

	DIN EN 55016-1-5 (VDE 0876-16-1-5)	
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	
ICS 33.100.01 Ersatz für DIN EN 55016-1-5 (VDE 0876-16-1-5):2015-11 Siehe Anwendungsbeginn Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-5: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messplätze für die Antennenkalibrierung und Referenz-Messplätze für den Frequenzbereich von 5 MHz bis 18 GHz (CISPR 16-1-5:2014 + A1:2016); Deutsche Fassung EN 55016-1-5:2015 + A1:2017 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz (CISPR 16-1-5:2014 + A1:2016); German version EN 55016-1-5:2015 + A1:2017 Spécification des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz (CISPR 16-1-5:2014 + A1:2016); Version allemande EN 55016-1-5:2015 + A1:2017 Gesamtumfang 108 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2015-01-21 angenommene Europäische Norm und die am 2017-01-20 angenommene Änderung A1 als DIN-Norm ist 2019-03-01.

Für **DIN EN 55016-1-5 (VDE 0876-16-1-5):2015-11** besteht eine Übergangsfrist bis 2020-05-26.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 55016-1-5/A1 (VDE 0876-16-1-5/A1):2016-06.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 767.4 „Geräte und Verfahren zum Messen von elektromagnetischen Aussendungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom CIS/A „Radio-interference measurements and statistical methods“ erarbeitet.

Die Änderung A1 wurde in den Text eingearbeitet und durch eine senkrechte Linie am linken Seitenrand gekennzeichnet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 55016-1-5 (VDE 0876-16-1-5):2015-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Hinzufügung der CISPR 16-1-6:2014/AMD 1:2016 bei den normativen Verweisungen in [Abschnitt 2](#);
- b) Hinzufügung von [5.4](#);
- c) Redaktionelle Überarbeitung der Norm.

Frühere Ausgaben

DIN EN 55016-1-5 (VDE 0876-16-1-5): 2005-09, 2013-06, 2015-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
—	IEC 60050 (alle Teile)	^a	—
EN 55016-1-1:2010 + A1:2010 + A2:2014	CISPR 16-1-1:2010 + A1:2010 + A2:2014	DIN EN 55016-1-1 (VDE 0876-16-1-1):2015-05	VDE 0876-16-1-1
EN 55016-1-4:2010 + A1:2012	CISPR 16-1-4:2010 + Cor.:2010 + A1:2012	DIN EN 55016-1-4 (VDE 0876-16-1-4):2013-05	VDE 0876-16-1-4
EN 55016-1-6:2015	CISPR 16-1-6:2014	DIN EN 55016-1-6 (VDE 0876-16-1-6):2015-11	VDE 0876-16-1-6
EN 55016-1-6:2015/ A1:2017	CISPR 16-1-6:2014/ A1:2017	DIN EN 55016-1-6/A1 (VDE 0876-16-1-6/A1) ^b	VDE 0876-16-1-6/A1
EN 55016-2-3:2010 + A1:2010 + AC:2013 + A2:2014	CISPR 16-2-3:2010 + A1:2010 + A2:2014	DIN EN 55016-2-3 (VDE 0877-16-2-3):2014-11	VDE 0877-16-2-3
EN 55016-4 (alle Teile)	CISPR 16-4 (alle Teile)	DIN EN 55016-4 (VDE 0876-16-4) (alle Teile)	VDE 0876-16-4
^a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev . ^b in Vorbereitung			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 55016-1-1 (VDE 0876-16-1-1):2015-05, Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messgeräte (CISPR 16-1-1:2010 + A1:2010 + A2:2014); Deutsche Fassung EN 55016-1-1:2010 + A1:2010 + A2:2014

DIN EN 55016-1-4 (VDE 0876-16-1-4):2013-05, Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-4: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Antennen und Messplätze für Messungen der gestrahlten Störaussendung (CISPR 16-1-4:2010 + Cor.:2010 + A1:2012); Deutsche Fassung EN 55016-1-4:2010 + A1:2012

DIN EN 55016-1-6 (VDE 0876-16-1-6):2015-11, Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-6: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Kalibrierung von EMV-Messantennen (CISPR 16-1-6:2014); Deutsche Fassung EN 55016-1-6:2015

DIN EN 55016-1-6/A1 (VDE 0876-16-1-6/A1) (in Vorbereitung), Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-6: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Kalibrierung von Antennen für EMV-Messungen

DIN EN 55016-2-3 (VDE 0876-16-2-3):2014-11, Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 2-3: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messung der gestrahlten Störaussendung (CISPR 16-2-3:2010 + A1:2010 + A2:2014); Deutsche Fassung EN 55016-2-3:2010 + A1:2010 + AC:2013 + A2:2014

DIN EN 55016-4 (VDE 0876-16-4) (alle Teile), Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit

Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur
Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit –
Teil 1-5: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung
(Funkstörungen) und Störfestigkeit –
Messplätze für die Antennenkalibrierung und Referenz-Messplätze für den
Frequenzbereich von 5 MHz bis 18 GHz
(CISPR 16-1-5:2014 + A1:2016)

Specification for radio disturbance and immunity
measuring apparatus and methods –
Part 1-5: Radio disturbance and immunity
measuring apparatus –
Antenna calibration sites and reference test sites
for 5 MHz to 18 GHz
(CISPR 16-1-5:2014 + A1:2016)

Spécification des méthodes et des appareils de
mesure des perturbations radioélectriques et de
l'immunité aux perturbations radioélectriques –
Partie 1-5: Appareils de mesure des
perturbations radioélectriques et de l'immunité
aux perturbations radioélectriques –
Emplacements d'étalonnage d'antenne et
emplacements d'essai de référence pour la
plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz
(CISPR 16-1-5:2014 + A1:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2015-01-21 und die A1 am 2017-01-20 angenom-
men. 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt
worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien,
Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland,
Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den
Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der
Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten
Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2017 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren,
sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 55016-1-5:2015 + A1:2017 D

Vorwort

Der Text des Dokuments CISPR/A/1086/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe der CISPR 16-1-5, erarbeitet vom CISPR SC A „Radio interference measurements and statistical methods“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als **EN 55016-1-5:2015** angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2015-10-21
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2018-01-21

Dieses Dokument ersetzt **EN 55016-1-5:2004**.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm **CISPR 16-1-5:2014** wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

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

CISPR 16-1-1:2010	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 55016-1-1:2010 (nicht modifiziert).
CISPR 16-1-1:2010/A1:2010	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 55016-1-1:2010/A1:2010 (nicht modifiziert).
CISPR 16-2-3:2010	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 55016-2-3:2010 (nicht modifiziert).
CISPR 16-2-3:2010/A1:2010	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 55016-2-3:2010/A1:2010 (nicht modifiziert).
CISPR 16-4 Reihe	ANMERKUNG	Nur Teil 4-2 harmonisiert als EN 55016-4-2 .

Europäisches Vorwort zur Änderung A1

Der Text des Dokuments CISPR/A/1183/FDIS, die zukünftige CISPR 16-1-5:2014/A1, erarbeitet vom SC A „Radio interference measurements and statistical methods“ des IEC/TC CISPR „International special committee on radio interference“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 55016-1-5:2015/A1:2017 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-11-26
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-05-26

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz zu A1

Der Text der Internationalen Norm CISPR 16-1-5:2014/A1:2016 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Die aktuellsten Informationen über die letzten Fassungen der Europäischen Normen, die im vorliegenden Anhang aufgelistet wurden, sind verfügbar unter <www.cenelec.eu>.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
CISPR 16-1-4	2010	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –	EN 55016-1-4	2010
+ A1	2012	Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements	+ A1	2012
CISPR 16-1-6	2014	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –	EN 55016-1-6	2015
+ A1	2017	Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC-antenna calibration	+ A1	2017
IEC 60050	Reihe	International Electrotechnical Vocabulary	–	–

Inhalt

Seite

Vorwort	2
Europäisches Vorwort zur Änderung A1	3
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	4
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	12
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe und Abkürzungen	12
3.1 Begriffe	12
3.1.1 Antennenbegriffe	12
3.1.2 Auf den Messplatz bezogene Begriffe	15
3.1.3 Andere Begriffe	16
3.2 Abkürzungen	17
4 Festlegungen und Validierungsverfahren für Kalibrier- und Referenz-Messplätze für den Frequenzbereich von 5 MHz bis 1 000 MHz	18
4.1 Allgemeines	18
4.2 Festlegungen für den Antennenkalibriermessplatz	19
4.2.1 Allgemeines	19
4.2.2 Normative Festlegungen	19
4.3 Festlegung für die Messantennen	20
4.3.1 Allgemeines	20
4.3.2 Einzelheiten der erforderlichen Eigenschaften der Messantenne	21
4.4 Validierungsverfahren für den Antennenkalibriermessplatz	23
4.4.1 Allgemeines	23
4.4.2 Messaufbau	24
4.4.3 Messfrequenzen und Höhen der Empfangsantenne	25
4.4.4 Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes	26
4.4.5 Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes mit Frequenzsuchlauf	29
4.4.6 Identifikation und Verringerung von Reflexionen von Antennenteilen	32
4.5 Eignungskriterien für Antennenkalibriermessplätze	32
4.5.1 Allgemeines	32
4.5.2 Messunsicherheiten	33
4.5.3 Eignungskriterien	33
4.6 Kalibrierplatz mit metallischer Bodenfläche zur Kalibrierung von bikonischen Antennen und abgestimmten Dipolantennen im Frequenzbereich von 30 MHz bis 300 MHz	34
4.7 Eignungsprüfung eines Messplatzes für Bezugsmessungen (Referenz-Messplatzes)	36
4.7.1 Allgemeines	36
4.7.2 Eignungsprüfung (des Messplatzes) für horizontale Polarisation	36
4.7.3 Eignungsprüfung (des Messplatzes) für vertikale Polarisation	37

4.8	Eignungs-Prüfprotokoll (Abnahmeprotokoll) für Antennenkalibrier- und Referenz-Messplätze.....	38
4.8.1	Allgemeines	38
4.8.2	Anforderungen an das Eignungs-Prüfprotokoll (Abnahmeprotokoll).....	38
4.9	Validierung von Messplätzen für die Kalibrierung von bikonischen und Dipolantennen sowie den bikonischen Teil von Hybridantennen für die vertikale Polarisierung	40
4.10	Validierung von Antennenkalibriermessplätzen für die Kalibrierung von Monopolen (Stabantennen) im Frequenzbereich von 5 MHz bis 30 MHz unter Verwendung der vertikalen Polarisierung	41
4.10.1	Allgemeines	41
4.10.2	Ermittlung der Unsicherheit	42
5	Verfahren für die Validierung von Vollabsorberräumen für den Frequenzbereich von 30 MHz bis 18 GHz	43
5.1	Allgemeines	43
5.2	Verfahren für die Validierung von 1 GHz bis 18 GHz.....	43
5.2.1	Leistungsübertragung zwischen zwei Antennen	43
5.2.2	Messverfahren für die Validierung von 1 GHz bis 18 GHz	44
5.2.3	Auswertung der Ergebnisse	46
5.2.4	Eignungskriterium.....	48
5.2.5	Leistungsmerkmale der Kammer in Abhängigkeit von der Polarisierung.....	48
5.2.6	Unsicherheit.....	49
5.3	Validierung von Vollabsorberräumen für die Kalibrierung von Antennen mit Hilfe von alternativen Verfahren	50
5.3.1	Allgemeines	50
5.3.2	Validierung von Vollabsorberräumen von 30 MHz bis 1 GHz	50
5.3.3	Alternative Validierung von Vollabsorberräumen für die Kalibrierung von LPDA-Antennen oberhalb 1 GHz	51
5.3.4	Alternative Validierung von Vollabsorberräumen oberhalb 500 MHz unter Verwendung von Messungen im Zeitbereich	51
5.4	Validierung von Vollabsorberräumen für Messungen der Strahlungsdiagramme von Antennen oberhalb 1 GHz	52
6	Verfahren der Validierung von Messplätzen, die für die Kalibrierung von Antennen mit Richtwirkung benutzt werden	52
6.1	Validierung von Kalibrierplätzen, bei denen die Bodenreflexion durch die Verwendung einer Höhe ≥ 4 m möglichst klein ist.....	52
6.1.1	Messverfahren.....	52
6.1.2	Unsicherheiten.....	54
6.2	Validierung von Kalibrierplätzen, bei denen die Bodenreflexion durch die Verwendung von Absorbern möglichst klein ist.....	56
7	Validierung von Messplätzen durch Vergleich der Antennenfaktoren und Anwendung des Referenz-Messplatz-Verfahrens zur Ermittlung des Unsicherheitsbeitrags eines Halbabsorberraum-Messplatzes	56
7.1	Verwendung des Standardantennen-Verfahrens für die Validierung von Messplätzen durch Vergleich der Antennenfaktoren	56
7.2	Anwendung des Referenz-Messplatz-Verfahrens zur Ermittlung des	

