

DIN EN IEC 62153-4-15
(VDE 0819-153-4-15)
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 33.120.10

Einsprüche bis 2020-09-30

Entwurf

Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel –
Teil 4-15: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –
Prüfverfahren zur Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung oder der
Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle
(IEC 46/737/CDV:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 62153-4-15:2019

Metallic cables and other passive components test methods –
 Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) –
 Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with
 triaxial cell
 (IEC 46/737/CDV:2019);
 German and English version prEN IEC 62153-4-15:2019

Méthodes d'essais des câbles métalliques et autres composants passifs –
 Partie 4-15 : Compatibilité électromagnétique (CEM) –
 Méthode d'essai pour le mesurage de l'impédance de transfert et de l'affaiblissement d'écran – ou de
 l'affaiblissement de couplage avec cellule triaxiale
 (IEC 46/737/CDV:2019);
 Version allemande et anglaise prEN IEC 62153-4-15:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-07-31 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
 Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-
 Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de,
 sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser
 Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für
 Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in
 DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 89 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN IEC 62153-4-15:2019 „Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel – Teil 4-15: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Prüfverfahren zur Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung oder der Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 46/737/CDV:2019 „Metallic cables and other passive components test methods – Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with triaxial cell“ unverändert in den Entwurf prEN IEC 62153-4-15:2019 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 46 „Cables, wires, waveguides, RF connectors, RF and microwave passive components and accessories“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 412 „Kommunikationskabel (Kabel, Leitungen, Wellenleiter, Lichtwellenleiter, Komponenten, Zubehör und Anlagentechnik für die Nachrichten- und Informationsübertragung)“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

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

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.

**Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel –
Teil 4-15: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –
Prüfverfahren zur Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung
oder der Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle**

	Inhalt	Seite
1	Anwendungsbereich.....	5
2	Normative Verweisungen	5
3	Begriffe	5
4	Physikalische Grundlagen.....	8
5	Prinzip der Prüfverfahren	8
5.1	Allgemeines.....	8
5.2	Kopplungswiderstand	10
5.3	Schirmdämpfung	10
5.4	Kopplungsdämpfung	10
5.5	Rohr-im-Rohr-Verfahren	10
6	Prüfverfahren.....	10
6.1	Allgemeines.....	10
6.2	Triaxiale Zelle.....	11
6.3	Grenzfrequenzen, Moden höherer Ordnung.....	11
6.4	Prüfeinrichtung	12
6.5	Kalibrierverfahren.....	12
6.6	Prüfleitungen und Anschlusskabel an den Prüfling.....	13
7	Vorbereiten des Prüflings.....	13
7.1	Koaxialer Steckverbinder oder konfektioniertes Kabel oder quasi-koaxiales Bauteil	13
7.2	Symmetrische oder mehrpolige Steckverbinder oder Bauteilen	13
7.3	Konfektionierte Kabel	15
7.4	Andere geschirmte Einheiten	15
8	Kopplungswiderstand (kurzgeschlossen – angepasst).....	15
8.1	Allgemeines.....	15
8.2	Grundsätzliches Blockschaltbild zur Messung des Kopplungswiderstandes	16
8.3	Messverfahren.....	16
8.4	Bewertung von Prüfergebnissen	17
8.5	Prüfbericht	17
9	Schirmdämpfung	17
9.1	Allgemeines.....	17
9.2	Impedanzanpassung.....	17
9.3	Messung mit Anpassung.....	17
9.3.1	Verfahren.....	17

9.3.2	Bewertung von Prüfergebnissen	18
9.4	Messen mit Fehlanpassung	18
9.4.1	Allgemeines	18
9.4.2	Bewertung von Prüfergebnissen	19
9.5	Prüfbericht	19
10	Kopplungsdämpfung	20
10.1	Allgemeines	20
10.2	Verfahren	20
10.2.1	Kopplungsdämpfung mit Symmetrieübertrager	20
10.2.2	Kopplungsdämpfung ohne Symmetrieübertrager	20
10.3	Bewertung von Ergebnissen	21
10.4	Prüfbericht	22
Anhang A (informativ)	Prinzip des Triaxial-Prüfverfahrens	23
A.1	Allgemeines	23
A.2	Kopplungswiderstand	24
A.3	Schirmdämpfung	24
A.4	Kopplungsdämpfung	25
Anhang B (informativ)	Triaxiale Zelle	27
Anhang C (normativ)	Triaxiale Absorberzelle	29
C.1	Grenzfrequenzen, Moden höherer Ordnung	29
C.2	Absorber	30
C.3	Einfluss eines Absorbers	32
Anhang D (informativ)	Anwendung einer beweglichen Kürzungsebene	34
D.1	Kopplungsübertragungsfunktion	34
D.2	Auswirkung der Messlänge auf die Grenzfrequenz der Messung	35
D.3	Einzelheiten der beweglichen Kürzungsebene	35
D.4	Messergebnisse	38
Anhang E (informativ)	Korrektur für den Fall, dass der Eingangswiderstand des Empfängers R größer ist als der Wellenwiderstand des äußeren Kreises Z_2	39
E.1	Widerstand Z_2 geringer als der Eingangswiderstand des Empfängers	39
E.2	Korrektur	40
Anhang F (informativ)	Prüfadapter	41
Anhang G (informativ)	Dämpfung und Streuparameter S_{21}	43
Literaturhinweise		45
Bilder		
Bild 1 –	Definition von Z_T	6
Bild 2 –	Prinzipdarstellung der Triaxial-Prüfeinrichtung (Rohr) zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung mit Rohr-im-Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7	9

Bild 3 – Prinzipdarstellung der triaxialen Zelle zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung von Steckverbindern oder konfektionierten Kabeln mit Rohr-im-Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7	9
Bild 5 – Vorbereitung eines symmetrischen oder mehrpoligen Steckverbinders für die Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung	14
Bild 7 – Prüfeinrichtung (Prinzip) zur Messung des Kopplungswiderstandes nach Verfahren B in IEC 62153-4-3	16
Bild 8 – Prinzip der Prüfeinrichtung zur Messung der Kopplungsdämpfung ohne Symmetrieübertrager (Balun) nach IEC 62153-4-9	21
Bild A.1 – Prinzip der Prüfeinrichtung zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung	23
Bild A.2 – Ersatzschaltbild der prinzipiellen Prüfeinrichtung in Bild A.1	24
Bild A.3 – Kopplungsdämpfung, Prinzip der Prüfeinrichtung mit Symmetrieübertrager und Norm-Messrohr	25
Bild A.4 – Kopplungsdämpfung, Prinzip der Prüfeinrichtung mit Mehrtor-VNA und Norm-Prüfkopf	26
Bild B.1 – Prinzipdarstellung der triaxialen Zelle zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung an einem Steckverbinder mit Rohr-im-Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7	27
Bild B.2 – Beispiele verschiedener Ausführungen triaxialer Zellen	28
Bild C.1 – Hohlraum oder Rechteckhohlleiter	29
Bild C.2 – Vergleich der Messungen eines Kabels RG 214 mit Doppelgeflechtaufbau mit einem 40-mm-Messrohr und mit einer triaxialen Zelle von 1000/150/150 und 1000/300/300	30
Bild C.3 – Prinzip der triaxialen Zelle mit Rohr-im-Rohr und Ferritkacheln als Absorber	31
Bild C.4 – Vergleich der Messungen eines Kabels RG 214 mit Doppelgeflechtaufbau mit einem 40-mm-Messrohr und mit einer triaxialen Zelle von 1000/150/150 und 1000/300/300 mit magnetischem Absorber	31
Bild C.5 – Beispiele magnetischer Flachabsorber	32
Bild C.6 – Korrekturmessung	33
Bild C.7a – S_{11} -Messung ohne Absorber	33
Bild C.7b – S_{11} -Messung mit Absorber	33
Bild D.1 – Gemessene Kopplungsübertragungsfunktion eines Geflechschirms als Funktion der Frequenz mit der triaxialen Zelle	34
Bild D.2 – Querschnitt einer triaxialen Zelle mit beweglicher Kürzungsebene	36
Bild D.3 – Querschnitt einer Kürzung von Gehäuse und Rohr-im-Rohr mittels Ebene	37
Bild D.4 – Einzelheit H von Bild D.2: Kontakt zwischen Ebene und Gehäuse	37
Bild D.5 – Einzelheit G von Bild D.2: Kontakt zwischen Ebene und Rohr-im-Rohr	37
Bild D.8 – Zusammenstellung von Prüfergebnissen des Kopplungswiderstandes mit verschiedenen Abständen der Kürzungsebene	38
Bild G.1 – Beispiel des Streuparameters S_{21} der Vorwärtsübertragung für verschiedene Widerstände im äußeren Kreis bei einer Eingangsimpedanz des Empfängers von 50Ω	39
Bild G.2 – Prüfling mit gleichmäßiger zylindrischer Form in der Mitte der Zelle	40
Bild F.1 – Prinzip der Prüfeinrichtung zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirm- oder Kopplungsdämpfung von Steckverbindern	41
Bild F.2 – Prinzip der Prüfeinrichtung zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung an einem konfektionierten Kabel	42

Bild G.1 – Messung von S_{21} eines 3-dB-Dämpfungsgliedes mit HP8753D.....	43
--	----

Bild G.2 – Messung von S_{21} eines 3-dB-Dämpfungsgliedes mit ZVRE.....	44
---	----

Tabellen

Tabelle 1 – IEC 62153-4-x, Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel – Prüfverfahren mit Triaxial-Prüfeinrichtung.....	8
---	---

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 62153 legt die Verfahren zur Messung des Kopplungswiderstandes, der Schirmdämpfung oder der Kopplungsdämpfung von Steckverbindern, konfektionierten Kabeln oder Bauteilen mit der triaxialen Zelle fest, z. B. konfektionierte Kabel für analoge und digitale Übertragungssysteme und Einrichtungen für Kommunikationsnetze und Verkabelungen.

