich sind. Im allgemeinen ist SE_H bei niedrigen Frequenzen (unterhalb 100 kHz) kleiner als SE_E aufgrund der Tatsache, dass niederfrequente magnetische Felder schützende Gehäusewandungen leichter durchdringen können als elektrische Felder. Aus diesem Grund wird oft nur die magnetische Schirmdämpfung eines Gehäuses angegeben, um ein Gehäuse zu charakterisieren.

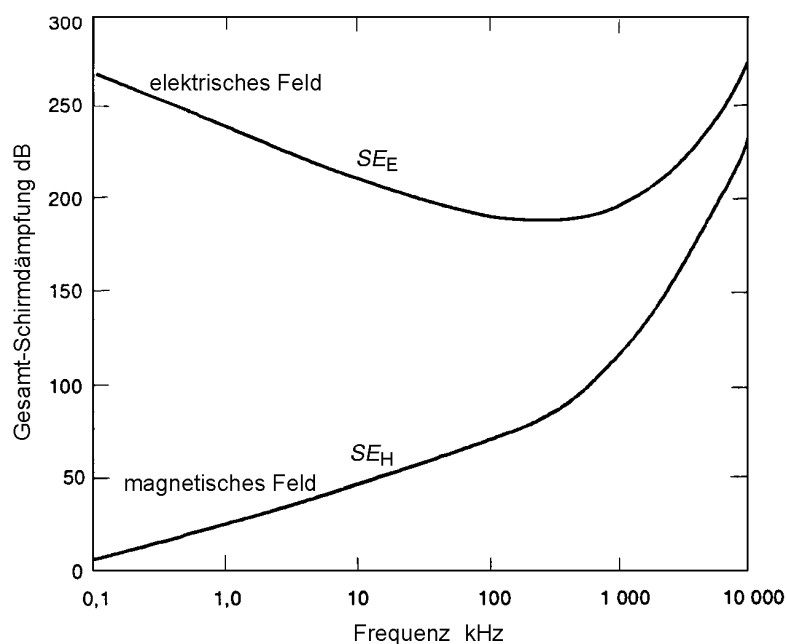


Bild 2 – Schirmdämpfung eines Aluminiumgehäuses mit 0,5 mm Wandstärke gegen das elektrische und magnetische Feld [28]¹⁾

Als ein weiteres Beispiel für die gemessene Schirmdämpfung eines reellen Gehäuses gegen das magnetische Feld verdeutlicht Bild 3 das Verhalten des Wertes SE_H , gemessen für das gleiche Gebäude wie in Bild 1 betrachtet. Es sollte beachtet werden, dass der Verlauf der Schirmdämpfung zahlreiche Spitzen und Nullstellen hat, die den internen und externen Resonanzstellen des Gehäuses entsprechen. Gleichermäßen treten in Ergänzung zu den einfach durch das Schirmungsmaterial durchdringenden Feldern frequenzabhängige Feldeinkopplungen auf.

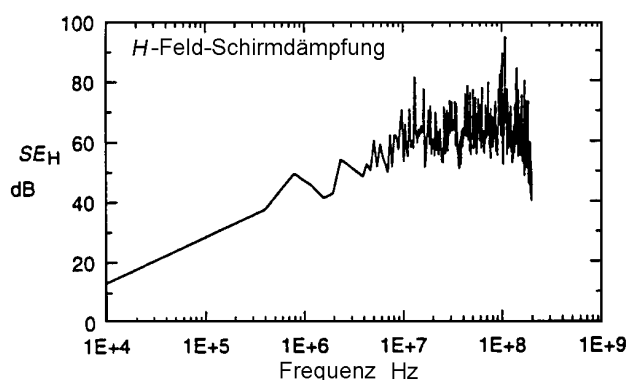


Bild 3 – Gemessene Schirmdämpfung SE_H eines Gebäudes gegen magnetische Felder

¹⁾ Zahlenangaben in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.

4.1.1 Gebäude

Bei einem Gebäude, wie es in Bild 4 dargestellt ist, entsteht die innere Antwort auf eine HEMP-Einkopplung hauptsächlich aufgrund von leitenden und Apertur-Durchdringungen. Somit sollte jegliche Prüfung der Schirmdämpfung des Gehäuses dafür sorgen, dass diese Kopplungspfade angemessen angeregt werden. Die Felddurchdringung über Diffusion durch die Gesamtabschirmung (d. h. die Wände des Gehäuses) ist hier im allgemeinen gering.

Das HEMP-Prüfkonzept für physikalisch große Gebäude erfordert die Feldsimulation an der Außenfläche des Prüfobjekts (siehe die Betrachtung der unterschiedlichen Prüfstandorte in Bild A.1). Für diese Felderregung ist die Messung der geeigneten inneren Antwort, die durch dieses äußere Feld hervorgerufen wird, erforderlich.