Messunsicherheitsbeitrags von Kalibrierplätzen, die aus einer Halbabsorberkammer bestehen.....	57
Anhang A (informativ) Eigenschaften und Validierung von Antennenkalibriermessplätzen (en: CALTS)	60
A.1 Allgemeines.....	60
A.2 Die reflektierende Ebene.....	60
A.2.1 Der Aufbau der reflektierenden Ebene	60
A.2.2 Kanteneffekte der Ebene und Einfluss der Umgebung.....	61
A.3 Hilfs-/Zusatzeinrichtung.....	62
A.4 Zusätzliche strengere Eignungsprüfung von Antennenkalibriermessplätzen	62
A.4.1 Allgemeines.....	62
A.4.2 Messungen mit Höhenvariation der Antenne.....	62
A.4.3 Messungen mit Frequenzsuchlauf	64
Anhang B (informativ) Betrachtungen über Messantennen	66
B.1 Allgemeines.....	66
B.2 Beispiel einer Messantenne und ihre Verifizierung.....	66
B.3 Bestimmung der Eigenschaften des Symmetrierübertragers (Balun).....	68
B.3.1 Der ideale verlustlose Symmetrierübertrager (Balun).....	68
B.3.2 Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Symmetrierübertragers (Balun) und den S-Parametern.....	69
B.3.3 Messungen der Einfügungsdämpfung	71
Anhang C (informativ) Theorie zu Antennen und zur Einfügungsdämpfung des Messplatzes.....	73
C.1 Analytische Zusammenhänge.....	73
C.1.1 Allgemeines.....	73
C.1.2 Gesamtlänge der Messantenne	74
C.1.3 Theoretische Einfügungsdämpfung des Messplatzes	75
C.1.4 Rechenbeispiel.....	79
C.2 Rechnergestützte Berechnungen mit Hilfe der Momentenmethode	82
C.2.1 Allgemeines.....	82
C.2.2 Antennen-Eingangsimpedanz	83
C.2.3 Gesamtlänge der Messantenne	83
C.2.4 Rechnergestützte Berechnungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes	84
C.2.5 Rechnergestützte Berechnungen des Antennenfaktors	90
Anhang D (informativ) PASCAL-Programm, das in C.1.4 verwendet wird	95
Anhang E (informativ) Checkliste für das Validierungsverfahren.....	99
Anhang F (informativ) Augenscheinlichkeit, dass Feldüberhöhungen beim Validierungsverfahren für Messplätze für die vertikale Polarisation einen vernachlässigbaren Einfluss auf den gemessenen Antennenfaktor haben	101
F.1 Untersuchung der vertikalen Feldüberhöhung.....	101
F.2 Kalibrierung von bikonischen Antennen unter Verwendung der vertikalen Polarisation	101
Literaturhinweise	103

Bilder

Bild 1 – Prinzipschaltbild der Messantenne	21
Bild 2 – Einstellung einer Teleskopantenne auf die Länge L_{we}	22
Bild 3 – Bestimmung von $U_{r1}(f)$ oder $U_{r2}(f)$	26
Bild 4 – Bestimmung von $U_s(f)$ mit den Drahtantennen an ihren festgelegten Positionen	26
Bild 5 – Beispielhafte NSIL: horizontale Polarisierung, Antennenhöhe 2 m, Abstand 10 m	30
Bild 6 – NSIL für die vier Paare von berechenbaren Dipolen in 10 m Abstand und bei Verwendung der alternativen Höhen für das 600-MHz- bis 1 000-MHz-Paar entsprechend Tabelle 5	31
Bild 7 – Beziehung zwischen den Größen, die beim Eignungskriterium für die Einfügungsdämpfung des Messplatzes verwendet werden	34
Bild 8 – Aufbau für die Validierung eines Vollabsorberraums für die Kalibrierung von EMV-Messantennen oberhalb 1 GHz, wobei der Abstand zwischen den Phasenzentren der Antennen ebenfalls gezeigt wird	45
Bild 9 – Beispielhafte Plots von $[A_1(d) - A_1(d_3 \text{ m})]$ in dB von 1 GHz bis 18 GHz in Schritten von 1 GHz, aufgetragen gegen den Abstand in m und korrigiert in Bezug auf die Phasenzentren der LPDA- und Hornantenne	48
Bild 10 – Beispiel eines Antennenaufbaus für die Kalibrierung von LPDA-Antennen im Frequenzbereich oberhalb 200 MHz	53
Bild 11 – Beispiel einer Einfügungsdämpfung des Messplatzes für zwei LPDA-Antennen in vertikaler Polarisierung, gemessen über der reflektierenden Bodenfläche eines Freifeldmessplatzes in 2,5 m Abstand zwischen den Mittelpunkten der Antennen und aufgetragen gegen die Antennenhöhe	54
Bild 12 – Verdeutlichung der Abstände zwischen einer Sende-Hornantenne und einer rundstrahlenden Empfangsantenne sowie einem reflektierenden Gebäude und der Wegstrecken A und B des übertragenen Signals	54
Bild B.1 – Beispiel einer Messantenne	68
Bild B.2 – Schaltbild zur Messung von S_{11} und S_{12} sowie von S_{22} und S_{21} , wenn Generator (Messsender) und Last vertauscht werden	69
Bild B.3 – Prinzipschaltbild zur Bestimmung der Einfügungsdämpfung $A_1(f)$	71
Bild B.4 – Prinzipschaltbild zur Bestimmung der Einfügungsdämpfung $A_2(f)$	71
Bild C.1 – Netzwerkmodell für Berechnungen von A_{ic}	76
Bild C.2 – Ersatzschaltung zum Netzwerk in Bild C.1	76
Bild C.3 – Definitionen der gegenseitigen Verkopplungen, der Speisespannungen und der Antennenströme der Antennen über der reflektierenden Ebene und deren Spiegelbilder	77
Bild C.4 – Hintereinanderschaltung der Symmetrierglieder und des Messplatz-Zweiters	84
Bild C.5 – Flussdiagramm, das zeigt, wie die Einfügungsdämpfung des Messplatzes durch Kombination der gemessenen S-Parameter der Symmetrierglieder und der mit Hilfe des NEC-Programms berechneten S-Parameter des Messplatz-Zweiters erhalten wird	85
Bild F.1 – Gleichförmigkeit des Felds bei schrittweiser Höhenvariation von 1 m auf 2,6 m, auf das Feld in einer Höhe von 1,8 m normalisiert; Monokonusanterne in 15 m Abstand	101
Bild F.2 – Mittelung der Höhenschritte, Standardantennen-Verfahren, CISPR 16-1-6:2014, B.4.2	102

Tabellen

Tabelle 1 – Zusammenfassung der Validierungsverfahren für Messplätze anhand der Abschnittsnummern	11
---	----

Tabelle 2 – Maximale Grenzabweichungen für $d = 10$ m	21
Tabelle 3 – Frequenzen und feste Höhen der Empfangsantenne für Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes, wobei $h_t = 2$ m und $d = 10$ m ist (siehe 4.4.2.3 und 4.4.2.4)	25
Tabelle 4 – Frequenzschritte beim Referenz-Messplatz-Verfahren	29
Tabelle 5 (informativ) – Antennenhöhen für Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes	30
Tabelle 6 – Antennenaufbau für Messungen der Einfügungsdämpfung von Kalibrierplätzen unter Verwendung von horizontal polarisierten resonanten Dipolantennen (siehe auch 4.4.4 in Bezug auf die Einfügungsdämpfung von Messplätzen bei 250 MHz und 300 MHz)	36
Tabelle 7 – Antennenhöhen	37
Tabelle 8 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für die Einfügungsdämpfung des Messplatzes zwischen zwei Monopolantennen	42
Tabelle 9 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für das Validierungsverfahren für Vollabsorberräume bei und oberhalb 1 GHz	49
Tabelle 10 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für das Messplatz-Validierungsverfahren nach 6.1.1	55
Tabelle 11 – Maximale Grenzabweichungen für den Validierungs-Messaufbau für $d = 10$ m	59
Tabelle A.1 – Beispiel von berechenbaren Dipolantennen mit fester Länge und Unterteilung des Frequenzbereichs von 30 MHz bis 1 000 MHz	61
Tabelle A.2 – Höhen der Empfangsantenne und Mittenfrequenzen	64
Tabelle C.1 – Numerisches Beispiel für die (analytische) Berechnung von L_a , A_{ic} (siehe C.1.4.2)	79
Tabelle C.2 – Numerisches Beispiel für die (analytische) Berechnung von ΔA_t (siehe C.1.4.3)	81
Tabelle C.3 – Numerisches Beispiel für die (analytische) Berechnung von h_{rc} und Δh_{rt}	82
Tabelle C.4 – Numerisches Beispiel für die (analytische) Berechnung von f_c und Δf_t	82
Tabelle C.5 – Beispiel für die numerische Berechnung von A_{ic} mit Hilfe der Momentenmethode für vertikale Polarisation, $h_t = 2$ m mit der Ausnahme von $h_t = 2,75$ m bei 30 MHz, 35 MHz und 40 MHz	88

Einleitung

Diese Norm beschreibt Validierungsverfahren für Kalibriermessplätze (en: CALTS), die zur Kalibrierung von Antennen im Frequenzbereich von 5 MHz bis 18 GHz verwendet werden. Die zugehörigen Verfahren zur Kalibrierung von Antennen werden in [CISPR 16-1-6](#) beschrieben.

Aufgrund von Problemen in Bezug auf die Unterdrückung von Reflexionen vom Boden im Frequenzbereich von 30 MHz bis 200 MHz besteht die Hauptfunktion einer reflektierenden (leitenden) Bodenfläche darin, die Kalibrierung von Dipolantennen, bikonischen Antennen und Hybridantennen über den Frequenzbereich, innerhalb dem ihr Strahlungsmuster in der H -Ebene gleichförmig ist, zu unterstützen. Der Freiraum-Antennenfaktor F_a für Dipolantennen kann in einer Freiraumumgebung oberhalb 200 MHz gemessen werden. Wegen der Schwierigkeit, Reflexionen von Gegenständen, die sich in der Umgebung einer Antenne befinden, wie insbesondere die Oberfläche des Bodens, zu verringern, wird eine flache metallische Bodenfläche verwendet, um die Wiederholbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen und es zu ermöglichen, das vom Boden reflektierte Signal mathematisch präzise zu entfernen.

Anforderungen an den Aufbau von Antennenkalibriermessplätzen sind im [Anhang A](#) enthalten. Die Festlegungen und Validierungsverfahren für Antennenkalibriermessplätze sind im [Abschnitt 4](#) enthalten. Der genaueste Weg der Validierung eines Antennenkalibriermessplatzes besteht in der Verwendung von berechenbaren Dipolantennen, welche die Grundlage des Validierungsverfahrens nach dieser Norm bilden. Die Gestaltungsprinzipien von berechenbaren Antennen sind im [Anhang B](#) enthalten und die Theorie und Verfahren der Berechnung der Einfügungsdämpfung von Messplätzen sind in [Anhang C](#) und [Anhang D](#) gegeben.

Validierungsverfahren für andere Antennenkalibriermessplätze sind in [Abschnitt 5](#) bis [Abschnitt 7](#) enthalten. Wenn das Antennenkalibrierverfahren die Bodenreflexion nutzt, ist ein Antennenkalibriermessplatz erforderlich. Die Validierungsverfahren werden in der nachfolgenden [Tabelle 1](#) mit Bezug zu den entsprechenden Antennenkalibrierverfahren nach [CISPR 16-1-6](#) zusammengefasst.