Messungen können durchgeführt werden, indem der Prüfling direkt in die triaxiale Zelle eingebaut wird, oder mit dem Rohr-im-Rohr-Verfahren nach [IEC 62153-4-7](#).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61196-1, *Coaxial communication cables – Part 1: Generic specification – General, definitions and requirements*

IEC TS 62153-4-1:2013, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements*

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method*

IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz, triaxial method*

[IEC 62153-4-7](#), *Metallic communication cable test methods – Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring the transfer impedance and the screening – or the coupling attenuation – Tube in tube method*

IEC 62153-4-8, *Metallic communication cable test methods – Part 4-8: Electromagnetic compatibility (EMC) – Capacitive coupling admittance*

IEC 62153-4-9, *Metallic communication cable test methods – Part 4-9: Electromagnetic compatibility (EMC) – Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method*

IEC 62153-4-10, *Metallic communication cable test methods – Part 4-10: Shielded screening attenuation test method for measuring the screening effectiveness of feed-troughs and electromagnetic gaskets double coaxial method*

IEC TS 62153-4-16, *Metallic communication cable test methods – Part 4-16: Extension of the frequency range to higher frequencies for transfer impedance and to lower frequencies for screening attenuation measurements using the triaxial set-up*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 61196-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

triaxiale Zelle

(en: triaxial cell)

rechteckiges Gehäuse, in Übereinstimmung mit den Prinzipien des Triaxial-Prüfverfahrens, aus nicht ferromagnetischem Metall bestehend

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Triaxial-Prüfverfahren ist in IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4 beschrieben.

3.2

Kopplungswiderstand

Z_T

(en: surface transfer impedance)

für einen elektrisch kurzen, gleichförmigen Schirm der Quotient der Längsspannung U_1 , welche in den inneren Kreis induziert wird, und dem Strom I_2 , der in den äußeren Kreis eingespeist wird, oder umgekehrt [Ω] (siehe Bild 1)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert Z_T eines elektrisch kurzen, gleichförmigen Schirms wird in [Ω] oder in Dezibel in Bezug zu 1 Ω dargestellt.

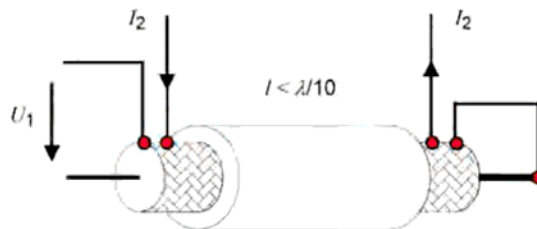


Bild 1 – Definition von Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = 20 \cdot \lg\left(\frac{|Z_T|}{1\Omega}\right) \quad (2)$$

3.3

effektiver Kopplungswiderstand

Z_{TE}

(en: effective transfer impedance)

Widerstand definiert als:

$$Z_{TE} = \max|Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

Dabei ist Z_F der kapazitive Kopplungswiderstand.

3.4

Schirmdämpfung

a_s

(en: screening attenuation)

für elektrisch lange Einheiten, d. h. oberhalb der Grenzfrequenz, das logarithmische Verhältnis der eingespeisten Leistung P_1 und der periodischen Maximalwerte der in den äußeren Kreis eingekoppelten Leistung $P_{r,\max}$

$$a_s = 10 \cdot \lg \left(\text{Env} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| \right) \quad (4)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Schirmdämpfung eines elektrisch kurzen Bauelementes ist definiert als:

$$a_s = 20 \cdot \lg \frac{150 \Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

Dabei ist

150 Ω der genormte Widerstand des äußeren Kreises.

3.5 Kopplungsdämpfung

a_c

(en: coupling attenuation)

für ein geschirmtes symmetrisches Bauelement, die Summe der Unsymmetriedämpfung a_u des symmetrischen Paares und der Schirmdämpfung a_s des Schirms des Prüflings

Anmerkung 1 zum Begriff: Für elektrisch lange Bauelemente, d. h. oberhalb der Grenzfrequenz, ist die Kopplungsdämpfung a_c definiert als das logarithmische Verhältnis der eingespeisten Leistung P_1 und den periodischen Maximalwerten der in den äußeren Kreis eingekoppelten Leistung $P_{r,\max}$.

3.6 Kopplungslänge

(en: coupling length)

Länge des Kabels innerhalb der Prüfvorrichtung, d. h. die Länge des Prüflings Die Kopplungslänge ist elektrisch kurz, wenn:

$$\frac{\lambda_o}{L} > 10 \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}} \quad \text{oder} \quad f < \frac{c_o}{10 \cdot L \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (6)$$

oder elektrisch lang, wenn

$$\frac{\lambda_o}{L} \leq 2 \cdot \left| \sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}} \right| \quad \text{oder} \quad f > \frac{c_o}{2 \cdot L \cdot \left| \sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}} \right|} \quad (7)$$

Dabei ist

L die effektive Kopplungslänge, in m;

λ_o die Wellenlänge im freien Raum, in m;

ϵ_{r1} die resultierende relative Dielektrizitätskonstante des Kabels;

ϵ_{r2} die resultierende relative Dielektrizitätskonstante des Sekundärkreises;

f die Frequenz, in Hz;

c_0 die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im freien Raum;

3.7

Prüfling

DUT

(en: device under test)

Steckverbinder in gestecktem Zustand mit angebrachten Anschlusskabeln oder konfektioniertes Kabel, bestehend aus dem konfektionierten Kabel mit seinen angebrachten, gesteckten Steckverbindern und mit Anschlusskabeln

4 Physikalische Grundlagen

Siehe IEC/TS 62153-4-1, IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-4 und [Anhänge A bis F](#).

5 Prinzip der Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Die Normenreihe IEC 62153-4-n beschreibt verschiedene Prüfverfahren zur Messung der Schirmwirkung von Kommunikationskabeln, Steckverbindern und Bauteilen.

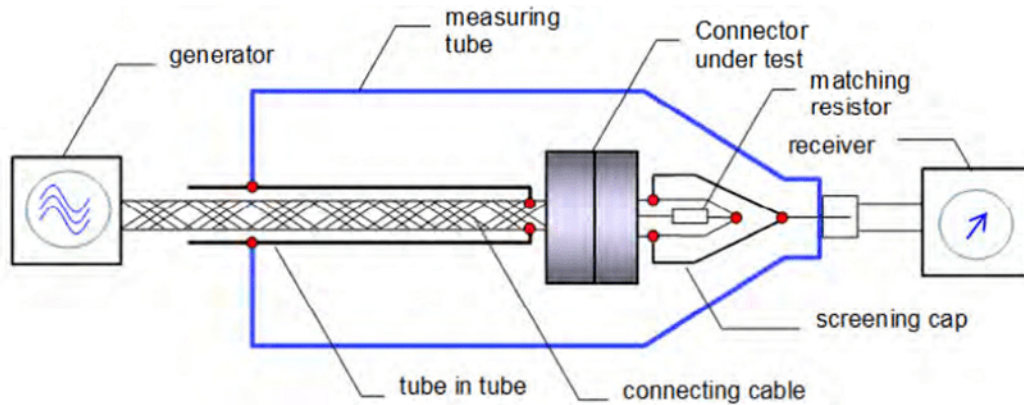
Tabelle 1 enthält eine Übersicht über die Prüfverfahren der Reihe IEC 62153-4-n mit Triaxial-Prüfeinrichtung.

Tabelle 1 – IEC 62153-4-n, Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel – Prüfverfahren mit Triaxial-Prüfeinrichtung

62153-4-n	Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel – Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
TS 62153-4-1	Einführung in elektromagnetische Messungen der Schirmwirkung
62153-4-3	Kopplungswiderstand – Triaxial-Verfahren
62153-4-4	Geschirmtes Messverfahren zur Messung der Schirmdämpfung a_s bis zu und über 3 GHz
62153-4-7	Geschirmtes Prüfverfahren für Schirmdämpfung zur Messung von Kopplungswiderstand Z_T und Schirmdämpfung a_s oder Kopplungsdämpfung a_c von HF-Steckverbindern und konfektionierten Kabeln bis zu und über 3 GHz, Rohr-im-Rohr-Verfahren
62153-4-9	Kopplungsdämpfung geschirmter symmetrischer Kabel, Triaxial-Verfahren
62153-4-10	Geschirmtes Prüfverfahren für Schirmdämpfung zur Messung der Schirmwirkung von Durchführungen und elektromagnetischen Dichtungen – Doppelkoaxialverfahren
62153-4-15	Prüfverfahren zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung oder Kopplungsdämpfung mit triaxialer Zelle
TS 62153-4-16	Erweiterung des Frequenzbereichs auf höhere Frequenzen für Messungen des Kopplungswiderstandes und auf niedrigere Frequenzen für Messungen der Schirmdämpfung unter Verwendung der Triaxial-Prüfeinrichtung

Größere Steckverbinder, konfektionierte Kabel und Bauteile passen nicht in die handelsüblichen Prüfvorrichtungen (Rohre) des Triaxial-Prüfverfahrens von IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4 beziehungsweise **IEC 62153-4-7**, die ursprünglich für die Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung an Kommunikationskabeln, Steckverbindern und konfektionierten Kabeln ausgelegt wurden.