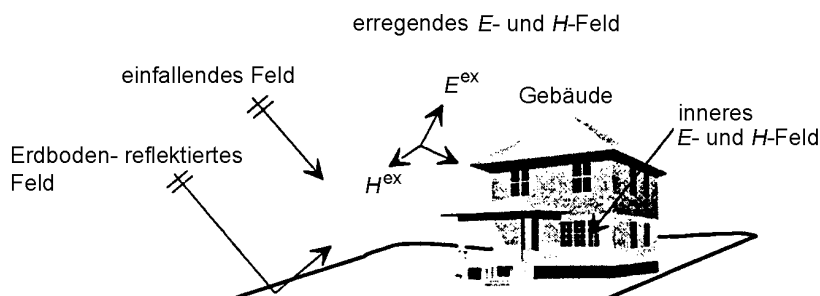


Bild 4 – Prinzipdarstellung der HEMP-Prüfung eines Gebäudes

Die auf der Außenseite eines Gebäudes simulierte HEMP-Felderregung wird durch nachfolgende Parameter wiedergegeben (siehe IEC 61000-2-9):

- die Wellenform (wie z. B. Amplitude, Flankensteilheit und Abfallzeit) des einfallenden Feldes (zuzüglich dem vom Erdboden reflektierten Feld, soweit vorhanden);
- die Polarisationsrichtung des Erregerfeldes;
- die Abmessungen der durch das simulierte Feld bestrahlten Fläche auf der Außenseite des Systems.

Einzelheiten, wie dieses äußere Feld erzeugt oder angenähert wird, sind in 5.1 enthalten.

Unterschiedliche Arten von inneren Antwortfunktionen können für die Beschreibung der Schirmdämpfung einer Einrichtung (Anlage) herangezogen werden. Diese schließen die inneren E - oder H -Felder oder die auf inneren Leitungen induzierten Spannungen und Ströme ein. Folglich können unterschiedliche Maßgrößen für die Schirmung für jedes einzelne System erzeugt werden. Darüber hinaus kann die Lage des internen Beobachtungspunktes variiert werden, wodurch wiederum erheblich unterschiedliche Messwerte für die Güte der Schirmung erzielt werden.

4.1.2 Schirmkabinen und -räume

Für eine Schirmkabine oder einen abgeschirmten Raum wird angenommen, dass die nachgebildete HEMP-Umgebung auf das Äußere der Schirmhülle einwirkt, wobei angenommen wird, dass die einfallenden HEMP-Felder die hauptsächliche Erregung für den Aufbau darstellen. Folglich sind die Prüfkonzepte für diese Gehäuse ähnlich denjenigen, wie sie für große Gebäude angewandt werden. Diese kleineren Schirmhüllen können gleichermaßen beschrieben werden durch

- eine komplexe Feld-Übertragungs-Funktion oder
- die Schirmdämpfung.

Es sollte hierbei jedoch beachtet werden, dass in die Einrichtung (Anlage) auch transiente Signale über Stromversorgungsleitungen geleitet werden und diese getrennt berücksichtigt werden müssen, wie dies in IEC 61000-5-3 dargelegt ist.

Der Hauptunterschied zwischen großen Gebäuden und Schirmkabinen oder geschirmten Räumen ist, dass die letztgenannten kleineren Gehäuse einen wesentlich höheren HEMP-Schutzgrad zur Verfügung stellen, da

sie speziell zur Bereitstellung eines hohen Grades an Schirmung entwickelt werden. Folglich sind die Amplituden der inneren Signale üblicherweise kleiner als diejenigen im Fall von Gebäuden. Dies macht die Messungen empfindlicher gegen Geräusche. Zusätzlich treten durch die kleineren Abmessungen die inneren Raumresonanzen in höheren Frequenzbereichen auf. Daraus ergibt sich, dass über einen weiten Frequenzbereich für derartige Gehäuse praktisch fest vorgegebene Abschirmtechniken anwendbar sind (siehe IEC 61000-5-3).

Bild 5 zeigt das Muster eines geschirmten Raumes mit mehreren Eintrittspunkten innerhalb der Abschirmung.

ANMERKUNG Leitende Durchdringungen bei Stromversorgungs- und Signalleitungen werden nicht dargestellt, da sie in der IEC 61000-4-25 getrennt betrachtet werden.

Die Charakterisierung der Gesamtabschirmung durch die Übertragungsfunktion $T(\omega)$ oder die Schirmdämpfung SE liefert ein allgemeines Maß für die Einkopplungseffekte durch alle Durchdringungsmechanismen, die in Bild 5 dargestellt sind. Die internen Felder entstehen sozusagen durch die Einkopplung über alle PoE's zusammen, zusätzlich zur Felddiffusion durch das Abschirmmaterial. Es gibt unterschiedliche Prüfverfahren zur Charakterisierung des Schutzes, der durch die einzelnen Arten von Durchdringungen (wie z. B. Schirmdichtungen, Lufteinlässe, geschirmte Kabelkanäle usw.) bereitgestellt wird, und diese werden in 4.3 betrachtet.