Sämtliche Validierungsverfahren für Messplätze beziehen die Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes zwischen zwei Antennen ein. Es ist entscheidend, dass die Validierung des Messplatzes selbst nicht durch Reflexionen von Antennenteilen übermäßig beeinträchtigt wird, siehe [A.3](#) für eine begleitende Hilfestellung.

**Tabelle 1 – Zusammenfassung der Validierungsverfahren für Messplätze
anhand der Abschnittsnummern**

Kalibrier- messplatz	CISPR 16-1-5 Validierungs- verfahren Abschnitt	CISPR 16-1-6:2014 Kalibrierverfahren Abschnitt	Frequenz- bereich MHz	Antennentyp	Polarisation	Anmerkungen
1) CALTS für Monopole	4.10	G.1	5 bis 30	Monopol	VP	mit Grenz- abweichung von ± 1 dB
2) CALTS oder SAC ^a	4, 7.2	8.4	30 bis 1 000	bikonisch, LPDA, Hybrid	HP	SSM
3) CALTS oder SAC	4	9.2.2	30 bis 300	bikonisch, Hybrid, Dipol	HP oder VP	in großer Höhe oder mit Absor- bern auf dem Boden
4) FAR	5.3.2	9.2.2	30 bis 300 60 bis 1 000	bikonisch, Hybrid, Dipol bikonisch, Dipol	HP	
5) REFTS CALTS	4.7 4.9	9.3	30 bis 300	bikonisch, Hybrid	VP	
6) Freiraum	6.1	9.4.2 9.4.3	200 bis 18 000	LPDA, Hybrid, Horn	VP	HP mit größerer Höhe
7) Freiraum	6.2	9.4.4	200 bis 18 000	LPDA, Hybrid, Horn	VP (oder HP)	mit Absorbern auf dem Boden
8) FAR	5.3.3	9.5	1 000 bis 18 000	Horn, LPDA	HP oder VP	
9) FAR	5.3.2	9.2 und 9.4	140 bis 1 000	LPDA, Hybrid	HP oder VP	
10) CALTS	4.6	B.4, B.5	30 bis 300	bikonisch, Dipol	HP	
11) Übertragung von Eigenschaf- ten eines vali- dierten Mess- platzes an einen Messplatz, der nicht nach Verfahren in anderen Ab- schnitten validiert wurde	7.1 (ausgenommen 5.3 FAR)	A.9.4	30 und darüber	beliebig, aber kein Monopol oder Rahmen	HP oder VP	wird in erster Linie für das SAM- und FAR- Verfahren ver- wendet, für besondere Antennenarten und Frequen- zen, ausge- nommen 5.3

^a Ein Antennenkalibriermessplatz (en: CALTS) ist gut dadurch festgelegt, dass er frei von reflektierenden Hindernissen ist, und wenn die Antennenteile vernachlässigbare Reflexionen besitzen, sind die Eigenschaften der Bodenfläche so, dass wahrscheinlich Ergebnisse zustande kommen, die mit dem theoretischen Leistungsverhalten besser als 0,5 dB übereinstimmen. Bei einer Halbabsorberkammer (SAC) ist es jedoch wichtig, dass das gesamte zulässige Eignungskriterium von 1 dB von den Wandreflexionen nicht vollständig ausgeschöpft wird, sondern für die anderen Unsicherheitskomponenten noch Spielraum bleibt, indem z. B. Reflexionen von (Antennen-)Masten und Kabeln verringert werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der CISPR 16 legt die Anforderungen an Kalibrierplätze im Frequenzbereich von 5 MHz bis 18 GHz fest, wobei die Messplätze zur Kalibrierung von Antennen nach **CISPR 16-1-6** verwendet werden. Er legt auch die Anforderungen an Messplätze für Bezugsmessungen fest, die für die Validierung von Messplätzen für Konformitätsmessungen im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 000 MHz nach **CISPR 16-1-4** verwendet werden.

Diese Norm besitzt den Status einer EMV-Grundnorm in Übereinstimmung mit IEC-Leitfaden 107 *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

Festlegungen für Messgeräte sind in **CISPR 16-1-1 [1]**¹ und **CISPR 16-1-4** gegeben. Weitere Informationen und Hintergrundmaterial zu Unsicherheiten im Allgemeinen sind in der Reihe CISPR 16-4 [3] gegeben. Sie können bei der Einführung von Unsicherheitsabschätzungen für den Vorgang der Kalibrierung von Antennen und für Eignungsprüfungen von Messplätzen hilfreich sein.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

CISPR 16-1-4:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements*
CISPR 16-1-4:2010/AMD 1:2012

CISPR 16-1-6:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration*
CISPR 16-1-6:2014/AMD 1:2016

IEC 60050-161 (alle Teile), *International Electrotechnical Vocabulary*
(erhältlich über <http://www.electropedia.org>)

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050 und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Vollständige Ausdrücke für Abkürzungen, die in 3.1 nicht bereits gegeben werden, sind in 3.2 aufgeführt.

3.1.1 Antennenbegriffe

3.1.1.1

Antenne

Wandler, der die geführte elektromagnetische Energie einer Speiseleitung in eine in den Raum abgestrahlte Welle umwandelt und umgekehrt

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Kontext dieser Norm schließt der Begriff „Antenne“ den Symmetrierübertrager (Balun) bei solchen Antennen ein, bei denen der Symmetrierübertrager (Balun) für die Funktion der Antenne inhärent ist.

¹ Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

3.1.1.2

Doppelkonusantenne

bikonische Antenne

symmetrische Antenne, bestehend aus zwei kegelförmigen abstrahlenden Elementen, die eine gemeinsame Achse und angrenzende Scheitelpunkte besitzen, über die sie gespeist werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Messungen im VHF-Band werden bikonische Antennen gewöhnlich aus zwei konisch geformten Drahtkäfigen hergestellt. Oft hat jeder dieser Käfige einen Verbindungsstab, der den Mittelleiter mit einem der peripheren Drähte verbindet, um Schmalbandresonanzen zu beseitigen. Solche Kurzschlussstäbe können die Eigenschaften der Antenne oberhalb 215 MHz negativ beeinflussen. Für mehr Einzelheiten siehe auch CISPR 16-1-6:2014, A.4.3.

3.1.1.3

Breitbandantenne

Antenne, die über einen weiten Bereich von Funkfrequenzen annehmbare (akzeptable) Eigenschaften besitzt

3.1.1.4

berechenbare Antenne

dipolartige Antenne, bei der der Antennenfaktor einer Einzelantenne und die Messplatz-Einfügungsdämpfung zwischen einem Antennenpaar entweder mit Hilfe von analytischen Verfahren oder von numerischen Verfahren (Momentenmethode) auf der Grundlage der Maße, Lastimpedanzen und anderen geometrischen Kennwerten berechnet und auch durch Messung verifiziert werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel einer berechenbaren Antenne ist in [Anhang B](#) spezifiziert. Ein anderes Beispiel ist eine einfache Rahmenantenne.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wirkungen des Symmetrierübertragers (Balun) werden typischerweise durch Messungen der S-Parameter des Symmetrierübertrager-Netzwerks berücksichtigt, oder die Struktur des Symmetrierübertragers (Balun) kann modelliert werden.

3.1.1.5

Hornantenne

Antenne, die aus einem Wellenleiterabschnitt besteht, dessen Querschnittsfläche sich zum offenen Ende, d. h. zur Apertur der Antenne hin vergrößert

Anmerkung 1 zum Begriff: Rechteckförmige-Wellenleiter-Hornantennen in Pyramidenform sind (für Messungen) im Mikrowellen-Frequenzbereich oberhalb ungefähr 1 GHz beliebt. Doppelsteg-Hornantennen (DRH, manchmal auch als DRG-Hornantennen bezeichnet, wobei DRG für Doppelsteg steht) decken einen sehr weiten Frequenzbereich ab. Die Hauptkeule einiger DRH-Antennen zipfelt sich bei höheren Frequenzen in mehrere Strahlen (Nebenkeulen) aus.

3.1.1.6

Hybridantenne

Antenne, die aus einem Draht-Element-LPDA-Abschnitt (LPDA: logarithmisch periodische Dipolantenne) und einem Breitbanddipol-Abschnitt besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Das längste Element des LPDA-Abschnitts (siehe 3.1.1.7) weist typischerweise eine Resonanz bei ungefähr 200 MHz auf, und die Speiseleitung ist am leerlaufenden (hinteren) Ende verlängert, um den angeschlossenen (z. B. bikonischen oder schleifenförmigen) Breitbanddipol zu versorgen. Der Breitbanddipol zeigt über den Frequenzbereich von 30 MHz bis 200 MHz ein Verhalten, das demjenigen einer bikonischen Antenne ähnlich ist, insbesondere in der Änderung des höhenabhängigen Antennenfaktors.

Anmerkung 2 zum Begriff: Typischerweise wird am leerlaufenden (d. h. hinteren) Ende der Speiseleitung eine Gleich-taktdrossel verwendet, um parasitäre (unerwünschte) auf dem Außenleiter des Koaxialkabels zum Messempfänger fließende HF-Ströme zu minimieren.

3.1.1.7

logarithmisch-periodische Dipolantenne

LPDA-Antenne

Antenne, die aus einem Gitter aus linearen Dipolelementen besteht, deren Maße und Abstände von der Spitze zum hinteren (breiteren) Ende der Antenne hin logarithmisch zunehmen

3.1.1.8

(im Freiraum) resonante Dipolantenne

abgestimmte Dipolantenne

Antenne, die aus zwei geraden, in einer Linie angeordneten, an den Enden aneinandergereihten Leitern gleicher Länge besteht. Die beiden Leiter sind durch einen kleinen Spalt voneinander getrennt, der einen symmetrischen Speisepunkt bildet, und besitzen jeweils eine Länge von etwa einem Viertel der Wellenlänge, so dass bei der festgelegten Frequenz die über den Spalt gemessene Eingangsimpedanz der Antenne keine reaktiven Anteile enthält (rein reell wird), wenn die Antenne sich im freien Raum befindet.

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine (im Freiraum) resonante Dipolantenne stellt ebenfalls eine berechenbare Antenne dar (siehe 3.1.1.4). In dieser Norm impliziert der Begriff „linearer Dipol“ „zwei gerade, in einer Linie angeordnete Leiter“, im Gegensatz zum bikonischen Dipol oder zu Dipolgittern wie z. B. bei LPDA-Antennen.

3.1.1.9

Standardantenne

STA

Antenne, deren Antennenfaktor genau berechnet oder gemessen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Genauigkeit ist bei berechenbaren Antennen, wie sie in 4.3 spezifiziert sind, erreichbar. Alternativ kann eine Standardantenne ein Antennentyp sein, der ähnlich dem einer zu kalibrierenden Antenne ist, die auf geringere Unsicherheiten, als für eine zu kalibrierende Antenne erforderlich ist, z. B. mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens kalibriert wurde.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Standardantenne wird für Messungen nach dem Standardantennen-Verfahren verwendet (siehe CISPR 16-1-6:2014, 4.3.5 usw.). Sie ist mechanisch robust, so dass eine Wiederholpräzision für F_a , die besser als $\pm 0,2$ dB ist, während der gesamten Nutzungsdauer der Standardantenne aufrechterhalten wird. Kriterien in Bezug auf Symmetrie und Kreuzpolarisation von Standardantennen sind in CISPR 16-1-6:2014, 6.3.2 und 6.3.3 zu finden.

3.1.1.10

Symmetrierübertrager

Balun

Gerät zur Umwandlung einer symmetrischen in eine unsymmetrische Übertragungsleitung oder umgekehrt

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Symmetrierübertrager (Balun) wird z. B. verwendet, um symmetrische Antennenelemente an eine unsymmetrische Speiseleitung wie z. B. ein Koaxialkabel anzuschließen. Ein Symmetrierübertrager (Balun) kann eine inhärente Impedanzwandlung aufweisen, die von 1 abweicht.