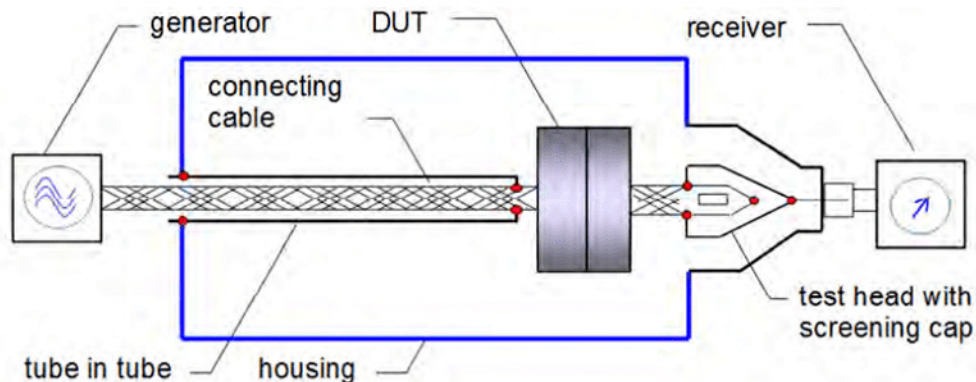
Da rechteckige Gehäuse mit HF-dichten Hülsen leichter herzustellen sind als Rohre, wurde die „triaxiale Zelle“ entwickelt, um größere Einheiten wie Steckverbinder und konfektionierte Kabel und Bauteile zu prüfen. Die Prinzipien des Triaxial-Prüfverfahrens nach IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-4 und **IEC 62153-4-7** lassen sich auf rechteckige Gehäuse übertragen. Rohre und rechteckige Gehäuse dürfen auch in Kombination in einer Prüfeinrichtung betrieben werden, siehe [Bild 2](#) und [Bild 3](#).



Englisch	Deutsch
generator	Generator
measuring tube	Messrohr
Connector under test	Zu prüfender Steckverbinder
matching resistor	Widerstand für Anpassung
receiver	Empfänger
screening cap	Schirmhülse
tube in tube	Rohr-im-Rohr
connecting cable	Anschlusskabel

Bild 2 – Prinzipdarstellung der Triaxial-Prüfeinrichtung (Rohr) zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung mit Rohr-im-Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7

Grundsätzlich kann die triaxiale Zelle in Übereinstimmung mit allen Triaxial-Verfahren nach [Tabelle 1](#), bei denen ursprünglich ein zylindrisches Rohr eingesetzt wird, benutzt werden. Die Schirmwirkung von Steckverbindern, konfektionierten Kabeln oder anderen Bauteilen kann grundsätzlich sowohl im Messrohr als auch in der triaxialen Zelle gemessen werden. Messergebnisse der Messungen mit Messrohr und mit der triaxialen Zelle zeigen gute Übereinstimmung.



Englisch	Deutsch
generator	Generator
receiver	Empfänger
connecting cable	Anschlusskabel
tube in tube	Rohr-im-Rohr
housing	Gehäuse
test head with screening cap	Prüfkopf mit Schirmhülse

Bild 3 – Prinzipdarstellung der triaxialen Zelle zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung von Steckverbindern oder konfektionierten Kabeln mit Rohr-im-Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7

Die Prüfeinrichtung mit triaxialer Zelle beruht auf dem triaxialen System nach IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4, mit einem Prüfling, einem festen metallischen Gehäuse und (wahlfrei) einem HF-dichten

Verlängerungsrohr. Der von einem Generator gespeiste, angepasste Prüfling (DUT) bildet den störenden Kreis, der auch als innerer oder als primärer Kreis bezeichnet werden darf.

Der gestörte Kreis, der auch als äußerer Kreis oder als sekundärer Kreis bezeichnet werden darf, wird durch den Außenleiter des Prüflings gebildet, der an das Anschlusskabel (oder dem Rohr-im-Rohr, sofern vorhanden) und einem festen metallischen Gehäuse bzw. mit einer Zelle verbunden ist, in deren Achse sich der Prüfling befindet.

5.2 Kopplungswiderstand

Die Prüfung bestimmt die Schirmwirkung einer geschirmten Einheit durch Anlegen eines genau definierten Stroms und einer genau definierten Spannung auf den Kabelschirm, das konfektionierte Kabel oder den Prüfling und Messung der induzierten Spannung im sekundären Kreis, um den Kopplungswiderstand zu ermitteln. Mit diesen Prüfungen wird nur die galvanische und magnetische Komponente des Kopplungswiderstandes bestimmt. Um die elektrostatische Komponente (den kapazitiven Kopplungswiderstand) zu messen, sollte das Verfahren nach IEC 62153-4-8 verwendet werden.

Das triaxiale Verfahren für Messungen des Kopplungswiderstandes ist im Allgemeinen geeignet für den Frequenzbereich bis 30 MHz für Prüflinge mit einer Länge von 1 m und bis 100 MHz für Prüflinge mit einer Länge von 0,3 m, wobei dies einer elektrischen Länge entspricht, die weniger als 1/6 der Wellenlänge des Prüflings beträgt. Eine ausführliche Beschreibung ist sowohl in IEC/TS 62153-4-1:2013, Abschnitt 9, als auch in IEC 62153-4-3 enthalten.

5.3 Schirmdämpfung

Der störende bzw. der primäre Kreis ist ein Prüfling des angepassten Kabels, konfektionierten Kabels oder Bauteils. Der gestörte oder sekundäre Kreis besteht aus dem Außenleiter (oder der äußersten Lage des Schirms im Falle von Kabeln oder Einheiten mit Mehrfachschirm) des (der) zu prüfenden Kabels, konfektionierten Kabels oder Einheit und einem festen metallischen Gehäuse, in welchem der Prüfling axial angeordnet ist (siehe Bild 3).

Am fernen Ende des sekundären Kreises werden die Spitzenwerte der Spannung gemessen. Das nahe Ende des sekundären Kreises ist kurzgeschlossen. Der Empfänger muss für diese Messung nicht angepasst sein. Die erwarteten Spitzenwerte der Spannung am fernen Ende sind unabhängig vom Eingangswiderstand des Empfängers, vorausgesetzt, dass der Eingangswiderstand niedriger ist als der Wellenwiderstand des sekundären Kreises. Allerdings ist eine geringe Fehlanpassung von Vorteil, z. B. durch Auswahl von Gehäusen ausreichender Größe. Eine ausführliche Beschreibung ist sowohl in IEC TS 62153-4-1:2013, Abschnitt 10, als auch in IEC 62153-4-4 enthalten.

5.4 Kopplungsdämpfung

Die Kopplungsdämpfung von geschirmten symmetrischen Paaren bildet das allgemeine Verhalten gegenüber elektromagnetischen Störungen (EMI, en: electromagnetic interference) ab und berücksichtigt sowohl die Wirkung des Schirmes und der Symmetrie beziehungsweise die Unsymmetriedämpfung des Paares. Eine ausführliche Beschreibung der Kopplungsdämpfung ist in IEC 62153-4-9 enthalten.

5.5 Rohr-im-Rohr-Verfahren

Sofern gefordert, können Messungen nach IEC 62153-4-7 auch in der triaxialen Zelle durchgeführt werden. Die Messungen müssen in Übereinstimmung mit IEC 62153-4-7 durchgeführt werden, allerdings unter Anwendung der triaxialen Zelle anstelle des Messrohres (siehe Bild 2 und Bild 3).

6 Prüfverfahren

6.1 Allgemeines

Die Messungen müssen bei einer Temperatur von $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ durchgeführt werden. Das Prüfverfahren bestimmt den Kopplungswiderstand und die Schirmungs- oder Kopplungsdämpfung eines Prüflings durch Messung in einer triaxialen Prüfeinrichtung nach IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4.

6.2 Triaxiale Zelle

Die triaxiale Zelle besteht aus einem rechteckigen Gehäuse, analog zu den Prinzipien des Triaxial-Prüfverfahrens nach IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4. Der Werkstoff des Gehäuses muss ein nicht-ferromagnetischer metallischer Werkstoff sein. Die Länge des Gehäuses sollte vorzugsweise 1 m betragen.

Möglicherweise treten aufgrund von Abweichungen der Wellenwiderstände Reflexionen des übertragenen Signals (im äußeren Kreis) auf. Die Ebene des Kurzschlusses am nahen Ende (Generatorseite) sollte daher vorzugsweise direkt an der Wand des Gehäuses liegen.

An der Empfängerseite sollte der Übergang des Gehäuses zum Koaxialsystemwiderstand (50-Ohm-System) auch direkt an der Wand des Gehäuses liegen.

6.3 Grenzfrequenzen, Moden höherer Ordnung

Das Triaxial-Prüfverfahren wendet das Prinzip der Ausbreitung transversalelektromagnetischer Wellen (TEM-Wellen) an. Bei höheren Frequenzen wird die triaxiale Zelle im Prinzip zu einem Hohlraumresonator bzw. einem Rechteckhohlleiter, der Resonanzen in Abhängigkeit von seinen Abmessungen aufweist.