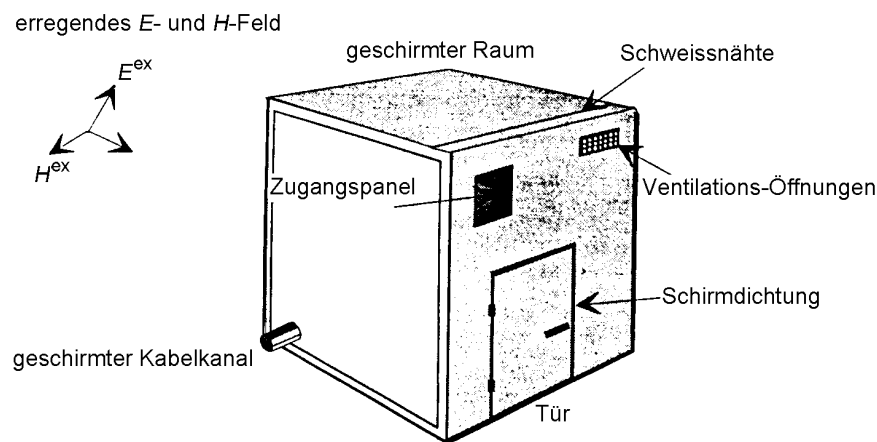


Bild 5 – Darstellung eines durch HEMP-Felder erregten geschirmten Raumes oder Gehäuses

4.1.3 Geräteschränke, Gerätegestelle und Schirmgehäuse

Diese Gehäuse werden typischerweise innerhalb existierender elektromagnetischer Sperren aufgestellt, wodurch die Umgebung des erregenden Feldes beträchtlich verändert wird. Ein innerer Kasten oder ein Geräteschrank wird durch eine Kombination des inneren elektromagnetischen Feldes und eingespeister Ströme erregt, die von anderen Einrichtungen (Geräten) kommen, die ebenfalls durch die lokalen Felder erregt werden. Dieses ist in Bild 6 dargestellt.

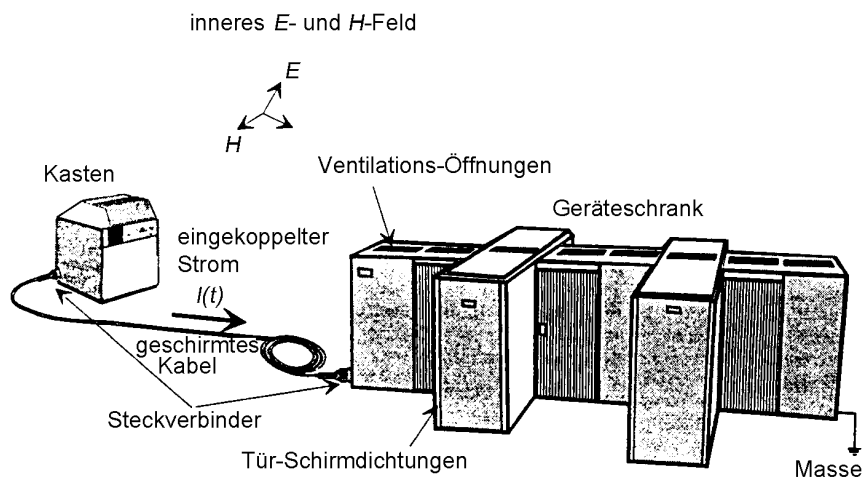


Bild 6 – Darstellung von Gerätegestellen, Geräteschränken und eines Gerätegehäuses, die durch innere HEMP-Störgrößen erregt werden

Prüfung durch Feldbestrahlung

Bei Prüfungen von derartigen Gehäusen, die die elektromagnetischen Felder innerhalb eines größeren Gehäuses einbeziehen, kann das vorstehend dargelegte Konzept der Feldbestrahlung übernommen werden, um die durch die Einrichtung (das Gerät) bereitgestellte Gesamtabschirmung zu messen. Wie zuvor kann diese Abschirmung beschrieben werden durch

- eine komplexe Feld-Übertragungsfunktion oder
- die Schirmdämpfung des Gehäuses.

Aufgrund der geringeren Größe dieser Gehäuse können sich jedoch wegen der höheren Packungsdichte der internen elektronischen Bauteile Schwierigkeiten bei der Messung ergeben. Dies macht es oft schwierig, für die Aufstellung der elektromagnetischen Feldsonden innerhalb des Gehäuses geeignete Plätze zu finden. Ferner bestehen große Unsicherheiten bei der Beschreibung der HEMP-Feldumgebung, weil die Prüfung an der Oberfläche des Kastens oder des Gehäuses durchgeführt wird. Schließlich kann die Verbindung der verschiedenen Teile der Einrichtungen (Geräte) untereinander ziemlich komplex sein, und wenn ein einzelner Kasten (ein einzelnes Gehäuse) oder ein einzelnes Gerätegestell geprüft wird, kann die gemessene Antwort beträchtlich von derjenigen abweichen, die gefunden wird, wenn dieser (dieses) mit dem Rest des Systems verbunden ist. Einzelheiten zu den Feldprüfungen dieser Gehäuse sind in [Abschnitt 5](#) dargestellt.

Schirm-Kopplungsimpedanz

Als Alternative zur Feldprüfung von Kästen und Gehäusen ist das Konzept der Kopplungsimpedanz des Gehäuses zu verwenden, siehe Anhang E. Dieses ist der in [4.2](#) betrachteten Behandlung von geschirmten Kabeln ähnlich und bezieht die Prüfung des Kastens (Gehäuses) auf der Ebene des Gerätes innerhalb des Systems ein. Hierbei wird ein Strom $I(t)$ auf die Oberfläche eines Kastens (Gehäuses) oder Gestells eingespeist und dabei die Leerlaufspannung $V_{oc}(t)$ an einem geeigneten internen Sensorleiter gemessen. Bei dieser Art des Messens ist es wichtig sicherzustellen, dass der eingespeiste Strom über die Außenfläche des Kastens (Gehäuses) in der gleichen Weise fließt, als wenn der Kasten (das Gehäuse) mit dem Rest des Systems verbunden wäre. Dies setzt voraus, dass der Stromableitpunkt (die Masseverbindung) vorhanden sein muss, damit der eingespeiste Strom korrekt abgeleitet wird.