3.1.1.11

Messantenne

Kombination des im Freiraum resonanten Dipols und des festgelegten Symmetrierübertragers (Balun)

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition gilt nur für die Anwendung dieser Norm (siehe auch 3.1.1.8 und 3.1.1.12). Die Messantenne ist in 4.3 beschrieben.

3.1.1.12

Drahtantenne

festgelegte Struktur, die aus einem oder mehreren metallischen Drahtelementen oder Stäben besteht und zur Abstrahlung oder zum Empfang von elektromagnetischen Wellen dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Drahtantenne enthält keinen Symmetrierübertrager (Balun).

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die Anwendung dieser Norm wird eine Drahtantenne, die mit einem Symmetrierübertrager (Balun) verbunden ist, als „Messantenne“ bezeichnet (siehe 3.1.1.11).

3.1.1.13

Antennenfaktor

AF

F_a

in einer Freiraumumgebung gemessenes Verhältnis der elektrischen Feldstärke einer einfallenden ebenen Welle, die aus einer mit der Hauptstrahlrichtung (d. h. der Hauptachse der Antenne) korrespondierenden Richtung einfällt, zur Spannung, die an einer festgelegten Last, die mit der Antenne verbunden ist, induziert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Abkürzung AF wird als allgemeiner Begriff für die Bezeichnung des Antennenfaktors benutzt, wobei F_a den Antennenfaktor in der Hauptstrahlrichtung im Freiraum bezeichnet. Der Antennenfaktor F_a wird durch die an die Antenne angeschlossene Lastimpedanz (typischerweise 50 Ω) beeinflusst und ist frequenzabhängig. Der Antennenfaktor kann durch die gegenseitige Verkopplung der Antenne mit der Bodenfläche beeinflusst werden und ist richtwirkungsabhängig. Für weitere Einzelheiten siehe die entsprechenden Definitionen und [CISPR 16-1-6:2014, 4.2](#).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Antennenfaktor wird physikalisch in dB bezogen auf 1/m [dB(m⁻¹)] ausgedrückt. Wenn F_a bekannt ist, kann bei Messungen von gestrahlten Aussendungen die Feldstärke E eines einfallenden Felds aus einem Ablesewert U eines mit der Antenne verbundenen Messempfängers wie folgt berechnet werden:

$$E = U + F_a$$

Dabei wird E in dB(μ V/m), U in dB(μ V) und F_a in dB(m⁻¹) ausgedrückt.

3.1.2 Auf den Messplatz bezogene Begriffe

3.1.2.1

Kalibrierplatz

jeder Messplatz, auf dem eine Antenne kalibriert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Kalibrierplätze schließen Kalibriermessplätze (CALTS) (siehe 3.1.2.2), bei denen eine Reflexion vom Boden absichtlich verwendet wird, Vollabsorberräume (siehe 3.1.2.5) und Freifeldkalibrierplätze (siehe [Abschnitt 6](#)) ein, auf denen die Antennen sich in ausreichender Höhe über dem Boden befinden, um die Bodenreflexion zu verringern. Bei jedem dieser Kalibrierplätze erfüllen die Reflexionen aus allen Richtungen das geeignete Eignungskriterium für die Antennenkalibrierung.

3.1.2.2

Kalibriermessplatz

(en: calibration test site, CALTS)

Kalibrierplatz mit metallischer Bodenfläche und eng (mit geringen Grenzabweichungen) spezifizierter Messplatz-Einfügungsdämpfung für die horizontale Polarisierung des elektrischen Felds

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Kalibriermessplatz wird für die Messung von höhenabhängigen Antennenfaktoren verwendet, und um Freiraum-Antennenfaktoren mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens zu messen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Eignung von Kalibriermessplätzen kann auch für a) vertikale Polarisierung unter Verwendung der Verfahren nach 4.7 (siehe auch 3.1.2.7) und b) für andere spezifische Antennenkalibrierverfahren nach [CISPR 16-1-6](#) unter Verwendung der Verfahren nach 4.9 und 4.10 gezeigt werden (siehe auch [Tabelle 1](#)).

3.1.2.3

Messplatz für Konformitätsmessungen

(en: compliance test site, COMTS)

Messumgebung, die gültige, reproduzierbare Messergebnisse der Störfeldstärke eines Prüflings zum Zweck des Vergleichs mit Konformitätsgrenzwerten sicherstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: Anforderungen an einen Messplatz für Konformitätsmessungen einschließlich der Anforderungen an die Eignung des Messplatzes sind in [CISPR 16-1-4](#) festgelegt.

3.1.2.4

Freiraum

Messumgebung, für die gezeigt wurde, dass die Wirkung jeglicher Hindernisse einschließlich des Bodens auf die abgestrahlten Signale, die direkt zwischen zwei Antennen verlaufen, unterhalb eines für die Messung von F_a festgelegten Unsicherheitsbeitrags liegt

3.1.2.5

Vollabsorberraum

(en: fully anechoic room, FAR)

Gehäuse, dessen sechs innere Oberflächen mit Hochfrequenz-absorbierendem Material (d. h. HF-Absorbern), ausgekleidet sind, das (die) elektromagnetische Energie im interessierenden Frequenzbereich absorbiert (absorbieren)

Anmerkung 1 zum Begriff: Für einen Vollabsorberraum, der für Antennenkalibrierungen geeignet ist, gelten strengere Festlegungen in Bezug auf die Gleichförmigkeit des Felds im Vergleich zu den entsprechenden Festlegungen, die in **CISPR 16-1-4** für EMV-Messungen von abgestrahlten Störaussendungen festgelegt sind. Wenn die HF-Umgebungsstörrößen den geforderten Signal-/Rauschabstand verhindern, sollte der Vollabsorberraum innerhalb eines geschirmten Gehäuses aufgebaut werden. Die Eignungskriterien für den Messplatz sind bei den Validierungsverfahren für Vollabsorberräume in dieser Norm festgelegt.

3.1.2.6

idealer Freifeldmessplatz

(en: ideal OATS)

Freifeldmessplatz, der eine perfekt flache, perfekt leitende Bodenfläche von unendlicher Größe besitzt und auf dem sich mit Ausnahme der Bodenfläche keine (weiteren) reflektierenden Gegenstände befinden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein idealer Freifeldmessplatz ist ein theoretisches Konstrukt, das bei der Berechnung der theoretischen normierten Messplatzdämpfung bei Messplätzen mit (leitenden) Bodenflächen verwendet wird.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei einem idealen Freifeldmessplatz beträgt der absolute Wert des Reflexionskoeffizienten der Bodenfläche $r = 1$, und der Phasenunterschied zwischen der ankommenden und der von der Bodenfläche reflektierten Welle ist $\phi = \pi$ rad bei horizontaler Polarisation und 0 rad bei vertikaler Polarisation.

3.1.2.7

Messplatz für Bezugsmessungen

Referenz-Messplatz

(en: reference test site, REFTS)

Freifeldmessplatz mit metallischer (leitender) Bodenfläche und eng (mit geringen Grenzabweichungen) spezifizierter Messplatz-Einfügungsdämpfung für die horizontale und vertikale Polarisation des elektrischen Felds

3.1.3 Andere Begriffe

3.1.3.1

Messempfänger

Signalmessgerät, wie z. B. ein schrittweise durchstimmbarer Empfänger, ein Spektrumanalysator oder das Empfängerteil eines Netzwerkanalysators, das die Anforderungen des relevanten Kalibrierverfahrens in Bezug auf Selektivität und Linearität erfüllt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Messempfänger“ kann auch auf einen Vektor-Netzwerkanalysator mit vollem Funktionsumfang zutreffen. In dieser Norm meint der Begriff „Signal“ ein sinusförmiges HF-Signal mit konstanter Amplitude. Für den Zweck der Antennenkalibrierung und der Eignungsprüfung von Messplätzen stellt diese Definition eine Modifikation der in **CISPR 16-1-1** [1] und **CISPR 16-2-3** [2] vorgefundenen Definition dar.

3.1.3.2

Null

Nullstelle

Knoten im Signalpegel, der sich aus der Vektorsumme des bei der Empfangsantenne ankommenden direkten und des bei der Empfangsantenne ankommenden vom Boden reflektierten Signals (Strahls) ergibt und dessen Pegel erheblich kleiner ist als die phasengleiche Summe der beiden Signale

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Einbruch des Signalpegels in der Hauptstrahlrichtung bei manchen Doppelsteg-Hornantennen wird manchmal als „Null“ bezeichnet. Die vorstehende Definition gilt nicht für solche Einbrüche.

Anmerkung 2 zum Begriff: IEC 60050-726:1982, 726-02-07 definiert den Begriff „Stehwellenminimum“ mit dem Synonym „Stehwellenknoten“ (einer stehenden Welle) als Ort in einem Ausbreitungsmedium, an dem die Vektorsumme einer festgelegten Feldgröße von zwei Wellen, die eine Stehwelle hervorrufen, ein Minimum hat.

3.1.3.3

Messplatzdämpfung

A_N

Minimalwert der Einfügungsdämpfung des Messplatzes, der zwischen zwei über einer leitenden Bodenfläche auf einem Kalibrierplatz aufgestellten Antennen mit gleicher, aufeinander abgestimmter Polarisation gemessen wird, wenn eine Antenne über einen festgelegten Höhenbereich vertikal bewegt wird und die andere in einer festen Höhe verbleibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Begriffe Einfügungsdämpfung des Messplatzes (siehe 3.1.3.4) und Messplatzdämpfung beschreiben im Wesentlichen die gleiche Messgröße, jedoch wird der Begriff Messplatzdämpfung im Zusammenhang mit der Suche nach dem für ein Antennenpaar gemessenen Minimalwert der Einfügungsdämpfung des Messplatzes benutzt, wenn die Höhe einer Antenne über einer Bodenfläche variiert.

3.1.3.4

Einfügungsdämpfung des Messplatzes

A_i

Dämpfung (Übertragungsverlust) zwischen zwei Antennen mit gleicher Polarisation, die (der) sich ergibt, wenn die mit Hilfe von Leitungen und Dämpfungsgliedern hergestellte direkte elektrische Verbindung zwischen dem Ausgang des Signalgenerators (d. h. des Messsenders) und dem Eingang des Messempfängers durch eine Sendeantenne und eine Empfangsantenne ersetzt wird, wobei beide Antennen in einer jeweils festgelegten Position auf einem Kalibrierplatz angeordnet sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Anwendung dieser Norm bedeutet das Formelzeichen A_{ic} die theoretische und A_{im} die gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes in dB.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Formelzeichen A_i benutzt A als konventionelles Zeichen für die Dämpfung und der Index i steht für Einfügung. Bei A_i sollte der Index nicht mit der anderweitigen Verwendung von i in dieser Norm als laufender Index, z. B. $i = 1, 2, 3$ verwechselt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Einfügungsdämpfung des Messplatzes, A_i in dB ist durch die Differenz zwischen den Empfangsspannungen U_{Direkt} in dB(μV) und $U_{\text{Messplatz}}$ in dB(μV) gegeben, die bei direkter Verbindung bzw. bei angeschlossenen Antennen gemessen wird:

$$A_i = U_{\text{Direkt}} - U_{\text{Messplatz}}$$

Die Einfügungsdämpfung des Messplatzes ist als Verlustfaktor definiert, so dass eine Antennenengeometrie, die eine minimale Einfügungsdämpfung des Messplatzes (siehe auch 3.1.3.3) ergibt, bedeutet, dass das maximale Signal empfangen wird.

3.2 Abkürzungen

Die nachfolgenden Abkürzungen, die nicht bereits in 3.1 aufgeführt sind, werden in dieser Norm verwendet.