Oberhalb dieser Resonanzfrequenzen wird die Ausbreitung von TEM-Wellen gestört und Messungen der Schirmdämpfung mittels des Triaxial-Prüfverfahrens sind nur noch eingeschränkt möglich.

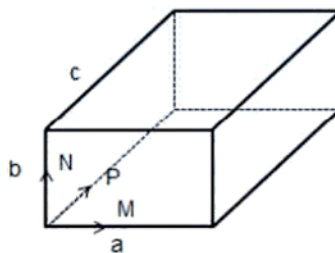


Bild 4 – Rechteckhohlleiter

Die Grenzfrequenz f_c des rechteckigen Hohlraumresonators ist gegeben durch:

$$f_c = \frac{c_0}{2a} \quad (8)$$

Für einen rechteckigen Hohlraumresonator können die Resonanzfrequenzen nach Gleichung (9) berechnet werden. Für diese Berechnung darf einer der Parameter M, N, P auf null gesetzt werden.

$$f_{MNP} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{M}{a}\right)^2 + \left(\frac{N}{b}\right)^2 + \left(\frac{P}{c}\right)^2} \quad (9)$$

Dabei ist

- M, N die Modenanzahl (geradzahlig, 2 von 3 > 0);
- a, b, c die Maße des Hohlraums;
- c_0 die Lichtgeschwindigkeit im freien Raum.

ANMERKUNG Leitende Teile im Inneren des Hohlraumresonators oder eine mangelhafte Zentrierung des Prüflings in der triaxialen Zelle führen möglicherweise zu Abweichungen oder Dämpfungen der Resonanzfrequenzen.

Messungen der Schirmdämpfung können bis zur ersten Grenzfrequenz ($M, N = 1$) durchgeführt werden.

Der Frequenzbereich der triaxialen Zelle kann bis 3 GHz und darüber erweitert werden, indem Absorbermaterialien verwendet werden, die am Unterteil der Zelle angeordnet werden, siehe [Anhang C](#).

6.4 Prüfeinrichtung

Die Messungen können mit einem Vektor-Netzwerkanalysator (VNA, en: vector network analyser) oder alternativ mit einem diskreten Signalgenerator und einem selektiven Messempfänger durchgeführt werden.

Die Prüfeinrichtung besteht aus dem Folgenden:

- a) Einem Vektor-Netzwerkanalysator (mit S-Parameter Prüfeinrichtung) oder alternativ aus:
 - einem Signalgenerator mit dem gleichen Wellenwiderstand wie das koaxiale System des zu prüfenden Kabels oder mit einem Impedanzwandler; ergänzt durch einen Leistungsverstärker, falls für sehr hohe Schirmdämpfungen erforderlich, und
 - einem Messempfänger mit rauscharmem Vorverstärker für sehr hohe Schirmdämpfungen;
- b) einem Impedanzwandler (Schaltkreis zur Anpassung des Widerstandes), falls erforderlich:
 - Primärseite: Nennwiderstand des Generators;
 - Sekundärseite: Nennwiderstand des inneren Kreises;
 - Rückflussdämpfung: > 10 dB;
- c) einem Symmetrieübertrager (Balun) zur Anpassung des unsymmetrischen Generator-Ausgangssignals an den Wellenwiderstand symmetrischer Kabel zur Messung der Kopplungsdämpfung. Anforderungen an einen Symmetrieübertrager sind in IEC 62153-4-9:2018, Ed.2, [6.3](#), beschrieben. Alternativ darf ein Netzwerkanalysator mit der Option für „gemischte Moden“ eingesetzt werden, siehe IEC TR 61156-1-2;

wahlfreie Ausrüstungen sind:

- d) Zeitbereichsreflektometer (TDR) mit einer Anstiegszeit von weniger als 200 ps oder ein Netzwerkanalysator mit einer Höchsthfrequenz bis 5 GHz und Zeitbereichsfähigkeiten;
- e) Absorbermaterialien.

6.5 Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung muss mit den gleichen Frequenzpunkten durchgeführt werden, bei denen auch die Messung des Kopplungswiderstandes durchgeführt wird, d. h. in einem logarithmischem Frequenzdurchlauf über den gesamten, für den Kopplungswiderstand festgelegten Frequenzbereich.

Bei Anwendung eines Netzwerkanalysators mit S-Parameter-Prüfeinrichtung muss eine vollständige Zweitor-kalibrierung durchgeführt werden, einschließlich der Anschlusskabel, die zum Anschluss der Prüfeinrichtung an die Prüfausrüstung verwendet werden. Die Referenzebenen für die Kalibrierung sind die Grenzflächen der Steckverbinder der Anschlusskabel.

Bei Anwendung eines (Vektor-)Netzwerkanalysators ohne S-Parameter Prüfeinrichtung, d. h. bei Anwendung eines Leistungsteilers, muss eine THRU-Kalibrierung einschließlich der Prüfleitungen zum Anschluss der Prüfeinrichtung an die Prüfausrüstung verwendet werden.

Bei Anwendung von separatem Signalgenerator und Empfänger muss die zusammengesetzte Dämpfung der Anschlusskabel gemessen werden, und die Kalibrierdaten müssen gespeichert werden, um eine Korrektur der Ergebnisse zu ermöglichen.

$$a_{cal} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \cdot \lg(S_{21}) \quad (10)$$

Dabei ist

a_{cal} die mittels des Kalibrierverfahrens erhaltene Dämpfung;

- P_1 die Speiseleistung während des Kalibrierverfahrens;
 P_2 Die Leistung am Empfänger während des Kalibrierverfahrens.

Falls Vorverstärker eingesetzt werden, muss die Verstärkung über den vorgenannten Frequenzbereich gemessen werden; die Daten müssen gespeichert werden.

Falls ein Impedanzwandler oder ein Symmetrieübertrager eingesetzt wird, muss die Dämpfung über den gesamten, oben beschriebenen Frequenzbereich gemessen werden; die Daten müssen gespeichert werden.

6.6 Prüflösungen und Anschlusskabel an den Prüfling

Die Prüflösungen und die Anschlusskabel an den Prüfling müssen gut geschirmt sein.

Bei der Messung des Kopplungswiderstandes kann der Kopplungswiderstand Z_{con} des Anschlusskabels im Inneren der Prüfeinrichtung, entweder im triaxialen Rohr oder in der triaxialen Zelle nach IEC 62153-4-3 getrennt gemessen und in $\text{m}\Omega/\text{m}$ angegeben werden. Die Länge der Anschlusskabel in der Prüfeinrichtung muss gemessen, der Kopplungswiderstand Z_{con} berechnet und vom gemessenen Wert des Prüflings abgezogen werden.

Im Fall der Messung der Schirmdämpfung oder der Kopplungsdämpfung kann die Schirmdämpfung oder die Kopplungsdämpfung, angegeben in dB, entweder im triaxialen Rohr oder in der triaxialen Zelle nach IEC 62153-4-4 oder IEC 62153-4-9 getrennt gemessen werden.

Die gemessene Schirmdämpfung oder die gemessene Kopplungsdämpfung der Anschlusskabel im Inneren der Prüfeinrichtung muss mindestens um einen Wert von 10 dB besser sein als der gemessene Wert des Prüflings.

7 Vorbereiten des Prüflings

7.1 Koaxialer Steckverbinder oder konfektioniertes Kabel oder quasi-koaxiales Bauteil

Der Steckverbinder oder das konfettierte Kabel oder das quasi-koaxiale Bauteil muss entsprechend der Spezifikation des Herstellers an das passende Gegenstück angeschlossen werden.

Ein gut geschirmtes koaxiales Anschlusskabel muss an den/das zu prüfende(n) Steckverbinder, konfettierte Kabel oder Bauteil und/oder an das (die) jeweils passende Gegenstück(e) angeschlossen werden. Ein Ende des Anschlusskabels muss mit dem Messkopf der Prüfeinrichtung verbunden und an den nominellen Wellenwiderstand des Prüflings angepasst werden.

Der Schirm des anderen Endes des Anschlusskabels muss mit der Gehäusewand verbunden werden (der Kurzschluss an der Generatorseite (Senderseite)).

Im Falle des Rohr-im-Rohr-Verfahrens muss das andere Ende des Anschlusskabels durch das HF-dichte Rohr-im-Rohr geführt und mit dem Generator (Sender) verbunden werden. Auf der Seite des Prüflings muss der Schirm des Anschlusskabels mit dem Verlängerungsrohr mit geringem Kontaktwiderstand verbunden werden. Auf der Generatorseite darf der Schirm des Anschlusskabels nicht mit dem Verlängerungsrohr verbunden werden. Das Verlängerungsrohr muss mit der Gehäusewand verbunden werden (der Kurzschluss an der Generatorseite).

7.2 Symmetrische oder mehrpolige Steckverbinder oder Bauteilen

Der Prüfling muss entsprechend der Spezifikation des Herstellers an das passende Gegenstück angeschlossen werden.

Ein symmetrisches Kabel oder ein Kabel mit mehreren Leitern, welches üblicherweise mit dem Steckverbinder oder dem Prüfling verwendet wird, muss entsprechend der Spezifikation des Herstellers sowohl an den zu prüfenden Steckverbinder als auch an sein passendes Gegenstück angeschlossen werden.