[Bild 7](#) zeigt ein allgemeines, geschirmtes (Muster-)Gehäuse, das von außen mit einem Strom erregt wird. Genau an der Innenseite der Hülle ist an den Punkten a und b ein Sensor-Draht mit dem Schirm verbunden und die Leerlaufspannung V_{oc} wird gemessen. Die Kopplungsimpedanz dieses Gehäuses ist eine Größe mit komplexem Wert, definiert in Einheiten des Frequenzspektrumsanteils, als

$$Z_t(\omega) = \frac{V_{oc}(\omega)}{I(\omega)} \quad (3)$$

Dabei ist

$I(\omega)$ der induzierte Strom und

$V_{oc}(\omega)$ die auf dem Sensorleiter gemessene Leerlaufspannung.

Dieser Wert der Schirm-Kopplungsimpedanz variiert in Abhängigkeit von der Lage der für die Bestimmung der Leerlaufspannung verwendeten Anschlüsse innerhalb des Gehäuses. Zur adäquaten Erfassung der durch das gesamte Gehäuse bereitgestellten Schirmung sollten die Anschlüsse zur Erfassung der Spannung innerhalb des Gehäuses nahe den Stromeinspeisungspunkten angeordnet sein.

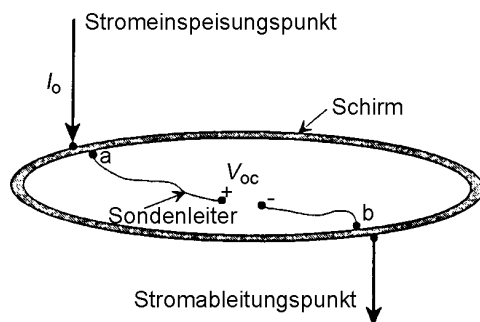


Bild 7 – Eine durch Stromeinspeisung erregte allgemeine Abschirmung

Die Schirm-Kopplungsimpedanz ist eine Funktion der elektrischen Eigenschaften des Schirmmaterials sowie der Abmessungen des Schirms und der Art jeglicher Unregelmäßigkeiten des Gehäuses, wie z. B. Nähte, Aperturen usw. In dem Sonderfall einer dünnen kugelförmigen Schirmung ohne Apertur-Durchdringungen ist es möglich, die Schirmdämpfung SE_H für das H -Feld durch die nachfolgende Beziehung zu berechnen, wenn die Schirm-Kopplungsimpedanz und der Gleichstromwiderstand der Schirmung gegeben sind:

$$SE_H = 20 \log_{10} \left| \frac{\left(\frac{a}{\Delta} (\gamma \Delta)^2 \right)}{3 \frac{Z_t}{R'}} \right| \quad (4)$$

Dabei ist:

- a der Radius eines dünnen kugelförmigen Schirms (in m);
- Δ die Wandstärke des Schirms (in m);
- γ die Ausbreitungskonstante des Schirmmaterials, gegeben durch $\gamma \approx \sqrt{j\omega\mu\sigma}$;
- σ die elektrische Leitfähigkeit des Schirmmaterials (in S/m);
- μ die magnetische Permeabilität des Schirmmaterials (in F/m);
- Z_t die Schirm-Kopplungsimpedanz (in Ω/m);
- R' der Gleichstromwiderstand je Längeneinheit des Schirms (in Ω/m).

4.2 Prüfung von geschirmten Kabeln und Steckverbindern

Geschirmte Kabel werden häufig für die Übertragung von Information zwischen Einrichtungen (Geräten), die innerhalb zweier Schutzgehäuse enthalten sind, benutzt. Hierbei lassen sich zwei verschiedene Übertragungsleitungen unterscheiden: eine äußere Übertragungsleitung, auf der Ströme und Ladungen auf der Außenoberfläche fließen, zusammen mit einem möglichen Rückstrom über die Masse, und eine innere Übertragungsleitung, die aus den Leitern innerhalb des Schirms besteht. HEMP-Felder können die äußere Übertragungsleitung erregen und, falls die Kabelschirmung unvollkommen ist, können ein Teil der äußeren Ströme und Ladungen durch den Schirm hindurchdringen und die innere Übertragungsleitung erregen. Dies führt zu einem unerwarteten Verhalten in der „geschützten“ Einrichtung (Gerät). In diesem Abschnitt werden Prüfkonzepte für diesen Kopplungsmechanismus untersucht.

[Anhang B](#) fasst wichtige Gesichtspunkte für die Charakterisierung eines Kabelschirms zusammen. Diese beziehen zwei Parameter ein: die Schirm-Kopplungsimpedanz und die Übertragungsadmittanz. Für die meisten praktischen Kabelschirme ist die Kopplungsimpedanz eine komplexe, frequenzabhängige Funktion, die Real- und Imaginärteile enthält, oder sie wird gleichwertig durch eine Amplituden- und Phasenfunktion ausgedrückt. Jedoch ist die Übertragungsadmittanz überwiegend imaginär und wird wirksam durch eine frequenzunabhängige Kapazität dargestellt.