AF	antenna factor	Antennenfaktor
AUC	antenna under calibration	zu kalibrierende Antenne
DRH	double-ridged horn antenna	Doppelsteg-Hornantenne
EM	electromagnetic	elektromagnetisch
EMV	electromagnetic compatibility	Elektromagnetische Verträglichkeit
EUT	equipment under test	Prüfling
HF	radio frequency	Hochfrequenz; Funkfrequenz
HP	horizontal polarization	horizontale Polarisation
MoM	method of moments	Momentenmethode
NSA	normalized site attenuation	normierte Messplatzdämpfung
NSIL	normalized site insertion loss	normierte Einfügungsdämpfung des Messplatzes
OATS	open-area test site	Freifeldmessplatz
RSM	reference site method	Referenz-Messplatz-Verfahren
RSS	root sum square	Quadratwurzel über die Summe der Quadrate
SAC	semi anechoic chamber	Halbabsorberkammer
SAM	standard antenna method	Standardantennen-Verfahren
SSM	standard site method	Norm-Messplatz-Verfahren
TAM	three antenna method	Drei-Antennen-Verfahren
VNA	vector network analyzer	Vektor-Netzwerkanalysator
VP	vertical polarization	vertikale Polarisation
VSWR	voltage standing wave ratio	Spannungs-Stehwellenverhältnis

4 Festlegungen und Validierungsverfahren für Kalibrier- und Referenz-Messplätze für den Frequenzbereich von 5 MHz bis 1 000 MHz

4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt legt die Anforderungen an und ein Eignungsprüfverfahren für Messplätze fest, die für die Kalibrierung von Antennen über einer leitenden ebenen Metallfläche im Frequenzbereich von 5 MHz bis 1 000 MHz geeignet sind. Ein Kalibrierplatz, der diese Anforderungen für die horizontale Polarisation erfüllt, wird als Antennenkalibriermessplatz bezeichnet. Ein Antennenkalibriermessplatz, der die Anforderungen auch für die vertikale Polarisation erfüllt, kann als Messplatz für Bezugsmessungen bzw. Referenz-Messplatz benutzt werden. Die Validierung eines Kalibriermessplatzes für die vertikale Polarisation, der für die Kalibrierung von Monopolantennen geeignet ist, ist in [4.10](#) beschrieben.

ANMERKUNG 1 Obwohl die Eignungsprüfung von Antennenkalibriermessplätzen und Referenz-Messplätzen nach den gleichen Verfahren durchgeführt wird, wird ein Antennenkalibriermessplatz für die Kalibrierung von Antennen verwendet, während ein Referenz-Messplatz als Referenz für die Validierung von Messplätzen für Konformitätsmessungen (COMTS) verwendet wird. Folglich darf das Eignungskriterium bei einem Referenz-Messplatz weniger streng sein als bei einem Antennenkalibriermessplatz.

ANMERKUNG 2 Ein Verfahren für die Validierung von Antennenkalibriermessplätzen für die vertikale Polarisation ist in [4.7.3](#) gegeben. Die primäre Validierung für die horizontale Polarisation zeigt, dass die Bodenfläche ausreichend eben und leitfähig ist, und diese Validierung gilt gleichermaßen für horizontale und vertikale Polarisation. Jedoch können in der vertikalen Polarisationsrichtung stärkere Reflexionen von Antennenteilen und Leitungen auftreten, daher ist die Validierung für die vertikale Polarisation notwendig, um die Kalibrierung von Antennen zu unterstützen, die mit vertikaler Polarisation verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Bei Messplätzen, auf denen das Norm-Messplatz-Verfahren nur zum Kalibrieren von LPDA-Antennen, d. h. die bidirektional (zweigerichtet) sind, genutzt wird, ist es nicht wesentlich, die Eignung des Messplatzes unter Verwendung von Dipolantennen zu prüfen. Die Verwendung des Referenz-Messplatz-Verfahrens (d. h. siehe [CISPR 16-1-4](#)) unter Verwendung eines Paares von LPDA-Antennen reicht (für die Validierung des Messplatzes) aus. Ein Messplatz, dessen Eignung unter Verwendung von Dipolantennen nachgewiesen wurde, wird das Eignungskriterium für Messplätze gut erfüllen, das für die Anwendung des Norm-Messplatz-Verfahrens unter Nutzung von Paaren aus je drei LPDA-Antennen erforderlich ist.

Ein Verfahren für die Validierung von Halbabsorberkammern für Zwecke der Antennenkalibrierung unter Verwendung des Referenz-Messplatz-Verfahrens (das Referenz-Messplatz-Verfahren ist in [CISPR 16-1-4](#) beschrieben) wird in [7.2](#) bereitgestellt.

Die Anhänge in dieser Norm enthalten informative Angaben zum Antennenkalibriermessplatz und zum berechenbaren Dipol, der bei den Verfahren für die Validierung von Antennenkalibriermessplätzen verwendet werden muss. Sie stellen auch die Einzelheiten eines analytischen Modells für die Berechnung der theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes unter Verwendung von resonanten Dipolantennen (abgestimmten Dipolantennen) zusammen mit numerischen Beispielen sowie eine Prüfliste zum Validierungsverfahren zur Verfügung. Die Anhänge beschreiben auch rechnergestützte Berechnungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes mit Hilfe der Momentenmethode für ein Paar von berechenbaren Breitbanddipolantennen, aus denen der Antennenfaktor abgeleitet werden kann.

ANMERKUNG 4 Die Umsetzung von Abschnitt 4 (in die Praxis) wird durch Verwendung der in [C.2](#) beschriebenen CAP2010-Software [\[24\]](#) beträchtlich vereinfacht.

4.2 Festlegungen für den Antennenkalibriermessplatz

4.2.1 Allgemeines

Der Antennenkalibriermessplatz umfasst folgende Hauptkomponenten:

- eine elektrisch leitende ebene Metallfläche (die reflektierende Ebene);
- eine elektromagnetisch hindernisfreie Umgebung um die reflektierende Ebene.

Zusätzlich werden folgende Zusatz-/Hilfseinrichtungen benötigt:

- zwei Antennenmaste, die die Antennen stützen;
- die Kabel, die an diese Antennen anzuschließen sind; und
- die elektronische Ausrüstung wie z. B. HF-Signalgenerator (Messsender) und Messempfänger oder Vektor-Netzwerkanalysator.

Die normativen Festlegungen für einen Antennenkalibriermessplatz werden in 4.2.2 (mit dem zugehörigen Eignungskriterium in [4.5.3](#)) gegeben, während [Anhang A](#) zahlreiche informative Angaben als Leitfaden für die Konstruktion und zum Platzieren eines Antennenkalibriermessplatzes in einer solchen Weise enthält, dass die Eignungskriterien erfüllt sind. [Anhang A](#) (d. h. [A.4](#)) enthält auch Einzelheiten eines zusätzlichen strengen Eignungsprüfverfahrens für Antennenkalibriermessplätze.

4.2.2 Normative Festlegungen

Ein Antennenkalibriermessplatz muss das in [4.5.3](#) angegebene Eignungskriterium erfüllen. Ein Frequenz-Teilbereich von 30 MHz bis 1 000 MHz darf verwendet werden, wenn der Antennenkalibriermessplatz nur für Antennenkalibrierungen in diesem Teilbereich genutzt wird.

Die Übereinstimmung bei den in der [Tabelle 3](#) (siehe [4.4.3.1](#)) angegebenen 24 Frequenzen im Bereich von 30 MHz bis 1 000 MHz als Ergebnis der Messung mit berechenbaren Dipolen (siehe [4.4.4](#)) führt zur Feststellung, dass die Bodenfläche von geeigneter Größe, Ebenheit und Leitfähigkeit ist sowie dass eine ausreichende Freiheit von Reflexionen von Hindernissen bei diesen 24 Frequenzen besteht. Die Übereinstimmung bei allen anderen für die Antennenkalibrierung erforderlichen Frequenzen entweder als Ergebnis der Messung mit berechenbaren Dipolen oder der Anwendung des Referenz-Messplatz-Verfahrens entsprechend [4.4.5](#) führt zur Feststellung, ob die elektrischen Eigenschaften des Antennenkalibriermessplatzes Unregelmäßigkeiten wie z. B. Reflexionen von Hindernissen wie Gebäude, Drähte, Zäune und Bäume sowie Reflexionen von Antennenmasten und Kabeln aufweisen.

Wenn bei der Kalibrierung von Antennen oder bei Messungen der Bezugs-Einfügungsdämpfung des Messplatzes die vertikale Polarisation verwendet wird, muss der Antennenkalibriermessplatz das Eignungskriterium nach [4.7.3.5](#) erfüllen.

ANMERKUNG 1 Eine strengere Eignungsprüfung für Messplätze ist in [A.4](#) gegeben, wobei ein Nullsignal entweder durch Höhenvariation der Antenne oder durch Variation der Frequenz ermittelt und festgehalten wird.

ANMERKUNG 2 Beim Eignungsprüfverfahren für Antennenkalibriermessplätze werden Geräte benutzt, die ebenfalls normativen Festlegungen unterliegen, d. h. siehe [4.3](#) und [4.4](#).

ANMERKUNG 3 Das Eignungs-Prüfprotokoll (Abnahmeprotokoll) für den Antennenkalibriermessplatz (siehe [4.8](#)) enthält Informationen darüber, wie gut die Einhaltung der Anforderungen beibehalten wird, so dass davon ausgegangen werden kann, dass der Antennenkalibriermessplatz während seiner praktischen Verwendung die Anforderungen erfüllt.

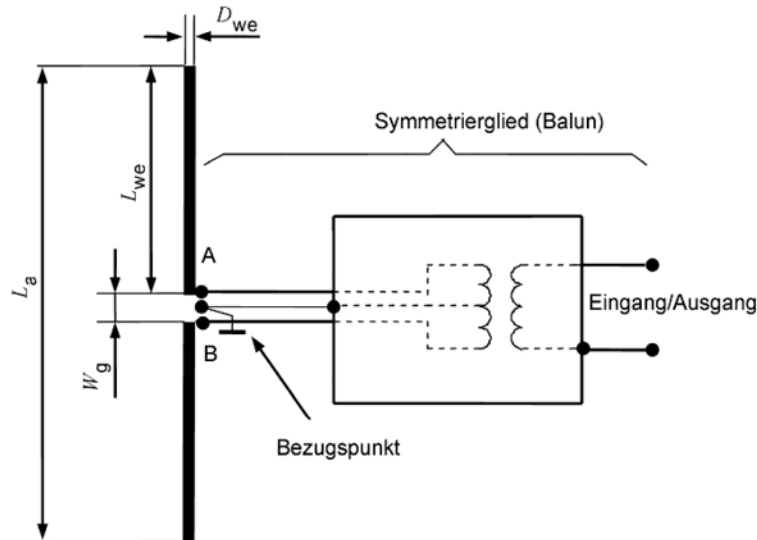
4.3 Festlegung für die Messantennen

4.3.1 Allgemeines

Für die rechnergestützte (numerische) Berechnung der theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes A_{ic} , die beim Validierungsverfahren verwendet wird, werden Antennen benötigt, die exakt modelliert werden können. Deshalb muss die Messantenne ein Dipol sein, der mit einem Symmetrierübertrager (Balun) mit festgelegten Eigenschaften verbunden ist. Die normativen Festlegungen für Messantennen sind in [4.3.2](#) gegeben. Ein Beispiel für die Konstruktion einer Messantenne ist im [Anhang B](#) gegeben.

Die Messantenne besteht aus einem Symmetrierübertrager (Balun) und zwei in einer Linie angeordneten Drahtelementen (Leiterstücken), die jedes einen Durchmesser D_{we} und eine Länge L_{we} besitzen. Diese Elemente werden mit den beiden Speiseanschlüssen (A und B in [Bild 1](#)) des Symmetrierübertragers (Balun) verbunden. Der Spalt zwischen diesen Speiseanschlüssen besitzt eine Breite W_g . Die Gesamtlänge L_a der Antenne über die Spitzen ist durch $L_a = 2L_{we} + W_g$ gegeben. Die Mitte der Messantenne befindet sich in der Mitte des Speiseschlitzes auf der Mittelachse der beiden in einer Linie angeordneten Drahtelemente (Leiterstücke).

Der Symmetrierübertrager (Balun) besitzt einen unsymmetrischen Ein-/Ausgang (Sende-/Empfangsantenne) und einen symmetrischen Anschluss an den beiden Speiseanschlüssen A und B. Als Beispiel ist in [Bild 1](#) die Funktion des Symmetrierübertragers (Balun) schematisch durch den Symmetrie-/Unsymmetrie-Transformator dargestellt.



ANMERKUNG Die Mitte der Messantenne befindet sich in der Mitte des Speiseschlitzes auf der Mittelachse der beiden Drahtelemente (Leiterstücke).