Geschirmte symmetrische oder mit mehreren Leitern ausgestattete Kabel oder Bauteile werden bei der Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung als quasi-koaxiales System behandelt. Daher müssen an den offenen Enden des Speisekabels alle Leiter aller Paare zusammengeschaltet werden. Alle Schirme, auch die Schirme von einzeln geschirmten Paaren oder Vierern, müssen an beiden Enden zusammengeschaltet werden. Alle Schirme müssen über den gesamten Umfang angeschlossen werden (siehe Bild 5 und Bild 6).

Ein Ende des Anschlusskabels muss dann an den Messkopf angeschlossen werden, wobei das Anschlusskabel mit dem Wellenwiderstand des Prüflings angepasst wird.

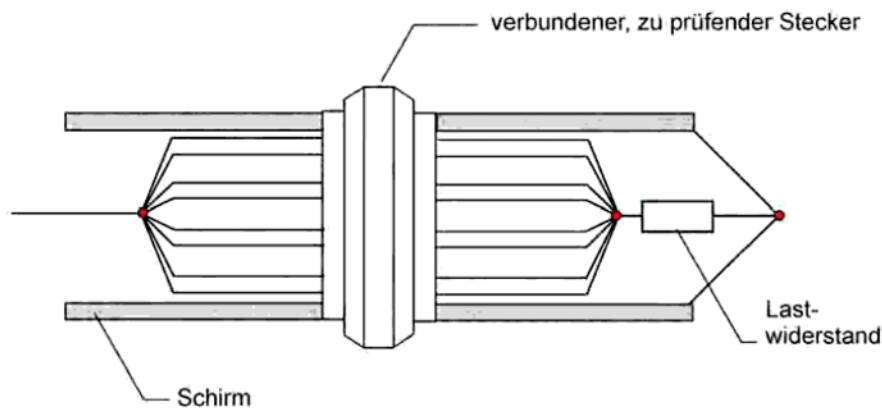


Bild 5 – Vorbereitung eines symmetrischen oder mehrpoligen Steckverbinders für die Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung

Bei der Messung der Kopplungsdämpfung muss das Anschlusskabel über einen Symmetrieübertrager oder ohne Symmetrieübertrager mit einem VNA mit Mehrmoden-Option gespeist werden. Das zu prüfende Paar muss mit einer symmetrischen/asymmetrischen Last angepasst werden. Die nicht an der Prüfung beteiligten Paare müssen angepasst werden.

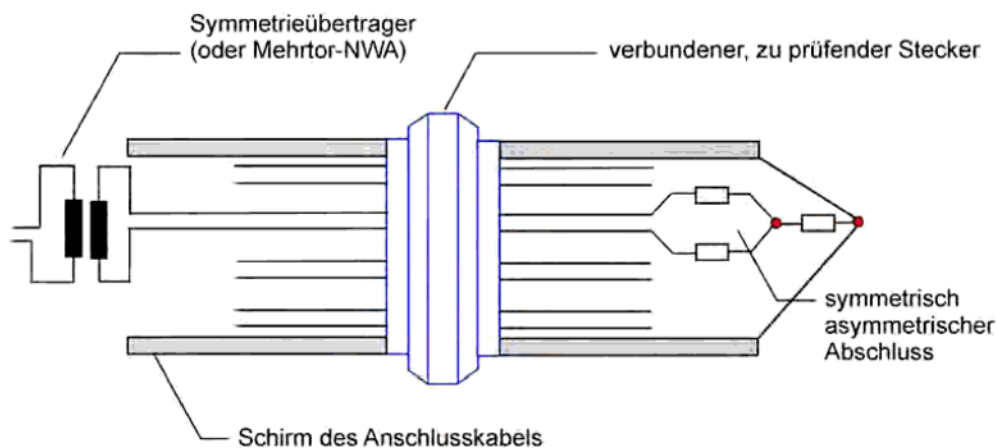


Bild 6 – Vorbereitung eines symmetrischen oder mehrpoligen Steckverbinders für die Messung der Kopplungsdämpfung

7.3 Konfektionierte Kabel

Die Steckverbinder des zu prüfenden konfektionierten Kabels müssen mit ihren passenden Gegenstücken an beiden Enden, bzw. an einem Ende im Fall von konfektionierten Kabeln mit einem Steckverbinder, entsprechend der Spezifikation des Herstellers verbunden werden.

Das Gegenstück muss mit gut geschirmten coaxialen Anschlusskabeln angeschlossen werden.

Im Fall von konfektionierten Kabeln mit mehreren Leitern müssen alle Leiter des zu prüfenden konfektionierten Kabels an beiden Enden des passenden Steckverbinders kurzgeschlossen werden. Falls das zu prüfende konfektionierte Kabel in seiner vorgesehenen Anwendung direkt an eine bestimmte Einheit angeschlossen wird und kein passender Steckverbinder verfügbar ist, muss der Hersteller des konfektionierten Kabels einen geeigneten passenden Steckverbinder oder einen geeigneten Adapter zur Verfügung stellen. Der passende Steckverbinder oder der geeignete Adapter muss gut geschirmt sein, mindestens 10 dB besser als der Prüfling. Es muss beachtet werden, dass die Verbindung des Anschlusskabels mit dem passenden Steckverbinder oder dem Adapter gut geschirmt ist.

7.4 Andere geschirmte Einheiten

Die Schirmwirkung anderer geschirmter Einheiten, z. B. geschirmter Kabelschutzhschläuche darf ebenfalls mit der triaxialen Zelle gemessen werden. Sie müssen wie quasi-koaxiale Systeme vorbereitet und behandelt werden.

8 Kopplungswiderstand (kurzgeschlossen – angepasst)

8.1 Allgemeines

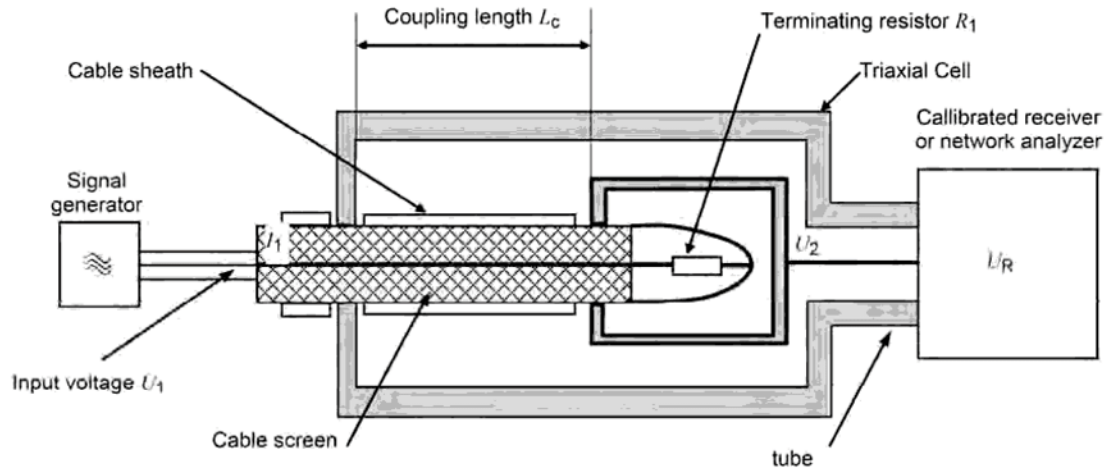
In IEC 62153-4-3 sind drei verschiedene Triaxial-Prüfverfahren beschrieben:

- Prüfverfahren A: Angepasster innerer Kreis mit Dämpfungswiderstand im äußeren Kreis;
- Prüfverfahren B: Innerer Kreis mit Lastwiderstand und äußerer Kreis mit Dämpfungswiderstand;
- Prüfverfahren C: (Fehlangepasst)-Kurzschluss-Kurzschluss ohne Dämpfungswiderstand.

Das hier beschriebene Verfahren entspricht grundsätzlich dem Verfahren B in IEC 62153-4-3: Angepasster innerer Kreis ohne Anwendung eines Impedanzwandlers und ohne Dämpfungswiderstand R_2 . Es bietet einen höheren Dynamikbereich als das Prüfverfahren A in IEC 62153-4-3. Andere Verfahren nach IEC 62153-4-3 dürfen entsprechend eingesetzt werden, wenn erforderlich.

8.2 Grundsätzliches Blockschaltbild zur Messung des Kopplungswiderstandes

Ein Blockschaltbild der Prüfeinrichtung zur Messung des Kopplungswiderstandes nach Verfahren B der IEC 62153-4-3 ist in Bild 7 dargestellt.



Englisch	Deutsch
Cable sheath	Kabelmantel
Signal generator	Signalgenerator
Input voltage	Eingangsspannung
Cable screen	Kabelschirm
Coupling length	Kopplungslänge
Terminating resistor	Abschlusswiderstand
Triaxial cell	Triaxiale Zelle
Calibrated receiver or network analyser	Kalibrierter Empfänger oder Netzwerkanalysator
tube	Rohr

Bild 7 – Prüfeinrichtung (Prinzip) zur Messung des Kopplungswiderstandes nach Verfahren B in IEC 62153-4-3

8.3 Messverfahren

Die Länge des Anschlusskabels im Inneren der Zelle zum Anschluss des Prüflings muss gemessen werden.

Der Kopplungswiderstand der Anschlusskabel zum Anschluss des Prüflings muss nach IEC 62153-4-3 gemessen werden. Der gemessene Wert muss auf die Länge des Anschlusskabels im inneren der Zelle zum Anschluss des Prüflings bezogen werden, das Ergebnis ist der Kopplungswiderstand der Anschlusskabel, Z_{con} .