Während die Kopplungsimpedanz nur eine Funktion der Eigenschaften des Schirms ist, hängt die Übertragungsadmittanz sowohl von der Schirmung als auch der Auslegung/Anordnung der äußeren Übertragungs-

leitung ab. Jedoch ist es möglich, eine gemessene Übertragungsadmittanz in eine andere Form umzuwandeln: in den Parameter der Schirmdurchlässigkeit, der von dem äußeren Schaltkreis unabhängig ist. [Abschnitt 4](#) betrachtet Prüfverfahren für die Kopplungsimpedanz und die Größe der Admittanz, wobei beachtet wird, dass die Höhe der letzteren Größe von den Einzelheiten des äußeren Schaltkreises abhängig ist, wie z. B. von der Höhe der Leitungsführung der äußeren Leitung, dem Drahtdurchmesser und der Beschaffenheit und Art der örtlichen Massefläche, die sich in der Nähe der Leitung befindet.

4.2.1 Prüfung von Kabelschirmen

Bestimmung der Kopplungsimpedanz

Obwohl es mehrere unterschiedliche Prüfanordnungen zur Messung der Kopplungsimpedanz eines Kabelschirms gibt, sind sie alle auf die in [Bild 8](#) gezeigte grundsätzliche Anordnung zurückzuführen. Hierbei speist eine äußere Spannungsquelle V_s das mit $x = 0$ bezeichnete Ende eines Kabelabschirms der Länge L , der über eine Kurzschlussleitung am gegenseitigen Ende des Kabels mit Masse (d. h. dem Bezugsleiter) verbunden ist. Die Impedanz Z_s der Spannungsquelle begrenzt den Stromfluss im Kabelmantel.

Der innere (Koaxial-)Leiter des geschirmten Kabels ist auf den Schirm am mit $x = L$ bezeichneten Ende kurzgeschlossen und die Leerlaufspannung V_i wird am mit $x = 0$ bezeichneten Ende gemessen. Unter der Annahme, dass

- die inneren und äußeren Übertragungsleitungen elektrisch kurz sind ($L \ll \lambda$) und
- die Erregung des inneren Kabels durch die von den Kabelenden eintretenden Felder vernachlässigbar ist,

kann die frequenzabhängige Kopplungsimpedanz des Kabelschirms aus der Gleichung (B.5a) aus [Anhang B](#) angenähert werden zu:

$$Z'_t(\omega) = R'_t(\omega) + j X'_t(\omega) \approx \frac{V_i}{I_e L} \approx \frac{Z_s}{L} \frac{V_i}{V_s} \quad \Omega/\text{m} \quad (5)$$

Dabei ist:

Z'_t die Schirm-Kopplungsimpedanz (in Ω/m);

ω die Winkelfrequenz (in $2\pi \times \text{Hz}$);

V_i die innere Leerlaufspannung auf dem Innenleiter (in V);

V_s die Erregungsspannung auf dem äußeren Stromkreis des Kabelschirms (in V);

L die Länge des Schirmleiters (in m);

Z_s die wirksame Quellenimpedanz der äußeren Spannungsquelle (in Ω).

Wenn diese Ausdrücke verwendet werden, ist es sehr wichtig sicherzustellen, dass die Leitung elektrisch kurz ist. Mit steigender Frequenz beginnt die Stromverteilung auf dem äußeren Kabel wegen der vom kurzgeschlossenen Ende ausgehenden Reflektionen periodische Nullstellen und Spannungsspitzen zu bilden. Dazu kommen interne Reflexionen, die vom Kurzschluss auf dem inneren Kabel ausgehen. Diese Welligkeiten sind die Quelle beträchtlicher Messfehler bei der Messung der Kopplungsimpedanz bei hohen Frequenzen.

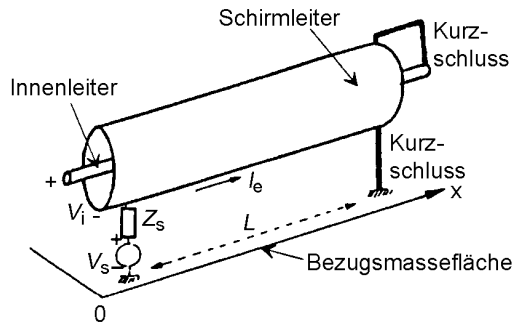


Bild 8 – Grundsätzliche Anordnung zur Messung der Kopplungsimpedanz

Bild 9 zeigt das typische Frequenzverhalten der gemessenen Kopplungsimpedanz für vier verschiedene Kabelgeflechte, die eine bemerkenswert gute Schirmung besitzen. Bei niedrigen Frequenzen ist Z_t' überwiegend reell mit einem Wert entsprechend dem Gleichstromwiderstand je Längeneinheit des Schirmes. Bei höheren Frequenzen beginnt die Felddurchdringung durch die Aperturen in dem Geflecht des Schirmes die Antwort des Innenleiters zu beeinflussen und die Güte der Abschirmung wird etwas vermindert. Mit dem Anwachsen der Kopplungsimpedanz bei hohen Frequenzen einhergehend ist eine Veränderung der elektrischen Phasenlage – eine Größe, die wesentlich ist, wenn ausführliche Berechnungen unter Verwendung des gemessenen Z_t' durchzuführen sind.