Bild 1 – Prinzipschaltbild der Messantenne

4.3.2 Einzelheiten der erforderlichen Eigenschaften der Messantenne

In der nachfolgenden Liste repräsentiert die Größe ΔX die maximal zulässige Grenzabweichung der Antennenstruktur im Hinblick auf einen Kennwert X . Die quantitativen Wertespezifikationen für diese Grenzabweichungen werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 – Maximale Grenzabweichungen für $d = 10$ m

Kennwert X	Maximale Grenzabweichung ΔX	Abschnitt
L_a	$\pm 0,0025 L_a$ oder $\pm 0,001$ (m), wenn $L_a < 0,400$ (m)	4.3.2 d)
D_{we}	$\pm 0,0025 D_{we}$	4.3.1
Z_{AB}	$VSWR \leq 1,10$	4.3.2 e) 1)
A_b	$\pm 0,3$ dB ^a	4.3.2 e) 2)
ϕ_b	$\pm 4^\circ$ ^a	4.3.2 e) 3)
d	$\pm 0,04$ m	4.4.2.3
h_t	$\pm 0,01$ m	4.4.2.4
h_r	$\pm 0,01$ m	4.4.2.5
f	$\pm 0,001 f$	4.4.3.2
^a Die Grenzabweichungen A_b und ϕ_b sind zu verifizieren, können aber erleichtert werden, wenn durch experimentelle Untersuchung oder Modellierung gezeigt wird, dass der Effekt auf $A_i < 0,05$ dB ist. Alternativ können die Unsicherheiten von A_i für höhere Werte von A_b und ϕ_b quantifiziert werden.		

- a) Die Messantenne muss gleiche Drahtelemente (Leiterstücke) mit der Länge L_{we} besitzen, die vom Symmetrierübertrager (Balun) getrennt werden können, um die Validierung der Parameter des Symmetrierübertragers (Balun) zu ermöglichen und um die Balun-Kopfstellen der beiden Antennen, die bei der Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes verwendet werden, miteinander verbinden zu können.
- b) Mit λ als Wellenlänge ist die Gesamtlänge über die Spitzen, $L_a(f, D_{we})$, des etwa $\lambda/2$ langen Drahtelements (Leiterstücks) durch die Bedingung bestimmt, dass bei der festgelegten Frequenz f und im freien Raum der absolute Betrag des Imaginärteils der Eingangsimpedanz an den Speiseanschlüssen kleiner als 1Ω ist.

ANMERKUNG 1 Wenn die Drahtelemente einen konstanten Durchmesser haben und $D_{we} \ll L_a$ ist, dann wird $L_a(f, D_{we})$ mit Hilfe der Gleichung (C.3) berechnet oder $L_a(f, D_{we})$ wird rechnergestützt mit Hilfe der Momentenmethode (siehe C.2.3) berechnet.

ANMERKUNG 2 Wenn der Durchmesser nicht konstant ist, z. B. wenn eine Teleskopantenne verwendet wird, wird $L_a(f)$ mit Hilfe der Momentenmethode (siehe C.2.3) berechnet. Die Teleskopelemente sollten so abgestimmt werden, dass diejenigen Elemente mit dem größten Durchmesser als Erstes benutzt werden (siehe Bild 2), und die rechnergestützten Berechnungen mit Hilfe der Momentenmethode können diesen Ansatz berücksichtigen.



Bild 2 – Einstellung einer Teleskopantenne auf die Länge L_{we}

ANMERKUNG 3 Die analytische Formulierung von C.1 gilt nur für die Einfügungsdämpfung des Messplatzes bei resonanten Drahtelementen. Für resonante Drahtelemente über einer idealen Bodenfläche oder im freien Raum stimmt die Formulierung von C.2 unter Verwendung der Momentenmethode mit einer Abweichung von weniger als 0,1 dB mit der analytischen Berechnung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes überein, aber bei dünnen Drähten ist die Abweichung kleiner als 0,05 dB (siehe C.1.1). Die Formulierung unter Verwendung der Momentenmethode wurde auf ein Drahtelement mit fester Länge über eine große Bandbreite angewendet [12], [23]. Die Genauigkeit der linearen Elemente wurde nachgewiesen (siehe ANMERKUNG 4), aber die Elemente können einen anderen Entwurf wie z. B. bikonische Elemente mit offener Struktur (d. h. keine Käfigform) haben, wenn gezeigt werden kann, dass diese (anderen Entwürfe) die gleichen oder bessere Leistungsmerkmale aufweisen.

- c) Der Speiseschlitz muss ausreichend klein sein, damit eine Abweichung zwischen der gemessenen und der theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes zwischen zwei resonanten gleichlangen Dipolen erreicht wird, die kleiner als 0,4 dB ist.

ANMERKUNG 4 Es wurde gezeigt, dass die Bedingung, dass die Abweichung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes $< 0,4$ dB ist, bei Verwendung eines Spalts mit $W_g = 9$ mm im Frequenzbereich von 30 MHz bis 599 MHz und mit $W_g = 3$ mm im Frequenzbereich von 600 MHz bis 1 GHz erfüllt wird.

- d) Wenn die Gesamtlänge über die Spitzen, $L_a(f)$, der tatsächlich benutzten Drahtantenne innerhalb von ΔL_a der für diese Antenne spezifizierten Länge $L_a(f)$ liegt (siehe Tabelle 2), dann wird angenommen, dass diese Länge geeignet ist, wenn auch die Breite des Speiseschlitzes mit den Angaben in c) übereinstimmt.
- e) Der symmetrische Eingang des Symmetrierübertragers (Balun) muss folgende Eigenschaften haben:
 - 1) eine festgelegte Impedanz Z_{AB} mit einem Stehwellenverhältnis (VSWR), das kleiner als die in Tabelle 2 angegebene höchste Grenzabweichung ist, wenn der unsymmetrische Eingang mit der Impedanz Z_e abgeschlossen ist (siehe ANMERKUNG 6), die ihm durch eine äußere Schaltung (das Antennenspeisekabel) präsentiert wird;

- 2) eine Amplitudensymmetrie, bezogen auf den Referenzpunkt des Symmetrierübertragers (Balun), die besser als ΔA_b dB ist (siehe [Tabelle 2](#)), wenn beide Speiseanschlüsse mit einer Impedanz $Z_{AB}/2$, bezogen auf den Referenzpunkt des Symmetrierübertragers (Balun), abgeschlossen sind;
- 3) eine Phasensymmetrie von $180^\circ \pm \Delta \phi_{AB}^\circ$ (siehe [Tabelle 2](#)), wenn beide Speiseanschlüsse mit einer Impedanz $Z_{AB}/2$, bezogen auf den Referenzpunkt des Symmetrierübertragers (Balun), abgeschlossen sind.

ANMERKUNG 5 Die Klemmen an den Anschlüssen des Symmetrierübertragers (Balun) ermöglichen die Durchführung von HF-Messungen an den drei Anschlüssen des Symmetrierübertragers (Balun). Es können z. B. SMA-Aufsteckverbinder an den Speiseanschlüssen der Drahtelemente verwendet werden.

ANMERKUNG 6 Die Impedanz Z_e , die durch die äußere Schaltung präsentiert wird, beträgt gewöhnlich 50 Ω , und dies stellt die bevorzugte Impedanz dar. Z_{AB} ist die Impedanz an den Anschlüssen des Symmetrierübertragers (Balun) bei A und B, an die die zwei Hälften des Dipolelements in [Bild 1](#) angeschlossen werden. Der bevorzugte Wert dieser Impedanz ist $Z_{AB} = 100 \Omega$ (real), d. h. Hinzufügung von 50 Ω bei jedem der Anschlüsse A und B.

ANMERKUNG 7 Die Anforderungen an die Symmetrie des Amplituden- und Phasengangs stellen sicher, dass die Signale an den Speiseanschlüssen A und B in der Amplitude hinreichend gleich und in der Phase, bezogen auf den Referenzpunkt des Symmetrierübertragers (Balun), entgegengerichtet sind. Wenn der symmetrische Eingang diese Anforderungen erfüllt, ist die Entkopplung zwischen den beiden Speiseanschlüssen größer als 26 dB, wenn der unsymmetrische Eingang mit der Impedanz Z_e abgeschlossen ist.

ANMERKUNG 8 Soweit praktikabel, werden die Komponenten des Symmetrierübertragers (Balun) so ausgerichtet, dass sie den Antennenelementen der Drahtantenne die kleinste reflektierende Oberfläche bei gleicher Polarisation zuwenden.

ANMERKUNG 9 Die Komponenten des Symmetrierübertragers (Balun) sind elektrisch geschirmt, so dass ihre (parasitären) Eigenschaften nicht von der Umgebung beeinflusst werden können. Der Referenzpunkt des Symmetrierübertragers (Balun) und der Masseanschluss des Ausgangs-/Eingangsanschlusses sind mit diesem Schirm verbunden. Ein Beispiel für einen Symmetrierübertrager (Balun) ist ein 3-dB-Hybridkoppler mit in entgegengesetzter Phasenlage befindlichen Ausgängen.

- f) Die Eigenschaften des Symmetrierübertragers (Balun), wie sie in [4.3.2 e](#)) gefordert werden, können aus Messungen der S -Parameter und teilweise über Messungen der Einfügungsdämpfung bestimmt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Eigenschaften des Symmetrierübertragers (Balun) bei der Berechnung von A_i einbezogen wurden, kann die Kopf-zu-Kopf-Verbindung der Symmetrierübertrager in [4.4.4.2.1](#) und [4.4.4.2.3](#) (d. h. für die Einfügungsdämpfung, siehe [Bild 3](#)) durch eine Kabel-zu-Kabel-Verbindung, bezogen auf die Eingänge der Symmetrierübertrager (Balun), ersetzt werden, wenn der vollständige Satz der S -Parameter des Symmetrierübertragers (Balun) bekannt ist.

ANMERKUNG 10 Falls notwendig, wird die Fehlanpassung der Anschlüsse, die durch den Generator und den Messempfänger gegenüber den Symmetrierübertragern präsentiert wird, mit Hilfe von Ausgleichsdämpfungsgliedern ausreichend verringert.

ANMERKUNG 11 Messungen der S -Parameter und der Einfügungsdämpfung sind in [B.3.1](#) bzw. [B.3.3](#) beschrieben.

- g) Wenn beim Validierungsverfahren des Antennenkalibriermessplatzes Messantennen und/oder Messgeräte verwendet werden, deren Z_{AB} und/oder Z_e von den Vorzugswerten 100 Ω bzw. 50 Ω abweichen, dann sollte dieser Umstand ausdrücklich im Eignungs-Prüfprotokoll (Abnahmeprotokoll) (für den Antennenkalibriermessplatz) erwähnt werden (siehe [4.8](#)).

4.4 Validierungsverfahren für den Antennenkalibriermessplatz

4.4.1 Allgemeines

Beim Eignungsprüfverfahren für den Antennenkalibriermessplatz wird die gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes, A_{im} , mit der berechneten theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes, A_{ic} , eines idealen Freifeldmessplatzes (siehe [3.1.2.6](#)) verglichen. Das Prüfverfahren weist somit nach, ob der Antennenkalibriermessplatz in ausreichendem Maße die Eigenschaften, die bei der Berechnung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes angenommen wurden, besitzt.

Die Eigenschaften der Bodenfläche in Bezug auf Ebenheit und ihre Abmessungen, die Höhe ihres Reflexionskoeffizienten sowie der Einfluss der Umgebung, die einen idealen Freifeldmessplatz konstituieren, werden gleichzeitig bei der Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes nachgewiesen, wobei feste Antennenhöhen (siehe 4.4.4) verwendet werden, und anschließend werden die gemessenen und die berechneten Werte der Einfügungsdämpfung des Messplatzes miteinander verglichen.

Die Eigenschaften der Bodenfläche in Bezug auf Ebenheit und Größe, die Phasendifferenz zwischen der einfallenden und der reflektierten Welle sowie der Einfluss der Umgebung, die einen idealen Freifeldmessplatz konstituieren, können zusätzlich gleichzeitig nachgewiesen werden, indem eine Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes mit Frequenzsuchlauf oder mit Höhenvariation durchgeführt wird (siehe A.4).

In den nachfolgenden Abschnitten stellt die Größe $\pm \Delta X$ die maximal zulässige Grenzabweichung eines Parameters X dar, die beim Validierungsverfahren erlaubt ist. Quantitative Festlegungen für die Grenzabweichungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

4.4.2 Messaufbau

4.4.2.1 Die Mitten der Messantennen, die Antennenmasten und die Antennen-Koaxialkabel werden in einer Ebene angeordnet, die senkrecht auf der reflektierenden Ebene steht, und mittig auf dieser Ebene angeordnet.

ANMERKUNG 1 Die Mitte der Messantenne wird in 4.3.1 definiert (siehe auch Bild 1).

4.4.2.2 Während dieser Messungen werden die auf einer Linie liegenden Drahtelemente parallel zur reflektierenden Ebene (d. h. horizontal polarisiert) angeordnet (d. h. senkrecht zu der in 4.4.2.1 erwähnten (vertikalen) Ebene).

Am unteren Ende des Frequenzbereichs, z. B. zwischen 30 MHz und 40 MHz, können sich die vergleichsweise langen Drahtelemente (Antennenstäbe) herunterbiegen und damit die Messergebnisse beeinflussen. Dieser Einfluss kann durch mechanisches Abstützen der Drahtelemente (Antennenstäbe) beseitigt oder bei der Berechnung der theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes berücksichtigt werden.

4.4.2.3 Der horizontale Abstand zwischen den Mittelpunkten der Messantennen ist:

$$d = 10,00 \text{ m} \pm \Delta d \text{ m (bezüglich } \Delta d \text{ siehe Tabelle 2).}$$

4.4.2.4 Die Höhe des Mittelpunkts der Sendeantenne über der reflektierenden Ebene ist:

$$h_t = 2,00 \text{ m} \pm \Delta h_t \text{ m (bezüglich } \Delta h_t \text{ siehe Tabelle 2).}$$

4.4.2.5 Die Höhe des Mittelpunkts der Empfangsantenne über der reflektierenden Ebene muss auf die Höhen $h_r = \pm \Delta h_r$ einstellbar sein, wie sie in Tabelle 3 (siehe 4.4.3.1) und Tabelle 2 (siehe 4.3.2) festgelegt sind.

4.4.2.6 Die mit den Symmetrierübertragern der Sende- und Empfangsantennen verbundenen Koaxialkabel verlaufen senkrecht zu den Drahtelementen und parallel zur reflektierenden Ebene bis zu einem Abstand von mindestens 1 m von den Drahtelementen. Anschließend können die Kabel vertikal auf die reflektierende Ebene herunterfallen und (vorzugsweise) unter oder auf der reflektierenden Ebene senkrecht zu den Drahtelementen weitergeführt werden, bis sie den Rand dieser Ebene erreichen. Wenn die Kabel teilweise unter der reflektierenden Ebene verlaufen, sollte der leitfähige Kabelmantel mit der reflektierenden Ebene am Durchdringungspunkt durch die Ebene (360° umlaufend) elektrisch fest verbunden sein.

Wenn eine Unsymmetrie bekannt ist oder vermutet wird, wird dazu geraten, die Koaxialkabel, die mit den Symmetrierübertragern (Balun) verbunden sind, mit Ferriten zu belasten, um eine Gleichtakt-Verkopplung zu reduzieren. Ein Verfahren zur Bezifferung der Wirkung der Kabelreflexion ist in CISPR 16-1-6:2014, A.2.3 gegeben, als deren Ergebnis es sein kann, dass der Abstand auf einen kleineren Wert als 5 m verringert oder ein Unsicherheitsbeitrag zu den Ergebnissen der Antennenkalibrierung addiert werden muss.

ANMERKUNG 2 Die Verwendung von Kabeln mit niedriger Übertragungsimpedanz (Kopplungsimpedanz) kann den Einfluss auf die Ergebnisse der Messung der induzierten Mantelströme durch diese Impedanz auf ein Minimum verringern.

ANMERKUNG 3 Wenn die Festlegungen für den grundlegenden Messaufbau nach 4.4.2 bei der Prüfung von vertikal polarisierten Antennen z. B. nach 4.7 genutzt werden, gelten im Allgemeinen ähnliche Überlegungen in Bezug auf die Kabelverlegung, siehe auch 4.7.3.3.

4.4.2.7 Der HF-Signalgenerator (Messsender) und der HF-Messempfänger dürfen nicht über das Niveau der reflektierenden Ebene angehoben werden, wenn sie sich näher als 20 m zu den Antennen befinden.

4.4.2.8 Der HF-Signalgenerator (Messsender) muss während der gesamten Dauer der Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes eine gute Frequenz- und Amplitudenstabilität des Ausgangssignals aufweisen. Siehe auch 4.4.4.2.3.2.

Es kann nötig sein, bei der Messung eine Aufwärmphase (üblicherweise vom Messgerätehersteller angegeben, z. B. eine Stunde) für den HF-Signalgenerator (Messsender) und den HF-Messempfänger einzubeziehen, um eine ausreichende Langzeitstabilität der Geräte sicherzustellen.

4.4.2.9 Die Linearität des HF-Messempfängers muss über einen Dynamikbereich von mindestens 50 dB kalibriert sein, siehe auch 4.4.4.2.1.3. Die zugehörige Unsicherheit der Linearität des Messempfängers wird mit ΔA_r bezeichnet (z. B. verwendet in 4.5.2.2). Ein vernünftiger Wert für die Unsicherheit der Linearität des Messempfängers ist 0,2 dB.

Wenn der lineare Dynamikbereich kleiner als 50 dB ist, kann eine Substitutionsmethode unter Verwendung eines Präzisions-Dämpfungsglieds durchgeführt werden, wie in 4.4.4.3.2 beschrieben.

4.4.3 Messfrequenzen und Höhen der Empfangsantenne

4.4.3.1 Ferner zu den normativen Festlegungen in 4.2.2 müssen die in 4.4.4 beschriebenen Eignungsprüfungen des Messplatzes mindestens bei den in CISPR 16-1-4 genannten 24 Frequenzen, d. h. wie sie in Tabelle 3 angegeben sind, über den Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 000 MHz unter Verwendung von festen Höhen h_r (m) der Mitte der Empfangsantenne über der reflektierenden Ebene, wie sie ebenfalls in Tabelle 3 angegeben sind, durchgeführt werden. Für die Kalibrierung von Antennen unter Verwendung der Verfahren nach CISPR 16-1-6 müssen Eignungsprüfungen des Messplatzes unter Verwendung von Messungen mit Frequenzsuchlauf, wie in 4.4.5 beschrieben, durchgeführt werden.

Tabelle 3 – Frequenzen und feste Höhen der Empfangsantenne für Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes, wobei $h_t = 2$ m und $d = 10$ m ist (siehe 4.4.2.3 und 4.4.2.4)

Frequenz MHz	h_r m	Frequenz MHz	h_r m	Frequenz MHz	h_r m
30	4,00	90	4,00	300	1,50
35	4,00	100	4,00	400	1,20
40	4,00	120	4,00	500	2,30
45	4,00	140	2,00	600	2,00
50	4,00	160	2,00	700	1,70
60	4,00	180	2,00	800	1,50
70	4,00	200	2,00	900	1,30
80	4,00	250	1,50	1 000	1,20

4.4.3.2 Die Frequenz des Messsenders (HF-Signalgenerators), der das Signal für die Sendeantenne liefert, muss innerhalb von Δf (siehe Tabelle 2) einer Messfrequenz eingestellt werden, die in Tabelle 3 angegeben oder in Abschnitt A.4 festgelegt ist.

4.4.3.3 Wenn Schmalbandrauschen, wie es z. B. von Rundfunksendern herrührt, eine genaue Messung bei einer der in 4.4.3.1 und A.4 festgelegten Frequenzen verhindert, muss eine brauchbare Messfrequenz, die so nahe wie möglich bei der festgelegten Frequenz liegt, gewählt werden.

Die Begründung für eine Abweichung von der festgelegten Frequenz muss im Eignungs-Prüfprotokoll (Abnahmeprotokoll) festgehalten werden (siehe 4.8).

4.4.4 Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes

4.4.4.1 Allgemeines

4.4.4 beschreibt die drei Messungen, als Messung 1, Messung 2 und Messung 3 bezeichnet, die nötig sind, um die gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes, A_{im} , bei den festgelegten Frequenzen zu bestimmen (siehe 4.4.3.1 in Bezug auf die Eignungskriterien). Als Einfügungsdämpfung des Messplatzes wird die Dämpfung zwischen den Speiseanschlüssen der Sendeantenne (A und B in Bild 3 und Bild 4) und den entsprechenden Anschlüssen der Empfangsantenne (C und D in Bild 3 und Bild 4) angesehen.

Wenn ein vollständiger Satz von S-Parametern der Symmetrierübertrager (Balun) verfügbar ist (wie in 4.3.2 f) beschrieben), sollten sie bei der Berechnung der theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes (siehe C.2.4) einbezogen werden; dieser Ansatz ermöglicht, dass geringere Unsicherheiten erreicht werden. In diesem Fall wird die gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes unter Verwendung einer Kabelverbindung zwischen den beiden Kabel/Balun-Anschlüssen abgeleitet (Prinzipschaltbild in Bild 3 gezeigt).

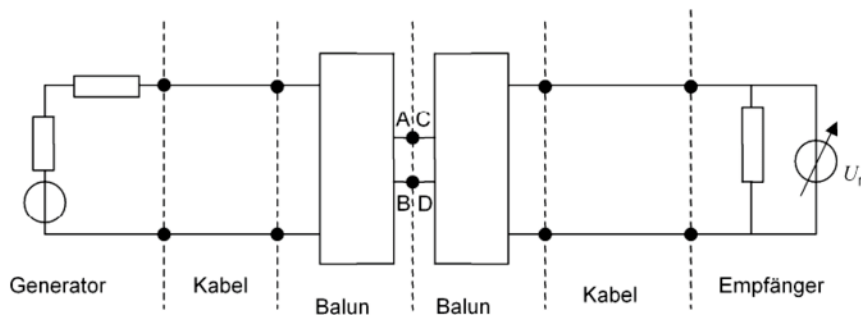


Bild 3 – Bestimmung von $U_{r1}(f)$ oder $U_{r2}(f)$

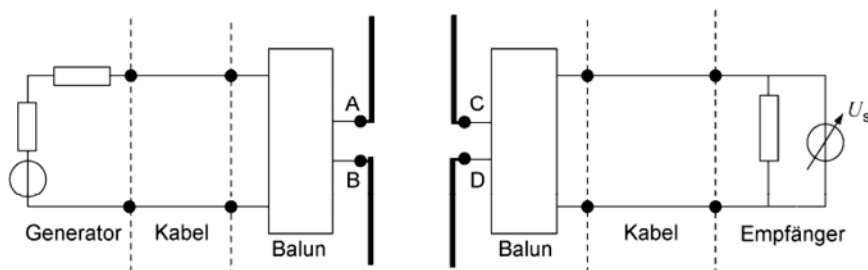


Bild 4 – Bestimmung von $U_s(f)$ mit den Drahtantennen an ihren festgelegten Positionen

4.4.4.2 Messungen 1, 2, 3 zur Bestimmung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes

4.4.4.2.1 Messung 1

4.4.4.2.1.1 Die Referenzspannung $U_{r1}(f)$ wird bei einer festgelegten Frequenz f bestimmt.

Diese Spannung wird dazu verwendet, die Dämpfung des Signals zwischen dem Ausgang des HF-Signalgenerators (Messsenders) und den Speiseanschlüssen der Sende-Drahtantenne und in gleicher Weise die Dämpfung zwischen den Speiseanschlüssen der Empfangs-Drahtantenne und dem Eingang des Messempfängers zu bestimmen.

4.4.4.2.1.2 $U_{r1}(f)$ wird wie folgt bestimmt.

Die Drahtelemente der Messantennen werden von ihren Symmetrierübertragern (Balun) getrennt und die beiden Symmetrierübertrager (Balun) Kopf an Kopf mit einer kurzen Verbindung miteinander verbunden, wobei die Einfügungsdämpfung der Verbindung berücksichtigt werden muss – siehe Bild 3.

4.4.4.2.1.3 Der Pegel des HF-Signalgenerators (Messsenders) wird so eingestellt, dass er eine Empfängeranzeige ergibt, die mindestens 60 dB über dem Rauschpegel des Empfängers liegt. Die Anzeige des Empfängers wird als $U_{r1}(f)$ festgehalten. Sämtliche Anzeigen sind in dB.

Der Rauschpegel des Empfängers kann durch Verkleinerung der Bandbreite des Empfängers verringert werden. Wenn jedoch der HF-Signalgenerator (Messsender) und der HF-Messempfänger nicht frequenzverkopelt sind, wie es bei Mitlaufgeneratoren und Spektrumanalysatoren der Fall ist, sollte die Bandbreite des Empfängers ausreichend breit eingestellt werden, damit eine mögliche Frequenzdrift des Signals des HF-Signalgenerators die Messergebnisse nicht beeinflusst.

ANMERKUNG Ein Signal bei der Messung 1 von mindestens 34 dB über dem Empfängerrauschen ergibt eine annehmbare Unsicherheit, siehe auch CISPR 16-1-6:2014, 6.2.3. In Tabelle C.1 beträgt die Einfügungsdämpfung des Messplatzes bei 1 000 MHz 42,71 dB, so dass die Dämpfung unter Einbeziehung der Kabel und der Dämpfungsglieder wahrscheinlich mindestens 60 dB beträgt; wenn dieses Signal um weniger als 34 dB über dem Empfängerrauschen liegt, kann der Antennenabstand auf einen minimalen Wert von 2λ verringert und/oder die Unsicherheit aufgrund des Rauschens kann erhöht werden.

4.4.4.2.1.4 Wenn das in 4.4.4.1 genannte S-Parameter-Verfahren befolgt wird, werden die Messantennen abgeklemmt, und die beiden Antennenkabel werden miteinander verbunden, wenn $U_{r1}(f)$ und $U_{r2}(f)$ in 4.4.4.2.3 bestimmt werden.

4.4.4.2.1.5 Die in 4.4.4.2.1 bei besonderen Frequenzen benutzte Amplitudeneinstellung des HF-Signalgenerators (Messsenders) bleibt bei den Messungen in Zusammenhang mit 4.4.4.2.2 und 4.4.4.2.3 unverändert.

4.4.4.2.2 Messung 2

Die Symmetrierübertrager werden voneinander getrennt und die Drahtelemente mit ihren Symmetrierübertragern verbunden (siehe Bild 4). Die Elemente mit der festgelegten Länge $L_a(f)$ werden ausgewählt. Die Messantennen werden in die in 4.4.2 und 4.4.3 festgelegten Positionen gebracht. Alle anderen Bedingungen des Messaufbaus sind die gleichen wie in 4.4.4.2.1.

ANMERKUNG Elemente mit festgelegter Länge und konstantem Durchmesser werden bevorzugt. Teleskopelemente besitzen variierende Durchmesser und werden zu größeren Unsicherheiten bei der Berechnung von A_i führen (siehe 4.3.2 b), ANMERKUNG 2).

Bei der festgelegten Messfrequenz f und mit den Antennen in ihren festgelegten Positionen wird die Anzeige des Messempfängers als $U_s(f)$ festgehalten. Es sollte sorgfältig darauf geachtet werden, dass sichergestellt ist, dass das ausgesendete Feld nicht die von lokalen Regulierungsbehörden zugelassenen Pegel überschreitet.

4.4.4.2.3 Messung 3

4.4.4.2.3.1 Bei der Messung 3 wird die Messung der Referenzspannung nach 4.4.4.2.1 bei der gleichen festgelegten Frequenz wiederholt. Das Ergebnis wird als $U_{r2}(f)$ festgehalten.

4.4.4.2.3.2 Wenn $U_{r1}(f)$ und $U_{r2}(f)$ um mehr als 0,2 dB voneinander abweichen, muss die Stabilität des Messaufbaus verbessert und die vorherigen Messungen 1, 2 und 3 müssen wiederholt werden.

4.4.4.2.3.3 Eine Ursache von Instabilität kann auch die Temperaturabhängigkeit der Dämpfung des Koaxialkabels sein, insbesondere bei direkter Sonneneinstrahlung. Die Mindestzeit zwischen den Messungen von $U_{r1}(f)$ und $U_s(f)$ sowie von $U_{r2}(f)$ muss genutzt werden.

4.4.4.3 Bestimmung der Ergebnisse bezüglich der Einfügungsdämpfung des Messplatzes

4.4.4.3.1 Die gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes, $A_{im}(f)$, ergibt sich aus den Ergebnissen der Messungen 1, 2 und 3 mit Hilfe von Gleichung (1):

$$A_{im}(f) = U_{ra}(f) - U_s(f) \text{ (dB)} \quad (1)$$

Dabei ist $U_{ra}(f)$ der Mittelwert aus $U_{r1}(f)$ und $U_{r2}(f)$.

4.4.4.3.2 Wenn der Dynamikbereich des HF-Messempfängers die Anforderungen von 4.4.2.9 nicht erfüllt, kann nachfolgende Substitutionsmethode unter der Voraussetzung verwendet werden, dass der vollständige Satz von S-Parametern des Symmetrierübertragers (Balun) zur Verfügung steht und die Eigenschaften des Symmetrierübertragers (Balun) bei der Berechnung der theoretischen Einfügungsdämpfung des Messplatzes enthalten sind.

- Bestimme und notiere die Anzeige des Messempfängers $U_s(f)$, wie in 4.4.4.2.2 (Messung 2) beschrieben.
- Ersetze die Messantennen durch ein kalibriertes Präzisions-Dämpfungsglied und verbinde beide Antennenkabel mit diesem Dämpfungsglied. Stelle dann die durch das Dämpfungsglied verursachte Einfügungsdämpfung auf einen Wert $A_{im1}(f)$ ein, bei dem sich die gleiche Anzeige $U_s(f)$ des Messempfängers wie unter Schritt a) ergibt. Halte $A_{im1}(f)$ und die dazugehörige Messunsicherheit $\Delta A_{im1}(f)$ fest.
- Zum Nachweis der Stabilität des Messaufbaus (wie in 4.4.2.8 erwähnt) wiederhole Schritt b), um $A_{im2}(f)$ nach einer Zeitspanne, die sich der Gesamtzeit zwischen der Ablesung von $U_s(f)$ im Schritt a) und $A_{im1}(f)$ in Schritt b) annähert, zu bestimmen. Wenn $A_{im2}(f)$ um mehr als 0,2 dB von $A_{im1}(f)$ abweicht, muss die Stabilität des Messaufbaus verbessert und die Schritte a), b) und c) müssen wiederholt werden.
- Wenn der Messaufbau ausreichend stabil ist, ergibt sich die gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes, $A_{im}(f)$, zu:

$$A_{im}(f) = A_{im,a}(f) \text{ (dB)} \quad (2)$$

Dabei ist $A_{im,a}(f)$ der Mittelwert zwischen $A_{im1}(f)$ und $A_{im2}(f)$.

4.4.4.3.3 Wenn keine Vorkehrungen getroffen wurden, um das Herunterbiegen der Drahtelemente beider Messantennen zu vermeiden, muss die Einfügungsdämpfung des Messplatzes, $A_{im}(f)$, korrigiert werden (siehe 4.4.2.2).

4.4.5 Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes mit Frequenzsuchlauf

4.4.5.1 Allgemeines

Die Validierung eines Kalibrierplatzes, auf dem Antennen für kleinere Frequenzintervalle (z. B. beim Frequenzsuchlauf) als in [Tabelle 3](#) angegeben sind, kalibriert werden, muss durch eine Messung mit Frequenzsuchlauf unter Verwendung eines Paares an berechenbaren Dipolantennen durchgeführt werden. [Tabelle A.1](#) enthält ein Beispiel von vier Dipolen, die verwendet werden, um den Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 000 MHz abzudecken. Die maximalen Frequenzintervalle müssen so sein, wie in [Tabelle 4](#) angegeben. Die Validierung kann alternativ mit Hilfe des Referenz-Messplatz-Verfahrens nach [CISPR 16-1-4](#) durchgeführt werden, wobei der Referenz-Messplatz ein $T_{SIL}(f) < 0,7$ dB zur Verwendung in [Gleichung \(5\)](#) (siehe [4.5.3](#)) haben muss, wenn die Messung in Übereinstimmung mit dem in [Tabelle 3](#) verwendeten Verfahren erfolgt. Validierungen mit Frequenzsuchlauf können Reflexionen von Strukturen wie z. B. Antennenteile und -kabel und von jeglichen nahegelegenen reflektierenden bzw. streuenden Objekten wie z. B. Gebäuden besser aufdecken.

Tabelle 4 – Frequenzschritte beim Referenz-Messplatz-Verfahren

Frequenzbereich MHz	Maximale Schrittweite MHz
30 bis 100	1
100 bis 500	5
500 bis 1 000	10

Bei Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes mit Frequenzsuchlauf wird die Einfügungsdämpfung des Messplatzes zwischen zwei berechenbaren Dipolen unter Verwendung eines Abstands von 10 m gemessen. Die Antennen sind horizontal polarisiert und werden in den in [Tabelle 5](#) angegebenen Höhen aufgestellt. Die Bezeichnungen Antenne 1 und Antenne 2 in den Spaltenüberschriften bezeichnen ein Paar von nahezu identischen Antennenelementen, die für die in jeder Zeile von [Tabelle 5](#) angegebenen Frequenzbereiche geeignet sind. Da ein Suchlauf über den Frequenzbereich erfolgt, ändert sich die relative Phase zwischen dem direkten Signal zwischen den Antennen und dem vom Boden reflektierten Signal, was zu Nullstellen des Signals (in [3.1.3.2](#) definiert) führt. Die Genauigkeit der Eignungsprüfung des Messplatzes wird zu null reduziert, aber es besteht eine ausreichende Genauigkeit bis herunter zu einem Pegel von 10 dB unter dem Höchstwert desjenigen Empfangssignals, dessen Frequenz der Frequenz der Nullstelle am nächsten kommt. Ein beispielhafter Plot der normierten Einfügungsdämpfung des Messplatzes (en: NSIL) ist in [Bild 5](#) gezeigt (beruhend auf der Gleichung für den Feldstärkeparameter $e_0(i, j | H)$ in [CISPR 16-1-6:2014, 7.4.1.2.1](#)), wobei sich beide horizontal polarisierte Hertz'sche Dipole in einer Höhe von 2 m befanden.

ANMERKUNG Die normierte Einfügungsdämpfung des Messplatzes (en: NSIL) ist gleich der Einfügungsdämpfung des Messplatzes minus die Antennenfaktoren der beiden Antennen.

Die in [Tabelle 5](#) angegebenen Frequenzbereiche beruhen auf dem in [Tabelle A.1](#) aufgeführten Satz aus vier Dipolen. Für andere Ausführungsformen von Dipolen mit anderen Frequenz-Teilbereichen zwischen 30 MHz und 1 000 MHz kann es sein, dass andere Höhen optimal sind, d. h., die Signalpegel an den Enden des Bandes liegen nahe beim Höchstwert. Aus diesem Grund wird der Frequenzbereich von 600 MHz bis 1 000 MHz in [Tabelle 5](#) auch in zwei Bereiche, dargestellt in Zeile 5 und Zeile 6, unterteilt, als Alternative zu einem einzigen durchgehenden Bereich in Zeile 4. Die Verwendung einer niedrigsten Höhe von 1 m wurde vermieden, um zu versuchen, sich vom Fußpunkt des Antennenmastes, wo sich sehr viel mehr (reflektierendes) Material befindet, weiter weg zu bewegen; vorzugsweise sollte sich kein Motor am Fußpunkt des Antennenmastes befinden. Die normierte Einfügungsdämpfung des Messplatzes (en: NSIL) für die Zeilen 1, 2, 3, 5 und 6 in [Tabelle 5](#) ist in [Bild 6](#) geplottet und zeigt eine Vermeidung von Nullstellen.