Der Prüfling muss mit dem Generator und dem äußeren Kreis (Zelle) an den Empfänger angeschlossen werden.

Die Dämpfung a_{meas} muss vorzugsweise mit logarithmischem Frequenzdurchlauf über den gesamten, für den Kopplungswiderstand festgelegten Frequenzbereich und an den gleichen Punkten wie während des Kalibrierverfahrens gemessen werden:

$$a_{meas} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \cdot \lg(S_{21}) \quad (11)$$

Dabei ist

P_1 die Leistung, die in den inneren Kreis eingespeist wird;

P_2 die Leistung im äußeren Kreis.

8.4 Bewertung von Prüfergebnissen

Die Umwandlung der gemessenen Dämpfung in den Kopplungswiderstand ergibt sich mittels folgender Gleichung:

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right)} - Z_{\text{con}} \quad (12)$$

Dabei ist

Z_T	der Kopplungswiderstand;
Z_0	der Systemwiderstand (üblicherweise 50 Ω);
a_{meas}	die beim Messverfahren gemessene Dämpfung;
a_{cal}	die Dämpfung der Anschlusskabel, falls nicht beim Kalibrierverfahren der Prüfeinrichtung eliminiert;
R_1	der Abschlusswiderstand im inneren Kreis (entweder gleich dem Widerstand des inneren Kreises oder gleich dem Widerstand des Generators);
Z_{con}	der Kopplungswiderstand von Anschlusskabeln.

ANMERKUNG Im Gegensatz zur Messung des Kopplungswiderstandes von Kabelschirmen ist der Kopplungswiderstand von Steckverbindern oder konfektionierten Kabeln nicht auf die Länge bezogen.

8.5 Prüfbericht

Im Prüfbericht müssen die Prüfergebnisse aufgezeichnet und geschlussfolgert werden, ob die Anforderungen der entsprechenden Bauartspezifikation erfüllt werden.

9 Schirmdämpfung

9.1 Allgemeines

Das Verfahren ist im Prinzip das gleiche wie das in IEC 62153-4-4 beschriebene.

9.2 Impedanzanpassung

Die Messung der Schirmdämpfung kann mit oder ohne Impedanzanpassung durchgeführt werden.

Falls der Wellenwiderstand des Prüflings nicht bekannt ist, kann der Wellenwiderstand des quasi-koaxialen Systems entweder mit einem TDR (Zeitbereichsreflektometer) mit einer maximalen Anstiegszeit von 200 ps oder mit dem Verfahren nach IEC 62153-4-4, Anhang A, bestimmt werden.

Ein Impedanzwandler zur Anpassung der Impedanz des Generators und der Impedanz des quasi-koaxialen Systems wird nicht empfohlen, da der Dynamikbereich der Prüfeinrichtung dadurch reduziert wird, und eine zufriedenstellende Anpassung (Rückflussdämpfung) bei selbst gebauten Adaptern, die für von 60 Ohm oder von 75 Ohm abweichende Impedanzen erforderlich sind, möglicherweise nur bis zu 100 MHz erreicht wird (siehe IEC 62153-4-4, Anhang B).

9.3 Messung mit Anpassung

9.3.1 Verfahren

Der Prüfling muss mit Tor 1 und der Messkopf der Prüfeinrichtung mit Tor 2 des Vektor-Netzwerkanalysators (Bild 7) verbunden werden.

Der Streuparameter S_{21} muss gemessen werden.

Es werden nur die Spitzenwerte der erhalten Schirmdämpfungskurve verwendet, um die Hüllkurve zu bestimmen.

9.3.2 Bewertung von Prüfergebnissen

Die Schirmdämpfung a_S muss mit dem beliebig ermittelten, normalisierten Wert $Z_S = 150 \, \Omega$ berechnet werden.

$$a_S = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right| \quad (13)$$

$$= Env \left\{ -20 \cdot \lg |S_{21}| + 10 \cdot \lg \left| \frac{300 \Omega}{Z_1} \right| \right\} - \alpha_{att} \quad (14)$$

Dabei ist

a_S	die Schirmdämpfung bezogen auf den normalisierten Wellenwiderstand der Umgebung von $150 \, \Omega$, in dB;
Env	die minimale Hüllkurve der gemessenen Werte, in dB;
S_{21}	der Streuparameter S_{21} (komplexe Größe) der Prüfeinrichtung, wobei die Primärseite des Zweitorts der Prüfling ist und die Sekundärseite das Rohr;
Z_1	der Wellenwiderstand des Prüflings, in Ω ;
R	der Eingangswiderstand des Empfängers;
α_{att}	die Dämpfung des Impedanzanpassungswandlers, sofern ein solcher verwendet wird und dies nicht anderweitig berücksichtigt wird, z. B. während des Kalibrierverfahrens des Netzwerkanalysators.

Die Umrechnung, Gleichungen 13 und 14, des Streuparameters S_{21} aus der Vorwärtsübertragung auf die Schirmdämpfung ist nur gültig, wenn der Wellenwiderstand des äußeren Kreises Z_2 größer ist als der Eingangswiderstand des Empfängers R (siehe IEC/TS 62153-4-1:2013, Abschnitt 9). Für den Fall, dass der Eingangswiderstand des Empfängers R größer ist als der Wellenwiderstand des äußeren Kreises Z_2 , muss ein Korrekturfaktor angewendet werden (siehe [Anhang E](#)).

Bei Frequenzen, die niedriger sind als der Grenzwert für eine elektrisch lange Kopplungslänge, ist die Messung die gleiche wie die Messung des Kopplungswiderstandes.

9.4 Messen mit Fehlanpassung

9.4.1 Allgemeines

Das zu prüfende Kabel muss mit Tor 1 und der Messkopf der Prüfeinrichtung mit Tor 2 des Vektor-Netzwerkanalysators verbunden werden.

Falls nicht bekannt, muss der Wellenwiderstand Z_1 des Prüflings gemessen werden (siehe [9.2](#)).

Der Streuparameter S_{21} muss gemessen werden.

Es werden nur die Spitzenwerte der erhalten Schirmdämpfungskurve verwendet, um die Hüllkurve zu bestimmen.

9.4.2 Bewertung von Prüfergebnissen

Die Schirmdämpfung a_s , welche mit den Ergebnissen des Absorberzangenverfahrens vergleichbar ist, muss mit dem beliebig ermittelten, normalisierten Wert $Z_S = 150 \Omega$ ¹ berechnet werden.

$$a_s = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right| \quad (15)$$

$$= Env \cdot \left\{ -20 \cdot \lg |S_{21}| + 10 \cdot \lg |1 - r^2| + 10 \cdot \lg \left| \frac{300 \Omega}{Z_1} \right| \right\} \quad (16)$$

Dabei ist

a_s	die Schirmdämpfung bezogen auf den normalisierten Wellenwiderstand der Umgebung von 150Ω , in dB;
R	der Eingangswiderstand des Empfängers;
Env	die minimale Hüllkurve der gemessenen Werte, in dB;
S_{21}	der Streuparameter S_{21} (komplexe Größe) der Prüfeinrichtung, wobei die Primärseite des Zweitorts der Prüfling ist und die Sekundärseite das Rohr;
r	der Reflexionskoeffizient zwischen der Impedanz des Generators und der nominellen Wellenimpedanz des zu prüfenden Kabels: $r = \left \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \right ;$
Z_0	der Wellenwiderstand des Systems, in Ω (üblicherweise 50Ω);
Z_1	der Wellenwiderstand des Prüflings, in Ω .

Diese Umrechnung, Gleichungen 17 und 18, des Streuparameters S_{21} aus der Vorwärtsübertragung auf die Schirmdämpfung ist nur gültig, wenn der Wellenwiderstand des äußeren Kreises Z_2 größer ist als der Eingangswiderstand des Empfängers R (siehe IEC/TS 62153-4-1:2013, Abschnitt 9). Für den Fall, dass der Eingangswiderstand des Empfängers R größer ist als der Wellenwiderstand des äußeren Kreises Z_2 , muss ein Korrekturfaktor angewendet werden (siehe [Anhang E](#)).

9.5 Prüfbericht

Im Prüfbericht müssen die Prüfergebnisse aufgezeichnet und geschlussfolgert werden, ob die Anforderungen der entsprechenden Bauartspezifikation erfüllt werden.

Falls ein Grenzwert der abgestrahlten Leistung für ein Kabelsystem mit einem definierten Leistungspegel festgelegt ist, darf die Differenz zwischen dem Leistungspegel und dem Grenzwert der abgestrahlten Leistung nicht größer sein, als die Schirmdämpfung des Kabels, welches für das System vorgesehen ist.

¹ Z_S ist der normalisierte Wert des Wellenwiderstandes der Umgebung einer typischen Kabelinstallation. Er steht in keiner Beziehung zum Wellenwiderstand des äußeren Kreises der Prüfeinrichtung.

10 Kopplungsdämpfung

10.1 Allgemeines

Messungen der Kopplungsdämpfung müssen entsprechend IEC 62153-4-9 erfolgen. Der Prüfling muss nach IEC 62153-4-9 in der Gleichtaktmode und in der Gegentaktmode angepasst werden.