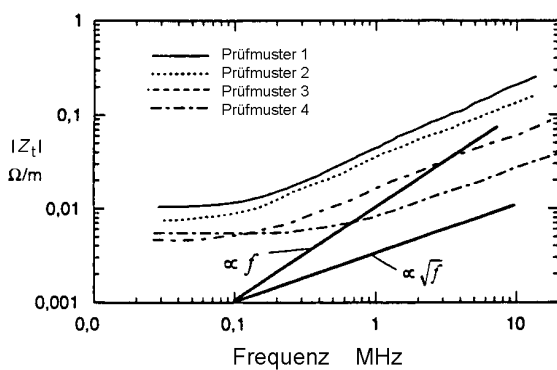


Bild 9a – Betrag

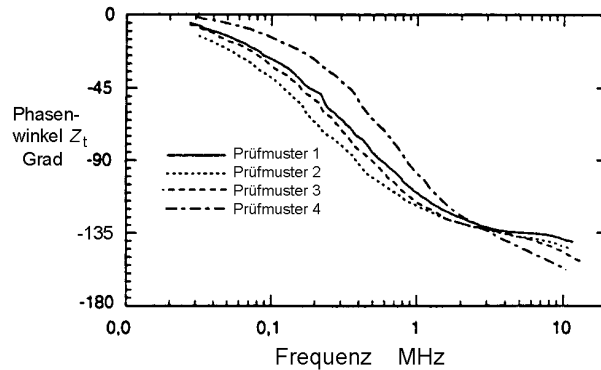


Bild 9b – Phase

ANMERKUNG Bei hohen Frequenzen sind die Kurven mehr zu dem Wert $\sqrt{f}$ als dem Wert f proportional, wodurch angezeigt wird, dass dieses Verhalten nicht einfach durch eine Induktivität wiedergegeben werden kann.

Bild 9 – Messwerte von Betrag und Phasenlage der Kopplungsimpedanz je Längeneinheit für vier Geflecht-Schirmkabel mit guten Schirmungseigenschaften

Bestimmung der Kopplungsadmittanz

Für die Ermittlung der Kopplungsadmittanz einer Kabelschirmung ist die in Bild 10 gezeigte prinzipielle Prüf-anordnung nützlich. Diese ist ähnlich der Prüfanordnung für Messungen der Kopplungsimpedanz, aber mit unterschiedlichen Abschlüssen an den Kabelenden. Unter Verwendung der Gleichung (B.5b) in Anhang B und bei den gleichen Annahmen wie für die Kopplungsimpedanz kann die Kopplungsadmittanz der Schirmung ausgedrückt werden durch

$$Y_t' \approx -\frac{1}{L} \frac{I_i}{V_s} \approx -j\omega C_i' C_e' S \quad \text{S/m} \quad (6)$$

Dabei ist:

- Y_t die Kopplungsimpedanz des Kabels (in S/m);
- I_i der Strom auf dem inneren Leiter (in A);
- V_s die Erregungsspannung auf dem äußeren Schaltkreis des Kabelschirms (in V);
- L die Kabellänge (in m);
- ω die Winkelfrequenz (in $2\pi \times \text{Hz}$);
- S der Parameter der Schirmdurchlässigkeit (in m/F);
- C_i' der innere Kapazitätsbelag des Koaxialkabels (in F/m);
- C_e' der äußere Kapazitätsbelag des Koaxialkabels (in F/m).

Somit ergibt sich aus der Messung des Stroms auf dem inneren Leiter, der von der äußeren Spannungsquelle hervorgerufen wird, die Kopplungsadmittanz. Mit der Näherung, dass der Wert Y_t rein reell ist, kann der Parameter der Schirmdurchlässigkeit bestimmt werden, wenn die Werte des inneren und äußeren Kapazitätsbelags des Koaxialkabels bekannt sind. Der Parameter S ist eine einzelne, reelle Zahl und hängt nur von den Eigenschaften des Geflecht-Schirmkabels ab. Somit ist er ein nützlicher Beschreibungsfaktor für Abschirmungen.

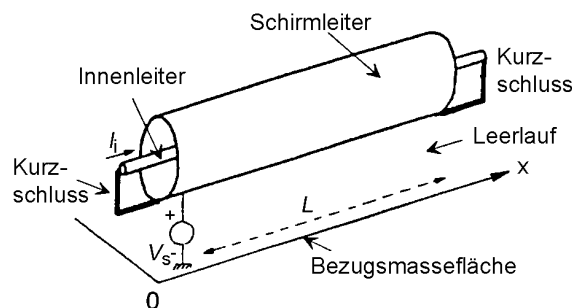


Bild 10 – Grundsätzliche Anordnung zur Messung der Übertragungsadmittanz

4.2.2 Prüfen von Kabelverbindern

Zur Bestimmung der Gesamtabschirmung von Kabelsystemen spielen Kabelverbinder oft eine wichtigere Rolle als der Schirm selbst. Dies rührt daher, weil ein Kabelverbinder innerhalb der Schirmung eine Unterbrechung einfügt und somit eine Unvollkommenheit der Schirmtopologie darstellt. Eine Möglichkeit, die Auswirkungen des Kabelverbinders (von der inneren, oder geschirmten, Übertragungsleitung aus gesehen) nachzubilden, ist die Verwendung von konzentrierten Spannungs- und Stromquellen an der Stelle des Kabelverbinders. Die Stärken dieser Quellen stehen in Bezug zu dem äußeren Strom und der äußeren Spannung auf dem Kabelverbinder, multipliziert mit der Kopplungsimpedanz bzw. der Übertragungsadmittanz, die den Kabelverbinder repräsentieren, ähnlich der Betrachtung der Durchdringung eines verteilten Kabelschirms.

Wie im Falle eines Geflecht-Schirms enthält die konzentrierte Kopplungsimpedanz eines Kabelverbinders sowohl ohmsche Widerstands- als auch Blindwiderstandsanteile, und die Übertragungsadmittanz eines Kabelverbinders ist überwiegend kapazitiv. Jedoch sind Kabelverbinder immer so konstruiert, dass nur eine geringe E -Feld-Durchdringung durch das Gerät stattfindet. Folglich ist die Beeinflussung durch die Übertragungsadmittanz meistens viel geringer als die Beeinflussung durch die Kopplungsimpedanz. Gewöhnlich wird daher nur der Parameter der konzentrierten Kopplungsimpedanz benötigt.

Der Prüfaufbau für Kabelverbinder ist ähnlich wie der vorstehend Beschriebene für die Messung der Kopplungsimpedanz des Schirms. Bild 11 zeigt die allgemeine Prüfanordnung für derartige Messungen. An die Prüfanordnung für den Kabelschirm werden hier die gleichen Anforderungen gestellt, und die Konstruktion des äußeren Schirms muss so ausgeführt sein, dass sein Schirmungsmaß wesentlich besser ist als dasjenige des Kabelverbinders. Dies erfordert, dass vorzugsweise ein Vollmantel-Schirm anstatt eines Geflecht-Schirms für diese Messung benutzt wird.

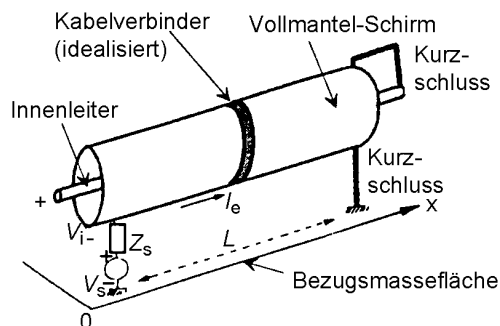


Bild 11 – Prüfanordnung zur Messung der Kopplungsimpedanz eines Kabelverbinders

Bei gegebenem Messwert der inneren Leerlaufspannung wird die Kopplungsimpedanz des Kabelverbinders durch folgenden Ausdruck bestimmt:

$$Z_t(\omega) = R_t(\omega) + j x_t(\omega) \approx \frac{V_i}{I_e} \approx Z_s \frac{V_i}{V_s} \quad \Omega \quad (7)$$

Dabei ist:

V_i und V_s wie vorstehend definiert, und

Z_t die Kopplungsimpedanz des Kabelverbinders (in Ω);

Z_s die Impedanz des äußeren Schaltkreises (in Ω).

Es sollte beachtet werden, dass, während die Kabellänge L in diesem Ausdruck nicht ausdrücklich auftaucht, es erforderlich ist, dass $L \ll \lambda$ ist. Somit sollte L so kurz wie möglich sein, um den für die Messungen gültigen Frequenzbereich so groß wie möglich zu gestalten.

4.3 Prüfen von Schirmmaterialien

Unvollkommenheiten in der Schirmtopologie eines Systems können oft durch Benutzung von kleinen örtlichen Nachbesserungsverfahren ausgeglichen werden, wie z. B. durch Schirmabdichtungen (an Nähten oder zwischen Türen und ihren Türrahmen), durch Abdeckbleche oder Schirmbleche (Aperturabdeckungen) und durch andere spezielle Maßnahmen wie Wabenkamine und Hohlleiter oberhalb der Grenzfrequenz. Eine Charakterisierung dieser Schutzmaßnahmen ist schwierig, weil ihr Verhalten nicht nur von der einzelnen Zusammenstellung der elektrischen Teile, sondern auch von den Verbindungen der Geräte mit der Schirmtopologie abhängt. Zum Beispiel kann ein sehr langer Gehäusespalt durch Ausfüllen mit leitfähigem Material geschützt werden. Dies könnte als Schutz gegen den Fluss von Störströmen über den Spalt wirksam sein: das leitfähige Material ließe den Störstrom über den Spalt ohne großen Verlust fließen und das H -Feld auf der geschirmten Seite wäre möglichst klein. Jedoch ist für Störströme parallel zum Gehäusespalt das Vorhandensein oder Fehlen des Füllmaterials bedeutungslos. Der Störstrom würde durch den Schlitz nicht wesentlich beeinflusst und jegliche Schutzmassnahme gegen diesen Teilstrom wäre unnötig.