In IEC 62153-4-9 werden sowohl Messungen mit Symmetrieübertrager als auch ohne Symmetrieübertrager beschrieben. Sowohl zur Messung der Kopplungsdämpfung als auch zur Messung der Unsymmetriedämpfung ist ein Gegentaktsignal erforderlich. Dieses kann zum Beispiel unter Verwendung eines Symmetrieübertragers erzeugt werden, der das unsymmetrische Signal eines 50-Ohm-Netzwerkanalysators in ein symmetrisches (üblicherweise 100 Ω) Signal umwandelt.

Alternativ darf ein symmetrisches Signal unter Verwendung eines Vektor-Netzwerkanalysators (en: vector network analyser, VNA) erzeugt werden, welcher zwei Generatoren mit einer Phasenverschiebung von 180° aufweist. Eine weitere Alternative ist die Messung mit einem Mehrtor-VNA (virtueller Symmetrieübertrager). Die Eigenschaften eines symmetrischen Paares werden mathematisch anhand der Messwerte jedes einzelnen Leiters des Paares gegenüber dem Bezugspotential ermittelt. Der abdeckbare Frequenzbereich für die Ermittlung der Reflexions- und Übertragungseigenschaften symmetrischer Paare ist nicht weiter durch den Symmetrieübertrager eingeschränkt, jedoch durch den VNA und die Anschlusstechnik.

Eine ausführliche Beschreibung von Parametern „gemischter Moden“ ist in IEC 62153-4-9, Ed.2, [Anhang C](#), enthalten.

10.2 Verfahren

10.2.1 Kopplungsdämpfung mit Symmetrieübertrager

Der Prüfling wird nach den Anweisungen des Herstellers mit den Anschlusskabeln verbunden und am fernen Ende mit Gegen- und Gleichtaktabschlüssen nach IEC 62153-4-9 abgeschlossen. Der Prüfling wird in der Mitte der Zelle angeordnet.

Der Prüfling muss über einen Symmetrieübertrager an Tor 1 des vektoriellen Netzwerkanalysators angeschlossen werden (d. h. er wird im Gegentaktmode erregt) und der Messkopf der Prüfeinrichtung muss an Tor 2 angeschlossen werden. Der Streuparameter S_{21} für Vorwärtsübertragung muss gemessen werden.

Es dürfen nur die höchsten Spitzenwerte des gemessenen Streuparameters S_{21} für Vorwärtsübertragung als eine Funktion der Frequenz aufgezeichnet werden, um die Hüllkurve zu bestimmen.

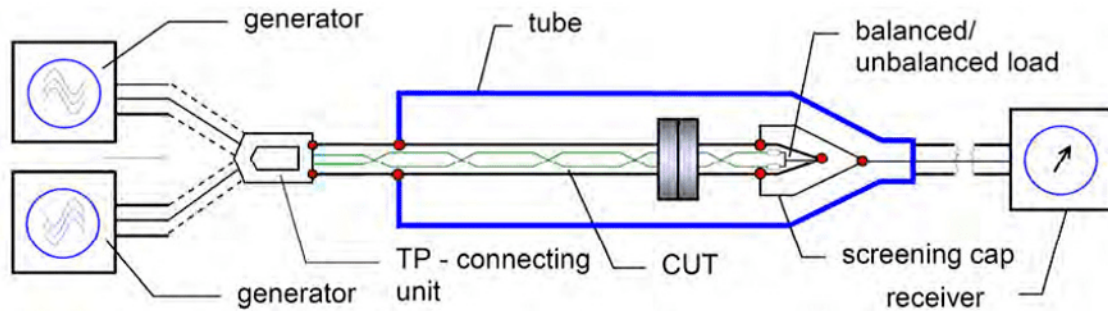
Bei der Kalibrierung des triaxialen Messaufbaus müssen die Dämpfung durch das Einfügen zusätzlicher Adapter gegenüber dem direkten Anschluss und die Dämpfung des Symmetrieübertragers berücksichtigt werden.

Die höchsten Spitzenwerte des gemessenen Streuparameters S_{21} für Vorwärtsübertragung sind weder abhängig vom Durchmesser des Rohres der triaxialen Prüfeinrichtung noch vom Wellenwiderstand Z_2 des äußeren Systems, vorausgesetzt, dass Z_2 größer als der Eingangswiderstand des Empfängers ist.

10.2.2 Kopplungsdämpfung ohne Symmetrieübertrager

In IEC 62153-4-9 wird die Messung sowohl mit einem Norm-Messkopf als auch mit einem offenen Messkopf beschrieben. Das hier beschriebene Verfahren ist das Verfahren mit Norm-Messkopf.

Der Prüfling wird an die Anschlusseinrichtung angeschlossen und am fernen Ende mit Gegen- und Gleichtaktabschlüssen nach IEC 62153-4-9 abgeschlossen. Der Prüfling wird in der Mitte der Zelle angeordnet.



Englisch	Deutsch
generator	Generator
tube	Rohr
TP- connecting unit	TP-Anschlusseinheit
CUT	Zu prüfendes Kabel
balanced/unbalanced load	Symmetrische/asymmetrische Last
screening cap	Schirmhülse
receiver	Empfänger

Bild 8 – Prinzip der Prüfeinrichtung zur Messung der Kopplungsdämpfung ohne Symmetrieübertrager (Balun) nach IEC 62153-4-9

Anschlusskabel müssen nach IEC 62153-4-9 an die TP-Anschlusseinheit angeschlossen werden.

Das Spannungsverhältnis $U_{\text{diff}}/U_{2\text{max}}$ muss mit einem kalibrierten VNA (oder einem kalibrierten Generator (Sender) und Empfänger) gemessen und bezüglich des Einflusses von Prüfleitungen und Anschlusseinheiten korrigiert werden.

10.3 Bewertung von Ergebnissen

Die Dämpfung des Symmetrieübertragers oder der TP-Anschlusseinheit muss vom Messergebnis abgezogen werden. Die Kopplungsdämpfung a_c muss mit dem normalisierten Wert $Z_s = 150 \Omega$ berechnet werden:

$$a_c = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{\text{diff}}}{P_{\text{com}}} \right| + 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{\text{com}}}{P_{r,\text{max}}} \right| \text{ dB} \quad (17)$$

$$a_c = 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{\text{diff}}}{U_{\text{com}}} \right| + 10 \cdot \lg \left[\frac{Z_{\text{com}}}{Z_{\text{diff}}} \right] + 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{\text{com}}}{U_{2,\text{max}}} \right| + 10 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot Z_s}{Z_{\text{com}}} \right] \text{ dB} \quad (18)$$

$$a_c = 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{\text{diff}}}{U_{2,\text{max}}} \right| + 10 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot Z_s}{Z_{\text{diff}}} \right] \text{ dB} \quad (19)$$

Dabei ist

a_c	Die Kopplungsdämpfung bezogen auf den normalisierten Wellenwiderstand der Umgebung von 150Ω , in dB;
P_{diff}	die eingespeiste Leistung in der Gegentaktmode;
P_{com}	die Ausgangsleistung, die in die Gleichtaktmode einkoppelt wird;
$P_{r,\text{max}}$	der periodische Maximalwert der von der Gleichtaktmode abgestrahlten Leistung, in W;
U_{diff}	die Eingangsspannung in der Gegentaktmode;
U_{com}	die Ausgangsspannung in der Gleichtaktmode;
$U_{2,\text{max}}$	die höchste Ausgangsspitzenspannung in der Gleichtaktmode;

Z_{diff}	der nominelle Gegentakt-Wellenwiderstand in der Gegentaktmode (symmetrisch);
Z_{com}	der Gleichtaktmoden-Wellenwiderstand (unsymmetrisch);
Z_{S}	der normalisierte Wert des Wellenwiderstandes der Umgebung des Kabels.

10.4 Prüfbericht

Im Prüfbericht muss angegeben sein, ob die Ergebnisse der minimalen Kopplungsdämpfung mit den in der entsprechenden Bauartspezifikation des Kabels angegebenen Werten übereinstimmen.

Falls ein Grenzwert der abgestrahlten Leistung für ein Kabelsystem mit einem definierten Leistungspegel festgelegt ist, darf die Differenz zwischen dem Leistungspegel und dem Grenzwert der abgestrahlten Leistung nicht größer sein, als die Schirmdämpfung des Kabels, welches für das System vorgesehen ist.

Anhang A (informativ)

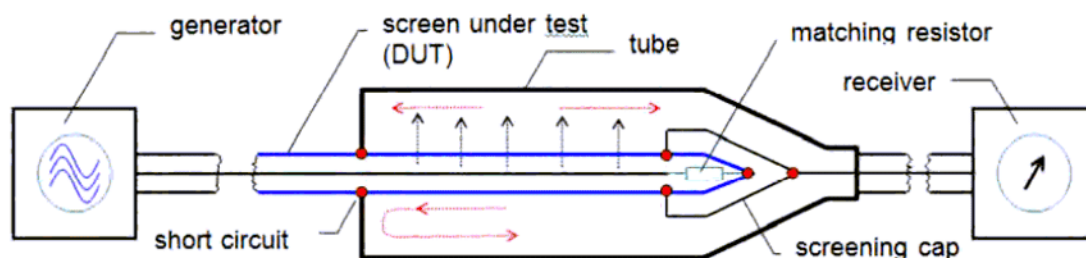
Prinzip des Triaxial-Prüfverfahrens

A.1 Allgemeines

Mit der triaxialen Prüfeinrichtung können sowohl der Kopplungswiderstand im niedrigen Frequenzbereich als auch die Schirmdämpfung oder die Kopplungsdämpfung bei höheren Frequenzen gemessen werden.

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem Netzwerkanalysator (oder alternativ aus einem diskreten Signalgenerator und einem selektiven Messempfänger) und einem Rohr mit Anschlüssen an den Kabelschirm und den Netzwerkanalysator oder den Empfänger. Der Werkstoff des Rohres muss gut leitfähig und ferromagnetisch sein, z. B. Messing oder Aluminium.

Das zu prüfende Kabel (CUT; en: cable under test), welches in der Mitte des Rohres zentriert ist, bildet zusammen mit dem Rohr ein triaxiales System (siehe Bild A.1). Das innere System ist das CUT selbst; das äußere System besteht aus dem zu prüfenden Schirm und dem Messrohr.



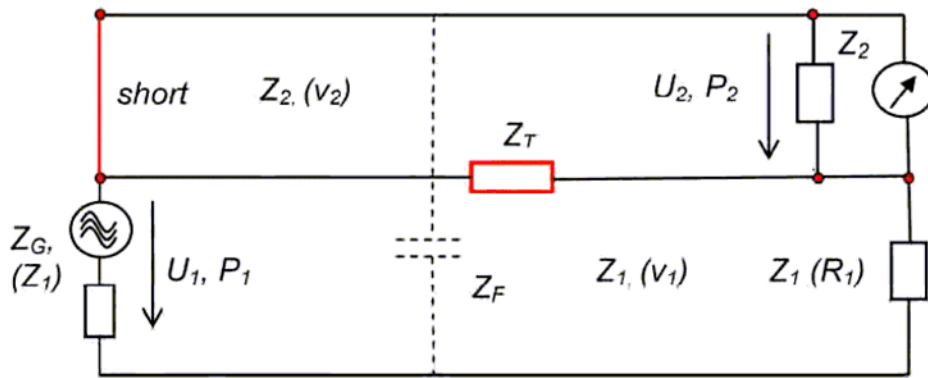
Englisch	Deutsch
generator	Generator
short circuit	Kurzschluss
screen under test (DUT)	zu prüfender Schirm (DUT)
tube	Rohr
matching resistor	Widerstand für Anpassung
screening cap	Schirmhülse
receiver	Empfänger

Bild A.1 – Prinzip der Prüfeinrichtung zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung

Das zu prüfende Kabel wird am fernen Ende mit einem Wellenwiderstand abgeschlossen (Bild A.1).

Der zu prüfende Schirm am nahen Ende des Generators (Senders) ist kurzgeschlossen. Durch diesen Kurzschluss wird der Einfluss kapazitiver Anteile unterdrückt.

Ein Generator speist die Spannung U_1 in das innere System ein. Die Spannung U_2 wird mit einem Messempfänger mit einem Eingangswiderstand größer als der oder gleich dem Wellenwiderstand des äußeren Kreises gemessen, siehe Bild A.2.



Englisch	Deutsch
short	Kurzschluss

Bild A.2 – Ersatzschaltbild der prinzipiellen Prüfeinrichtung in Bild A.1

Die Energie, die durch den schwachen Schirm übertragen wird, breitet sich in beiden Richtungen des Messrohres bzw. des äußeren Systems aus. Am Kurzschluss am nahen Ende des Generators (Senders) wird die Welle vollständig reflektiert, so dass am Empfänger die vollständige Energie gemessen wird, die durch den Schirm übertragen (gekoppelt) wird.

A.2 Kopplungswiderstand

Im Bereich tiefer Frequenzen darf der Kopplungswiderstand Z_T anhand des Spannungsverhältnisses U_2/U_1 berechnet werden:

$$Z_T \cdot l \approx Z_1 \cdot \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad \text{wenn } Z_T \ll Z_1 \quad (\text{A.1})$$

Eine ausführliche Beschreibung des Kopplungswiderstandes ist in IEC 62153-4-1 und in IEC 62153-4-3 enthalten.

A.3 Schirmdämpfung

Das logarithmische Verhältnis von eingespeister Leistung P_1 zur gemessenen Leistung P_2 im äußeren Kreis ergibt bei hohen Frequenzen die Schirmdämpfung a_s .

$$a_s = 10 \cdot \lg \left(\left| \frac{P_1}{P_2} \right|_{\max} \right) = 20 \cdot \lg \left(\left| \frac{U_1}{U_2} \right|_{\max} \right) + 10 \cdot \lg \left| \frac{Z_2}{Z_1} \right| \quad (\text{A.2})$$

Um die Schirmdämpfung mit anderen Prüfverfahren nach IEC 62153-4-4 vergleichen zu können, wird das gemessene Leistungsverhältnis P_1 zu P_2 auf den genormten Wellenwiderstand des äußeren Systems von $Z_s = 150 \, \Omega$ bezogen (für weitere Einzelheiten siehe IEC TS 62153-4-1, Ed.1, [Abschnitt 9](#)):

$$a_s = 10 \cdot \lg \left(\left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| \right) = 10 \cdot \lg \left(\left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_s}{Z_R} \right| \right) = 10 \cdot \lg \left(\left(\frac{U_1}{U_{2,\max}} \right)^2 \cdot \frac{Z_R}{Z_1} \cdot \frac{2 \cdot Z_s}{Z_R} \right) \quad (\text{A.3})$$

$$a_s = 10 \cdot \lg \left(\left| \frac{P_1}{P_r} \right|_{\max} \right) = 20 \cdot \lg \left(\left| \frac{U_1}{U_2} \right|_{\max} \right) + 10 \cdot \lg \left| \frac{2 \cdot Z_s}{Z_1} \right| \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist

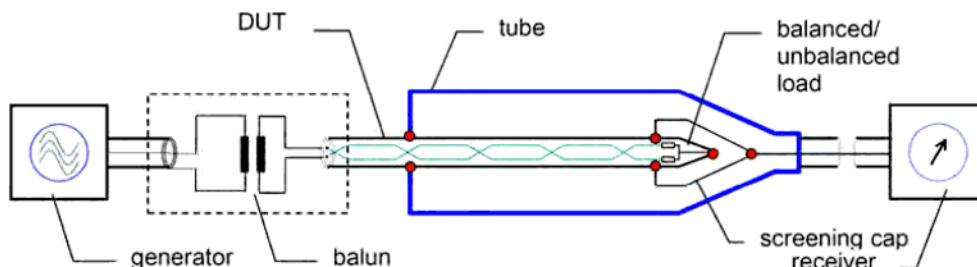
- P_1 die in den Prüfling eingespeiste Leistung (inneres System);
 P_2 die am Empfänger gemessene Leistung (äußeres System);
 P_r die abgestrahlte Leistung bezogen auf den normalisierten Wellenwiderstand der Umgebung;
 $Z_S = 150 \Omega$;
 U_1 die Eingangsspannung des Prüflings;
 U_2 die am Empfänger gemessene Spannung;
 Z_R der Eingangswiderstand des Empfängers;
 Z_G der Ausgangswiderstand des Generators;
 Z_S der beliebig ermittelte normalisierte Widerstand der Umgebung einer typischen Kabelinstallation
 $Z_S = 150 \Omega$.

Eine ausführliche Beschreibung der Schirmdämpfung ist in IEC 62153-4-1 und in IEC 62153-4-4 enthalten.

A.4 Kopplungsdämpfung

Im Gegentakt betriebene symmetrische Kabel, Steckverbinder, konfektionierte Kabel oder Einheiten strahlen aufgrund von Unregelmäßigkeiten der Symmetrie im Paar möglicherweise einen geringen Teil der eingespeisten Leistung ab. Bei ungeschirmten symmetrischen Kabeln, Steckverbindern, konfektionierten Kabeln oder Einheiten wird diese Abstrahlung durch die Unsymmetriedämpfung a_U beschrieben. Bei geschirmten symmetrischen Kabeln verursacht die Unsymmetrie einen Strom im Schirm der durch den Kopplungswiderstand und den kapazitiven Kopplungswiderstand in den äußeren Kreis eingekoppelt wird. Die Abstrahlung wird durch den Schirm des Bauteils gedämpft und ist auf die Schirmdämpfung a_s bezogen.

Die gesamte Effektivität des geschirmten symmetrischen Kabels gegen elektromagnetische Beeinflussung ergibt sich damit als Summe aus der Unsymmetriedämpfung a_U des Paares und der Schirmdämpfung a_s des Kabelschirmes.



Englisch	Deutsch
generator	Generator
balun	Symmetrieübertrager
tube	Rohr
balanced/unbalanced load	Symmetrische/asymmetrische Last
screening cap	Schirmhülse
receiver	Empfänger

Bild A.3 – Kopplungsdämpfung, Prinzip der Prüfeinrichtung mit Symmetrieübertrager und Norm-Messrohr

Die Kopplungsdämpfung a_c wird anhand des logarithmischen Verhältnisses der eingespeisten Leistung P_{diff} und den periodischen Maximalwerten der Leistung $P_{com,max}$ (die möglicherweise aufgrund der Spannungsspitzen U_2 in den äußeren Kreis abgestrahlt werden) ermittelt:

Sowohl zur Messung der Kopplungsdämpfung als auch zur Messung der Unsymmetriedämpfung ist ein Gegentaktsignal erforderlich. Dieses kann zum Beispiel unter Verwendung eines Symmetrieübertragers