Zur Beschreibung von geeigneten Prüfungen für derartige Bauteile wird deshalb versucht, die dem Schutzgerät innewohnende wesentliche Abschirmeigenschaft zu beschreiben, unabhängig von der Art seiner Verwendung innerhalb einer besonderen Anlage. Dies bedeutet, dass ein spezielles Bauteil als ein „gutes“ Schutzgerät innerhalb einer Anlage eingestuft werden kann, aber bei seiner Verwendung in einer anderen Einrichtung (Anlage) wegen seiner speziellen Eigenschaften als „schlecht“ beurteilt werden könnte. Die Ermittlung des Gesamtverhaltens eines Systems zusammen mit allen seinen Schutzgeräten ist Aufgabe einer Prüfung auf Systemebene, was über den Anwendungsbereich dieser Norm hinausgeht.

4.3.1 Leitfähige Schirmdichtungen

Bild 12 zeigt mehrere Anordnungen von leitfähigen Schirmdichtungen, die als ein HEMP-Schutzgerät dienen. Der grundsätzliche Schutzmechanismus ist, dass die Schirmdichtung eine leitende Verbindung zwischen den beiden Teilen des Gehäuses herstellt; hierdurch werden Ströme und Ladungen am „Eindringen“ in das

Gehäuseinnere (d. h. in den geschützten Bereich) gehindert. Jede der drei in dem Bild gezeigten Anordnungen besitzt ein anderes Abschirmverhalten entsprechend den Unterschieden in der Geometrie der umgebenden Gehäusewandungen, die die Schirmdichtung umgeben.

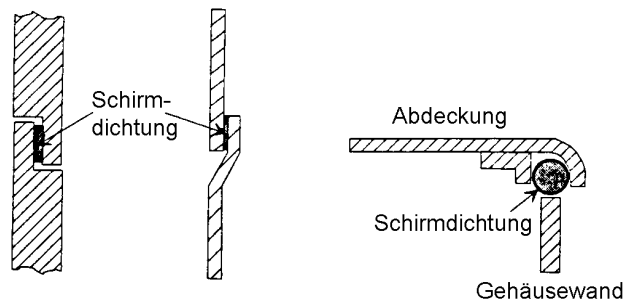


Bild 12 – Beispiele leitfähiger Schirmdichtungen, die als HEMP-Schutzgeräte verwendet werden

Ein einfaches, aber grundsätzliches Schaltungsmodell einer Schirmdichtung ergibt sich durch Beachtung der geometrischen Abmessungen der wichtigen Teile in Bild 12. Ein von einem Leiter zu einem anderen fließender Strom muss durch die Schirmdichtung fließen und letztere stellt für den Strom einen elektrischen Widerstand dar. In ähnlicher Weise erscheinen ebene Flächen beidseitig einer Schirmdichtung örtlich als Kapazität, durch die ein Verschiebungsstrom fließen kann. Schließlich bilden die metallischen Leiter der beiden Wände eine Induktivität in diesem Stromkreis.

Bild 13 zeigt ein Ersatzschaltbild für eine derartige mit einer Schirmdichtung versehene Öffnung. Der ohmsche Widerstand der Schirmdichtung und die Kapazität der Schirmdichtungsöffnung sind parallel geschaltet und ihre Kombination ist in Reihe mit den Induktivitäten, die die Strompfade durch die Gehäusewandungen darstellen, geschaltet. Die spezifischen Werte für L und C hängen von der örtlichen Geometrie der Abdichtung ab, wobei der Wert von R sowohl von der Geometrie als auch von den wesentlichen Eigenschaften des Schirmungsmaterials abhängt.

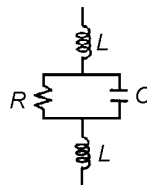


Bild 13 – Schaltungsmodell zur Darstellung des Verhaltens einer leitfähigen Schirmdichtung für HEMP-Schutz

Die Werte der Bauelemente dieser Ersatzschaltung können gemessen oder anhand einfacher Modelle für die spezielle Form und Geometrie des Untersuchungsobjekts berechnet werden. Andererseits können für die Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften des Schirmungsmaterials Messungen der Werte des elektrischen Widerstandsbelags des Schirmungsmaterials durchgeführt werden. Dieser Wert ist von der Umgebung der Schirmdichtung unabhängig und kann für den Vergleich der Dämpfungswerte verschiedener Arten von Schirmdichtungen verwendet werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass solche Schirmdichtungen gewöhnlich aus flexiblem Material hergestellt sind und deshalb ihre spezifischen Werte vom Kontaktdruck abhängen, wie dies für alle in Bild 12 dargestellten Beispiele gilt. Auch das Alter des Schirmungsmaterials spielt eine Rolle.

Bild 14 zeigt die Anordnung zur Messung des ohmschen Widerstands. Es handelt sich hier um das Vier-Elektroden-Verfahren, das besonders zur Durchführung von Messungen an Materialien mit sehr niedrigen ohmschen Widerstandsbelägen geeignet ist. Bei dieser Messung wird ein Block des Schirmungsmaterials zwischen zwei Elektroden aus Kupfer oder aus einem anderen hoch leitfähigen Material eingepresst. Eine äußere Gleichstromquelle wird an die beiden äußeren Elektroden angeschlossen und ein Stromfluss durch die Elektroden wird hervorgerufen. Der sich ergebende Spannungsabfall über dem Prüfmuster wird mit einem hochohmigen Spannungsmessgerät auf eine Weise gemessen, dass der Stromfluss im Prüfmuster nicht beeinflusst wird. Mit diesen gemessenen Parametern ergibt sich der Gleichstromwiderstandsbelag des Prüfmusters durch den Ausdruck: