

EMV von Kabeln und Komponenten mit Triaxialverfahren



Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 1

Übersicht

- Physikalische Grundlagen der Schirmung
 - Definitionen, elektrische Länge,
 - Kopplungsübertragungsfunktion
- Triaxialverfahren
 - Zelle
- Kopplungsdämpfung symmetrischer Paare
- Triaxiale Absorberzelle

- Messen von EMV-Durchführungen und EMV-Dichtungen

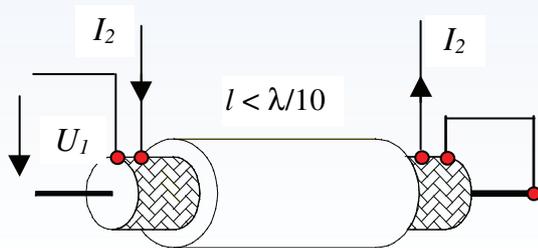
Definitionen, elektrische Länge

hohe Frequenzen: **Schirmdämpfung**

$$a_S = 10 \log (P_1/P_2) = 20 \log_{10} (U_1/U_2) \text{ [dB]}$$

Verhältnis von zwei Leistungen --> **längenunabhängig**

tiefe Frequenzen: **Kopplungswiderstand**



$$Z_T = \frac{U_1}{I_2 \cdot l} \text{ [m}\Omega\text{/m]}$$

Wellenlänge

$$\lambda = (c_0 \cdot v_k) / f$$

elektrisch lang:

$$f > \frac{c_0}{2 \cdot l \cdot \left| \sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}} \right|}$$

elektrisch kurz:

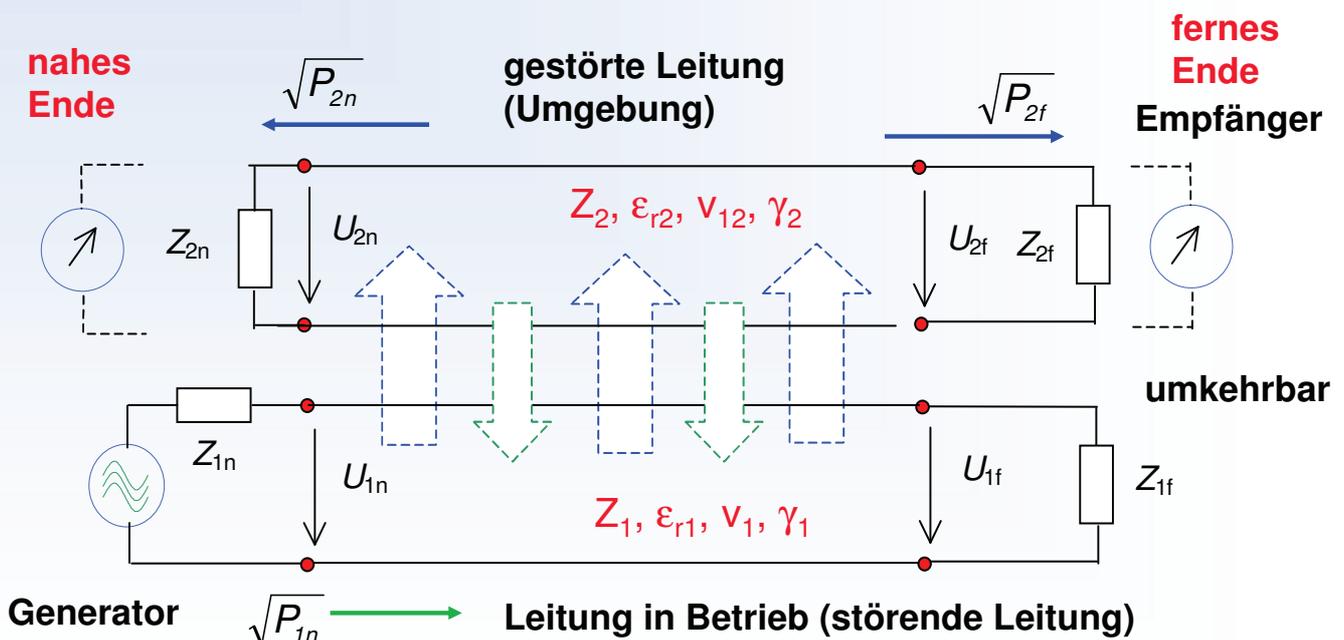
$$f < \frac{c_0}{10 \cdot l \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}}$$

(IEC 62153-4-1)

Verhältnis von **U/I = R** --> **längenabhängig**

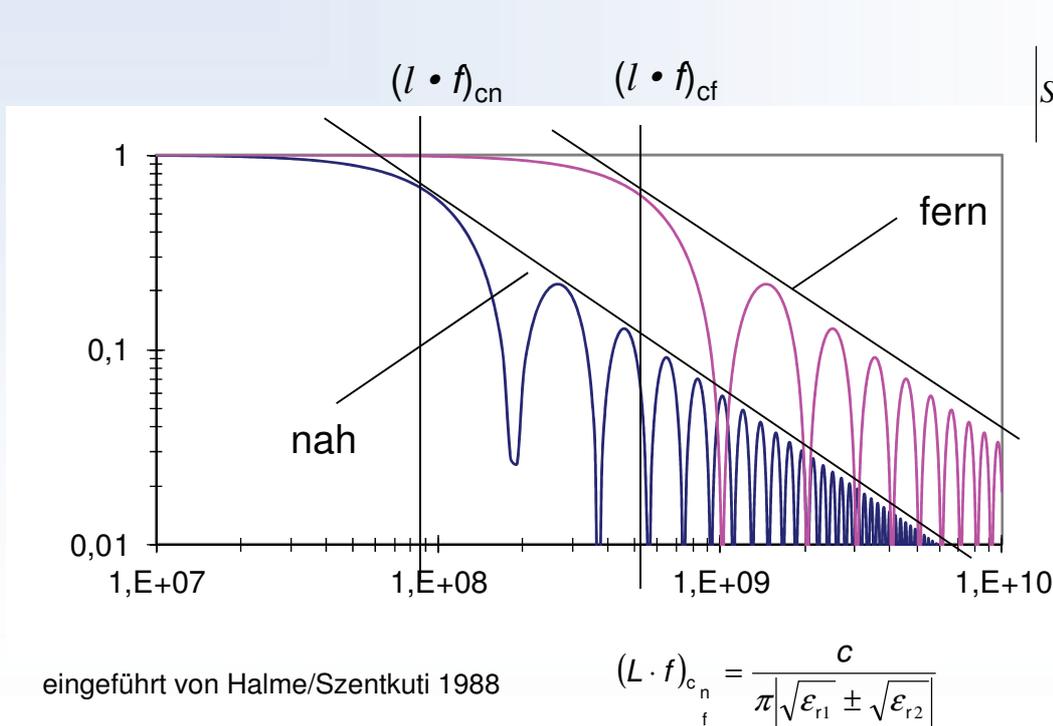
$$Z_T = R_T + j\omega M_T$$

Kopplung zwischen zwei Leitungen



Wellenwiderstand Z , Dielektrizitätskonstante ϵ_r , Ausbreitungsgeschwindigkeit v , Ausbreitungskonstante $\gamma = \alpha + j\beta$

Summenfunktion S_{nf}



$$\left| S_{nf} \right| = \frac{2 \sin\left(\frac{(\beta_1 \pm \beta_2) \cdot L_c}{2}\right)}{(\beta_1 \pm \beta_2) \cdot L_c}$$

$$\approx \sin x/x$$

β beinhaltet die Phasenkonstante des inneren und des äußeren Kreises

Tiefe Frequenzen:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow 1$$

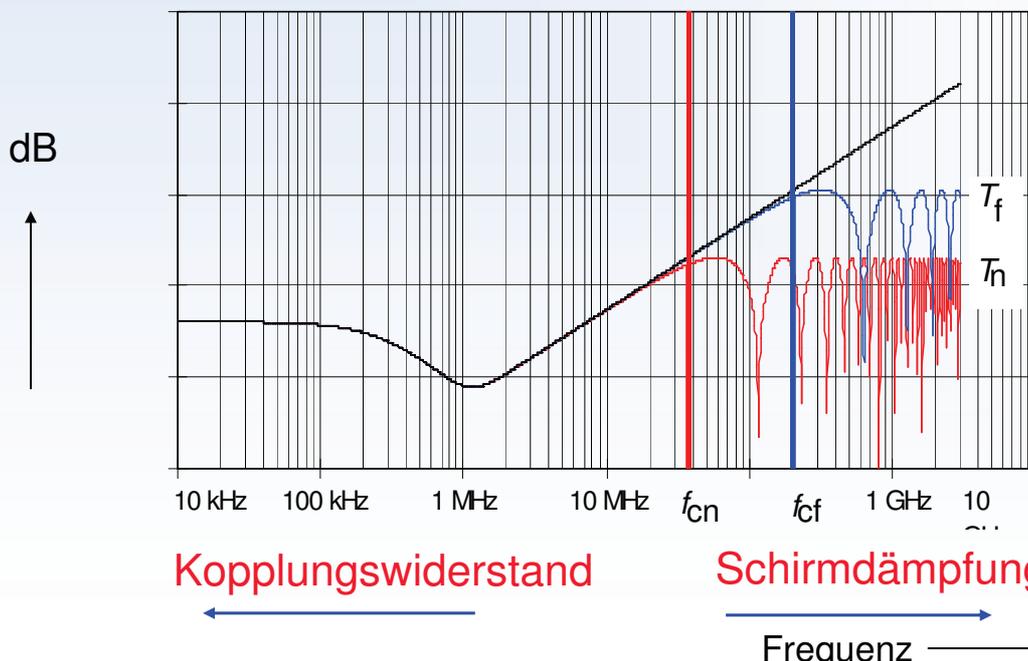
Hohe Frequenzen:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow \frac{2}{(\beta_1 \pm \beta_2) \cdot l}$$

gerechnete Kopplungsübertragungsfunktion T_{nf} (RG 058)

Frequenzverlauf von a_s und Z_T

$$T_{s,n} = (Z_F \pm Z_T) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot \frac{l}{2} \cdot S_{nf}$$



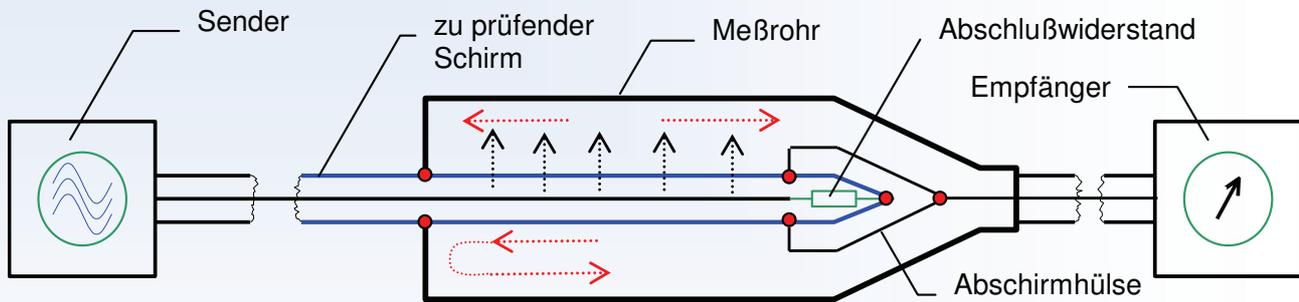
n = nahes Ende
f = fernes Ende

- L = 1 m
- $\epsilon_{r1} = 2,3$
- $\epsilon_{r2} = 1,0$
- $Z_F = 0$

Die Kopplungsübertragungsfunktion T_{nf} ergibt sich aus der Multiplikation des äquivalenten Kopplungswiderstandes Z_{TE} und der Summenfunktion S_{nf}

Messen mit dem Triaxial-Verfahren, Prinzip

Kopplungswiderstand und Schirm- oder Kopplungsdämpfung DC bis über 9 GHz mit einem Messaufbau

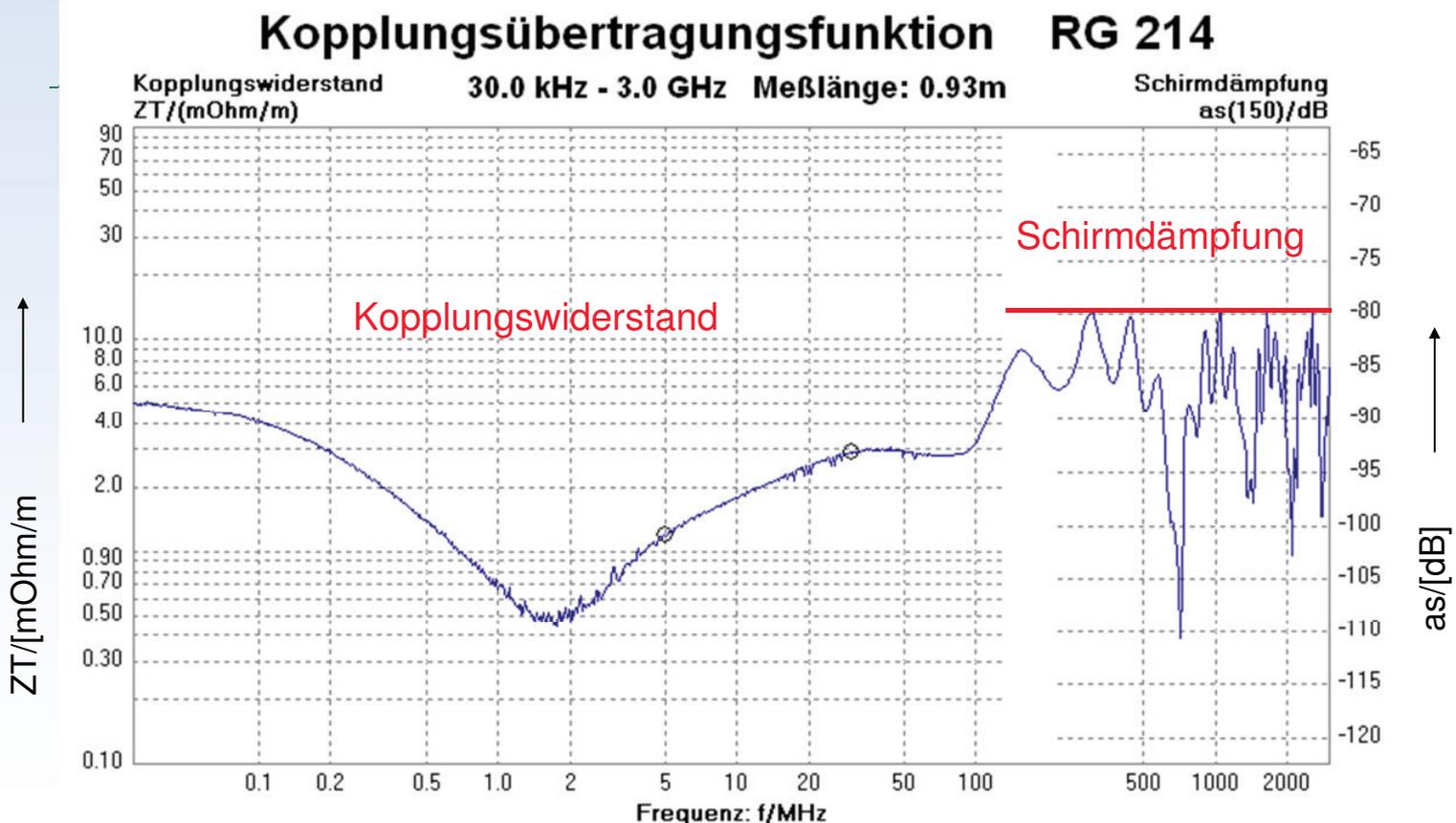


Der Sender speist das zu prüfende Kabel mit HF-Energie. Durch den nicht ganz dichten Schirm koppelt Energie in das Messrohr, eine Welle breitet sich im Rohr zunächst in beide Richtungen aus. Am Kurzschluss erfährt die Welle eine Totalreflexion; die gesamte Energie im Rohr läuft dann zum Empfänger und wird gemessen. Das logarithmische Verhältnis von gemessener Leistung zu eingespeister Leistung ist die Schirmdämpfung bzw. bei tiefen Frequenzen und entsprechender Umrechnung der Kopplungswiderstand.

IEC 62153-4-3Ed2 Kopplungswiderstand

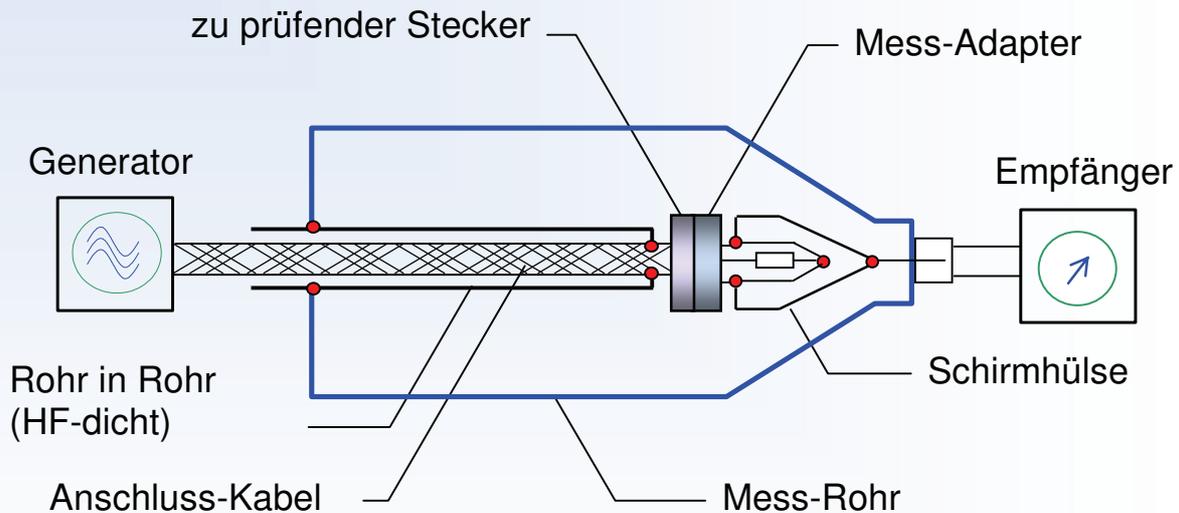
IEC 62153-4-4Ed2 Schirmdämpfung

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 7



Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 8

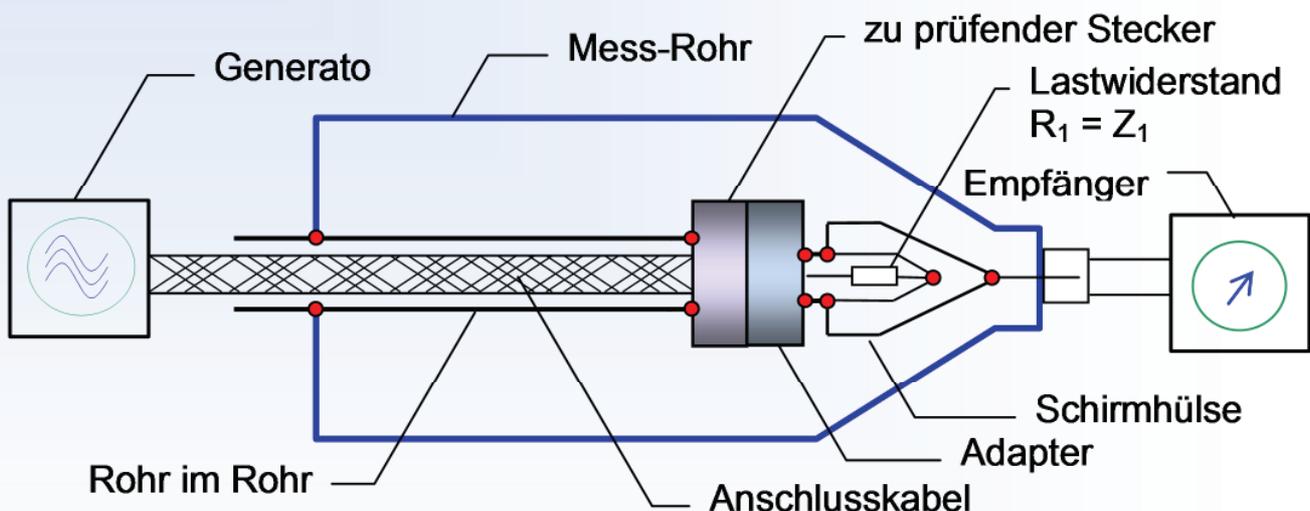
Triaxialer Aufbau für Stecker mit "Rohr im Rohr"



Rohr im Rohr"-Verfahren IEC 62153-4-7Ed2, Kopplungswiderstand, Schirmdämpfung und Kopplungsdämpfung von Steckern und Assemblies

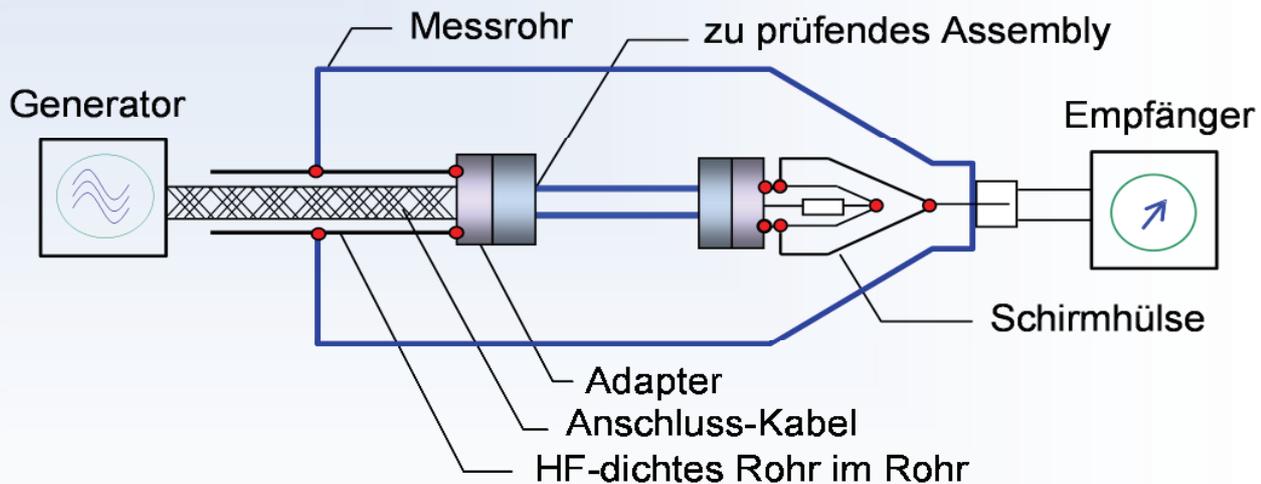
Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 9

IEC 62153-4-7Ed2, Rohr im Rohr-Verfahren, Amendment 1



Stecker direkt mit dem Rohr im Rohr bzw. mit dem Adapter verbunden !
IEC 62153-4-7Ed2, Tube in tube procedure, Amendment 1

Messung von konfektionierten Kabeln

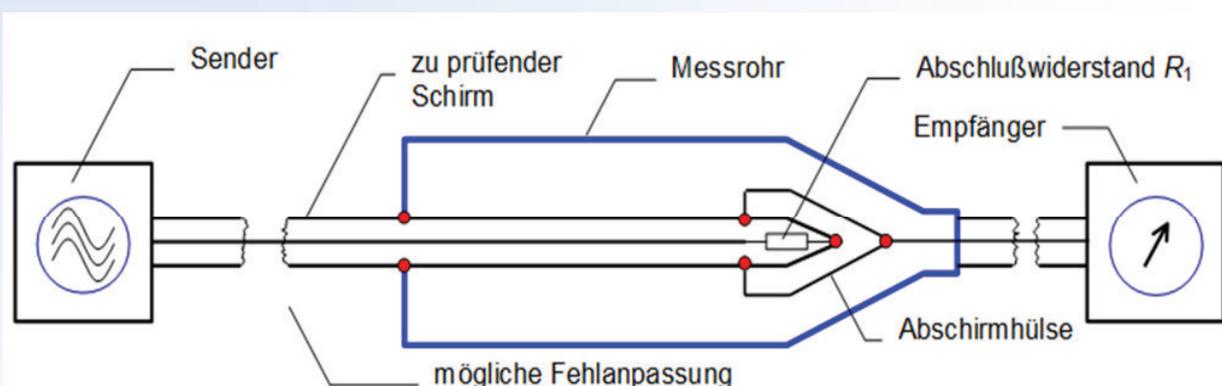


Adapter ist direkt mit dem "Rohr im Rohr" verbunden

IEC 62153-4-7Ed2, Tube in tube test procedure (connectors & assemblies)

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 11

Änderungen der IEC 62153-4-4Ed2, Schirmdämpfung



Innerer Kreis mit Abschlußwiderstand $R_1 = Z_1$ und äußerer Kreis ohne Dämpfungswiderstand

$$a_S = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{Z_1} \right| = \text{Env} \left\{ -20 \cdot \log_{10} |S_{21}| + 10 \cdot \log_{10} |1 - r^2| + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| \right\}$$

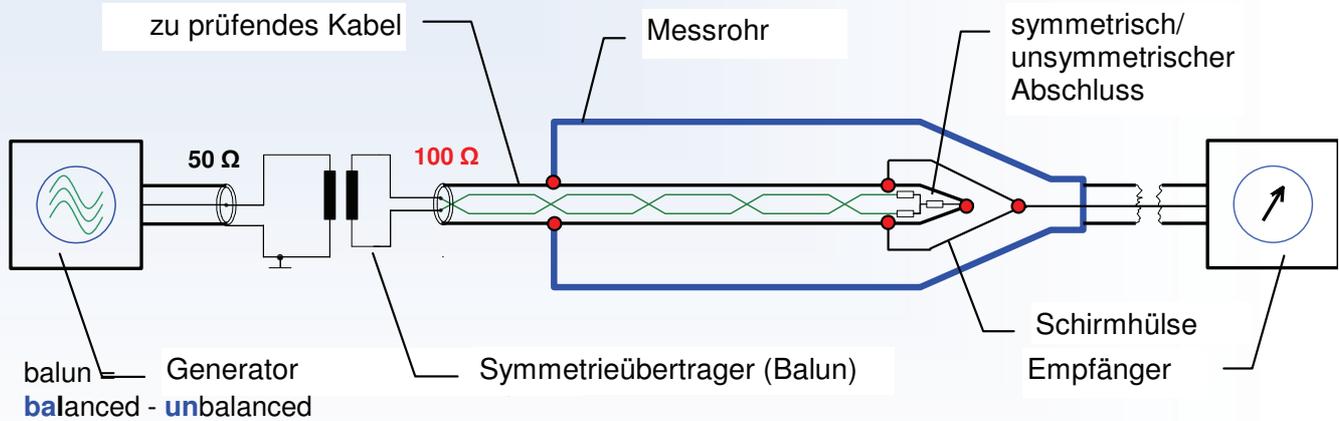
Der Term $|1 - r^2|$ stellt hier die Reflexionsdämpfung durch die Fehlanpassung zwischen Generator und Prüfling dar.
Bei einer Fehlanpassung von 50 Ohm Generatorwiderstand auf z.B. 10 Ohm Wellenwiderstand des Prüflings (HV-Kabel) ergibt sich damit ein Korrekturwert von ca. 2,5 dB !

$$\text{Reflexionskoeffizient } r = \left(\frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \right)$$

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 12

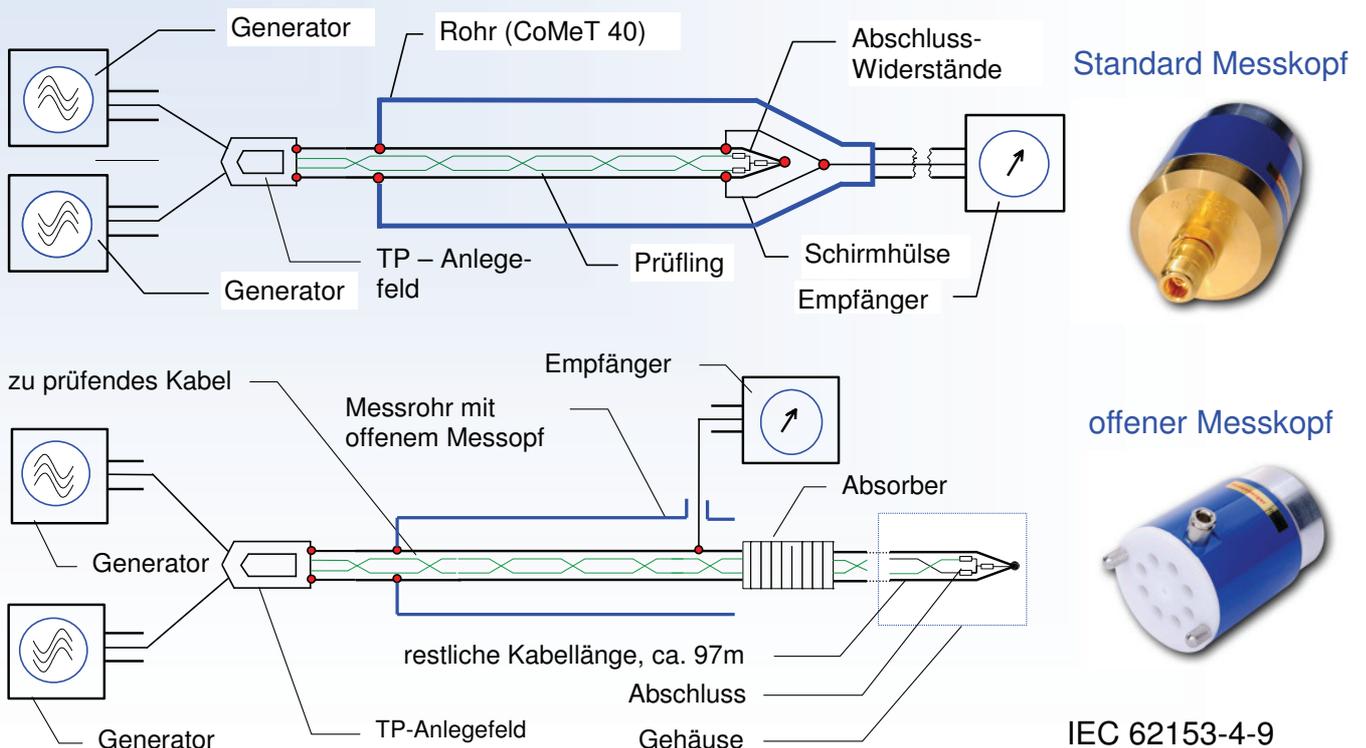
Kopplungs­dämpfung mit Triaxialverfahren & Balun

Die Kopplungs­dämpfung ist die **Interaktion** aus der **Unsymmetriedämpfung** des Paares und der **Schirmdämpfung** des Schirmes (bzw. der Schirme)

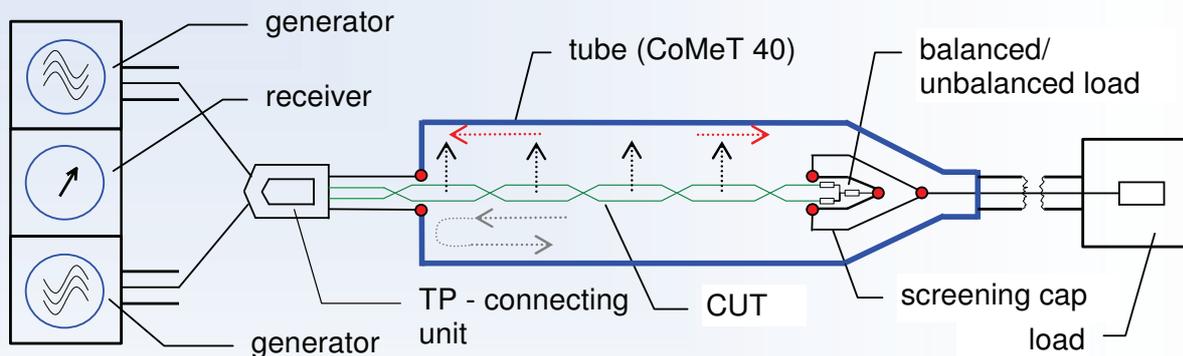


Zur Anpassung des (unsymmetrischen) 50-Ohm Ausgangs des Generators an die 100 Ohm des symmetrischen Paares ist ein **Symmetrieübertrager** bzw. ein **Balun** erforderlich. Handelsübliche Symmetrieübertrager sind allerdings nur bis ca. **1,2 GHz** verfügbar.
IEC 62153-4-9Ed2

Kopplungs­dämpfung bis 2 GHz mit virtuellem Balun



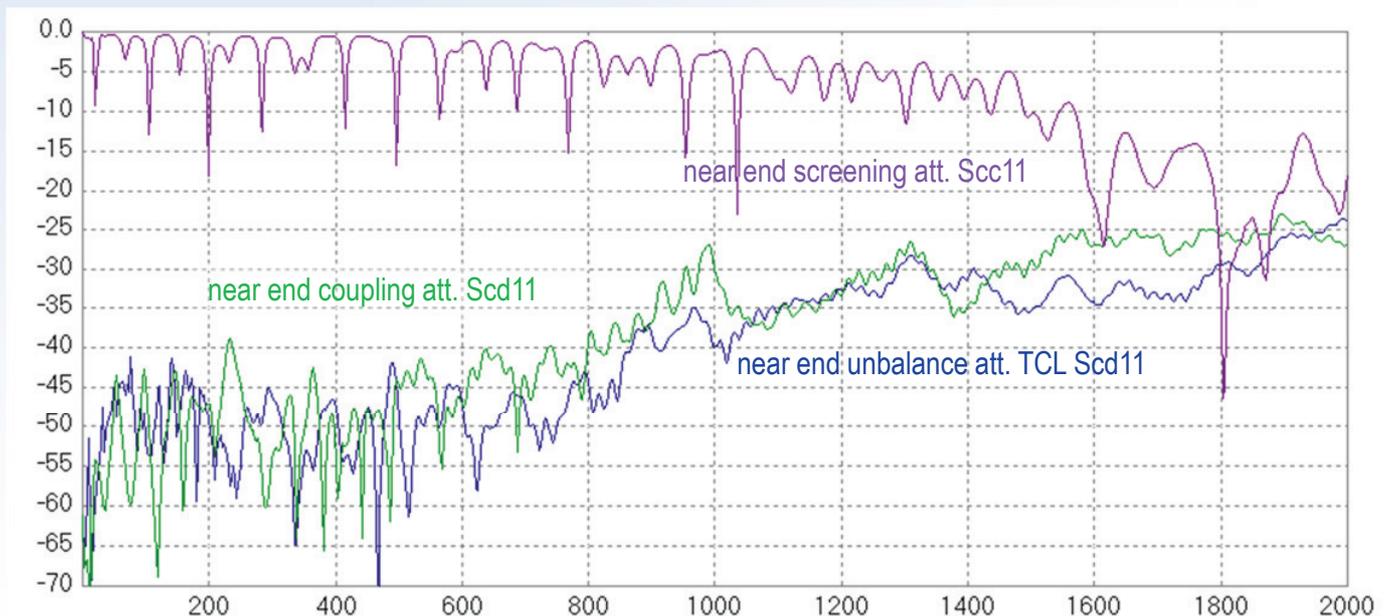
Kopplungsdämpfung am nahen Ende & TP-Anlegefeld



Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 15

Kopplungsdämpfung am nahen Ende eines ungeschirmten Paares

near end unbalance attenuation (TCL) of a 5m single **unscreened balanced pair**, laid on a wooden table and the **near end coupling attenuation** measurement (Scd11) in the triaxial set-up

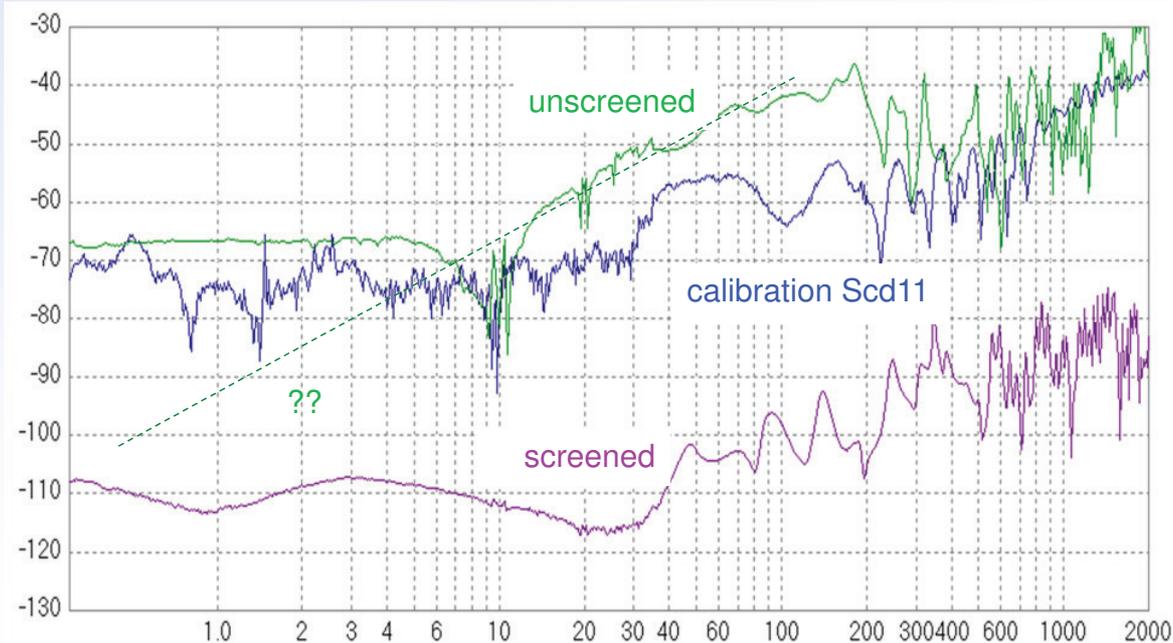


near end coupling attenuation of a **single unscreened balanced pair = TCL !**

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 16

Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen

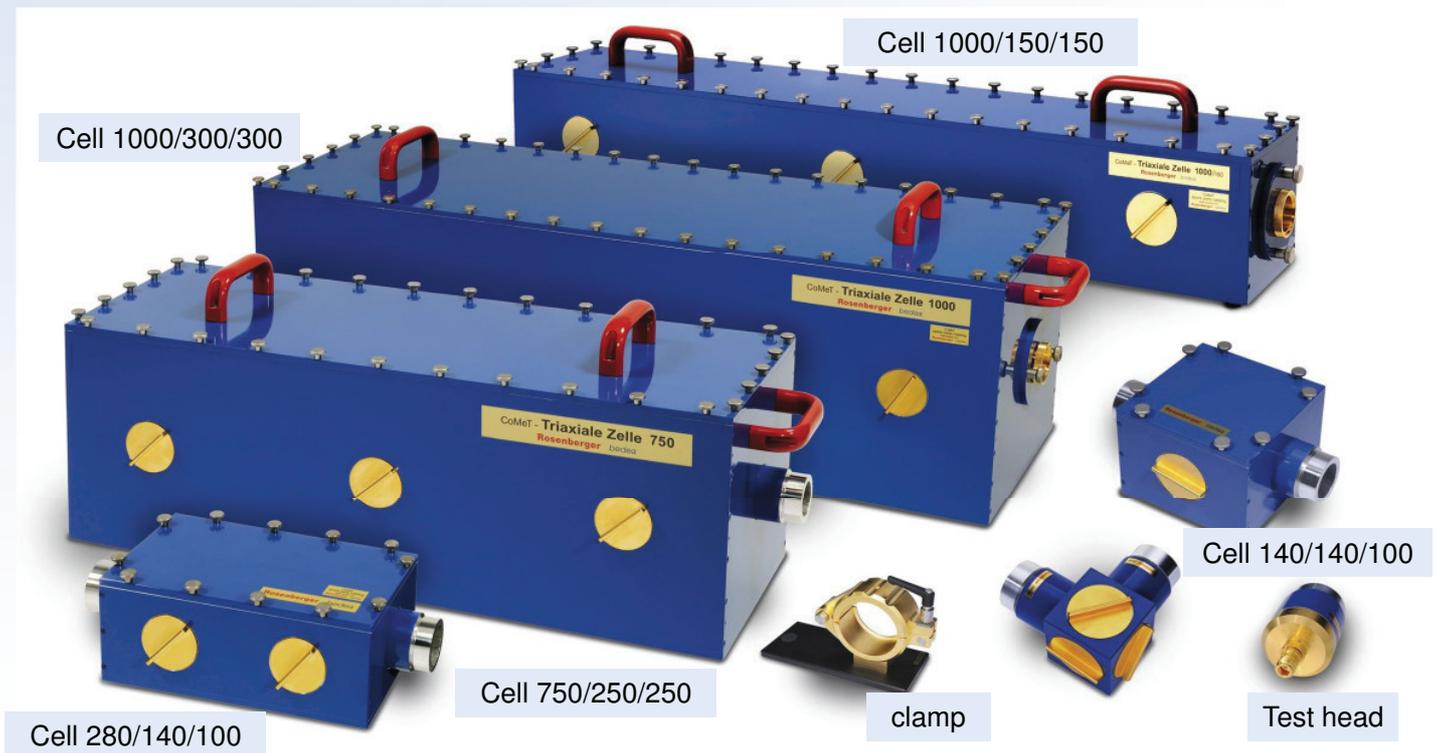
Die **Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen** ungeschirmter Paare kann mit dem gleichen Messaufbau wie zur Messung der **Kopplungsdämpfung** ab ca. **9 kHz** gemessen werden



Die **Unsymmetriedämpfung** des TP-Anlegfeldes ist zu beachten; Messlänge 3m, **Ssd21**

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 17

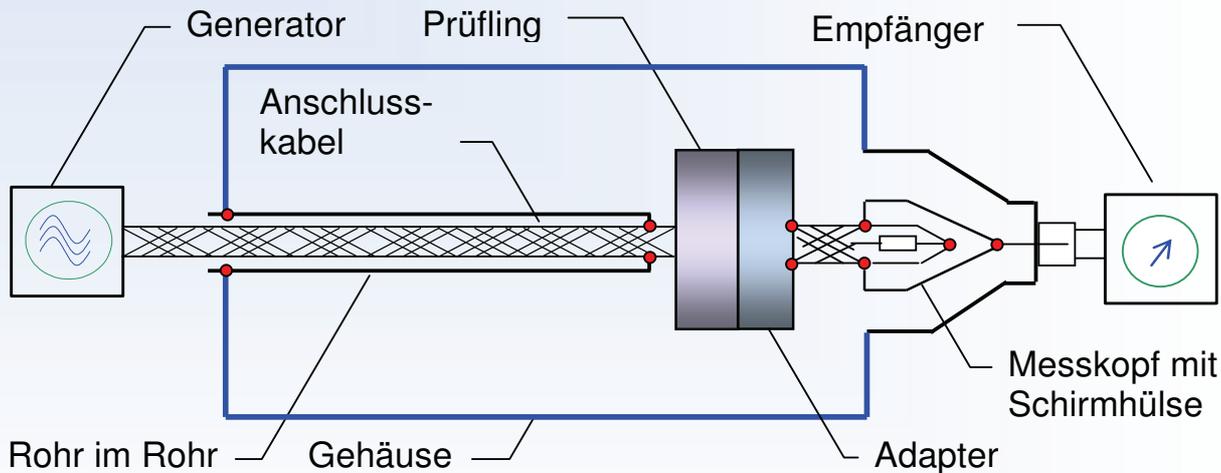
verschiedene Triaxiale Zellen des CoMeT Systems



Different designs of Triaxial Cells

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 18

Triaxiale Zelle - IEC 62153-4-15



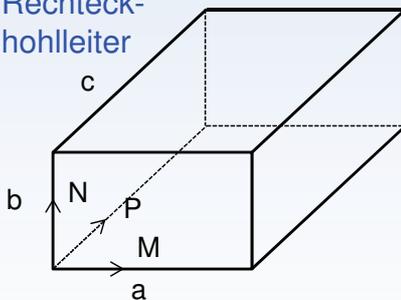
IEC 62153-4-15, Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung oder der Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle

Problem: Höhere Moden und Resonanzen

Höhere Moden und Resonanzen

Das Triaxialverfahren arbeitet nach dem Prinzip der Transversalen Elektromagnetischen Wellenausbreitung (**TEM - Wellen**). Bei hohen Frequenzen wird die Triaxiale Zelle im Prinzip zu einer **Kavität** bzw. zu einem **Rechteck-Hohlleiter** mit entsprechenden Resonanzen in Abhängigkeit der Abmessungen. Oberhalb dieser Resonanzfrequenzen ist die Ausbreitung von TEM-Wellen gestört; Messungen mit dem Triaxialverfahren werden beeinträchtigt.

Rechteck-hohlleiter



Resonanzfrequenzen f_r ergeben sich zu:

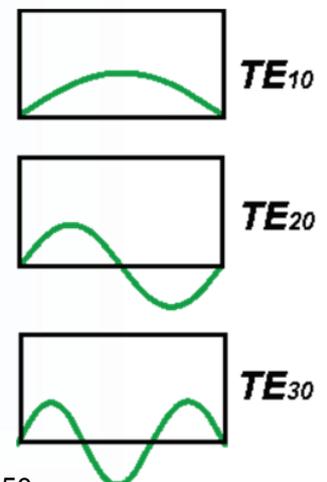
$$f_{mnp} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{M}{a}\right)^2 + \left(\frac{N}{b}\right)^2 + \left(\frac{P}{c}\right)^2}$$

Die Grenzfrequenz f_c einer Kavität ergibt sich zu:

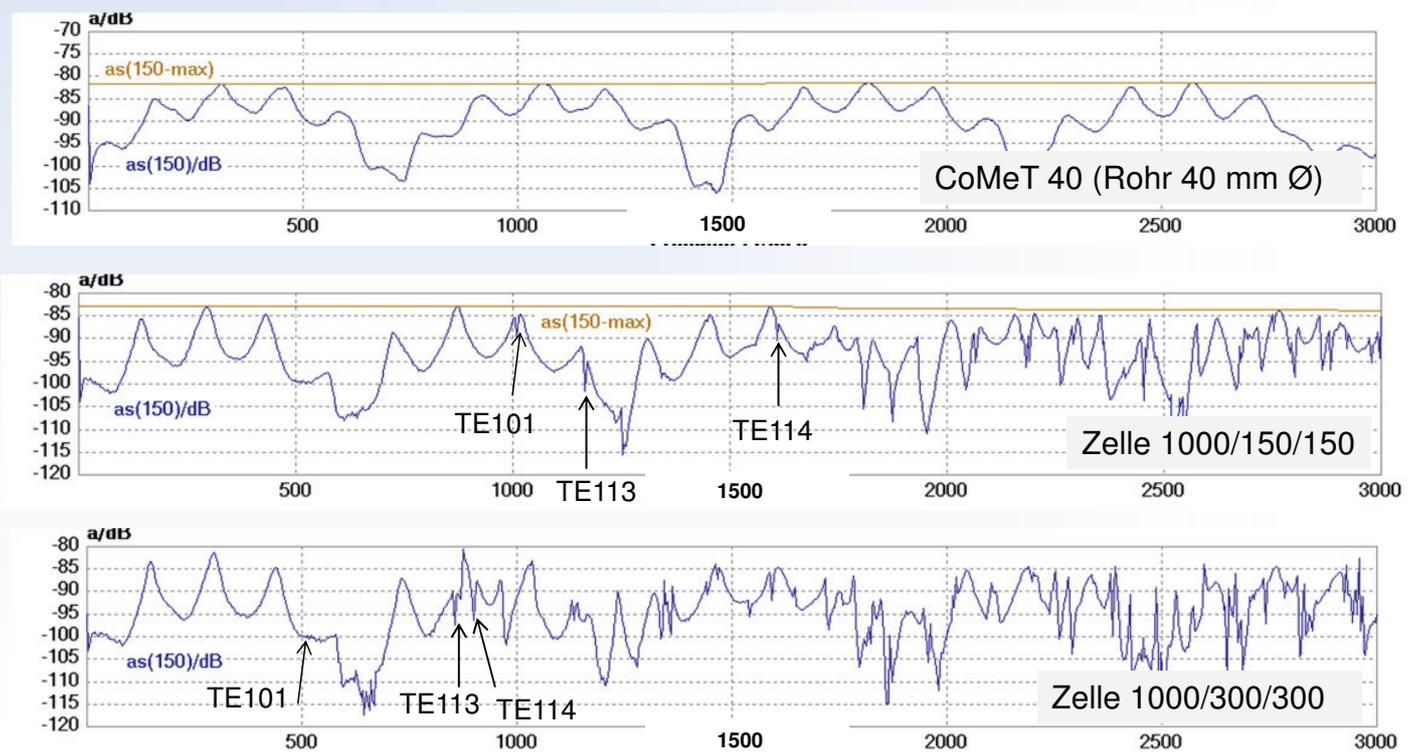
$$f_c = \frac{c_0}{2a}$$

$f_c = 500 \text{ MHz}$ für die Zelle 1000/300/300 und 1 GHz für die Zelle 1000/150/150

M, N, P	sind die Zahlen der Moden, wobei M und N für das transversale und P für das longitudinale Vielfache der halben Wellenlänge steht, (M,N,P = 1,2,3 wobei M oder N zu Null gesetzt werden kann)
a, b, c	sind die Dimensionen der Kavität, wobei a und b mit der transversalen und c mit der longitudinalen Dimension gekoppelt ist.
c_0	Ist die Lichtgeschwindigkeit im freien Raum

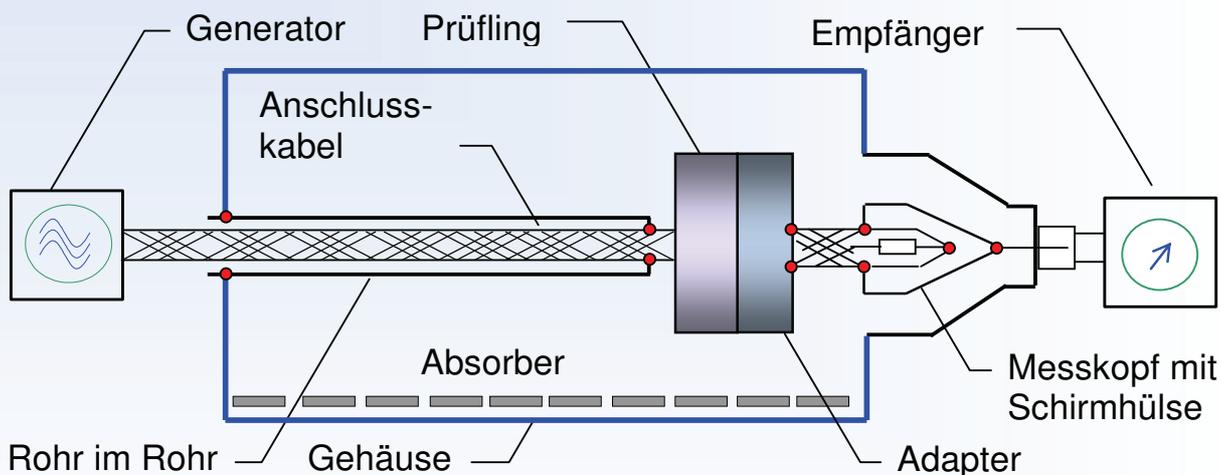


Höhere Moden & Resonanzen in Triaxialen Prüfeinrichtungen



Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 21

Triaxiale “Absorberzelle“ IEC 62153-4-15Ed2

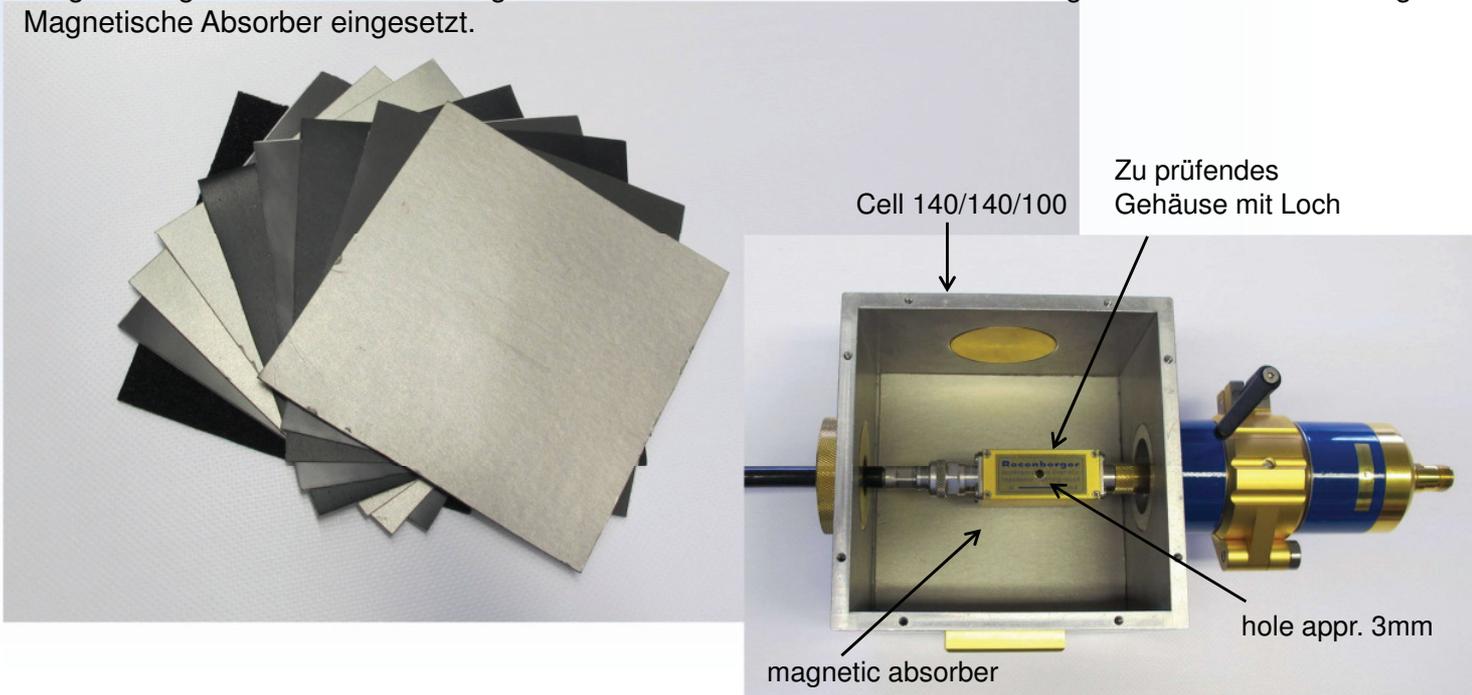


Durch **Absorbermaterial** können **höhere Moden** wirkungsvoll unterdrückt werden.
Damit sind Messungen bis zu und über **3 GHz** möglich
Geeignet sind Ferrit-Absorber, nanokristalline Absorber und magnetische Absorber

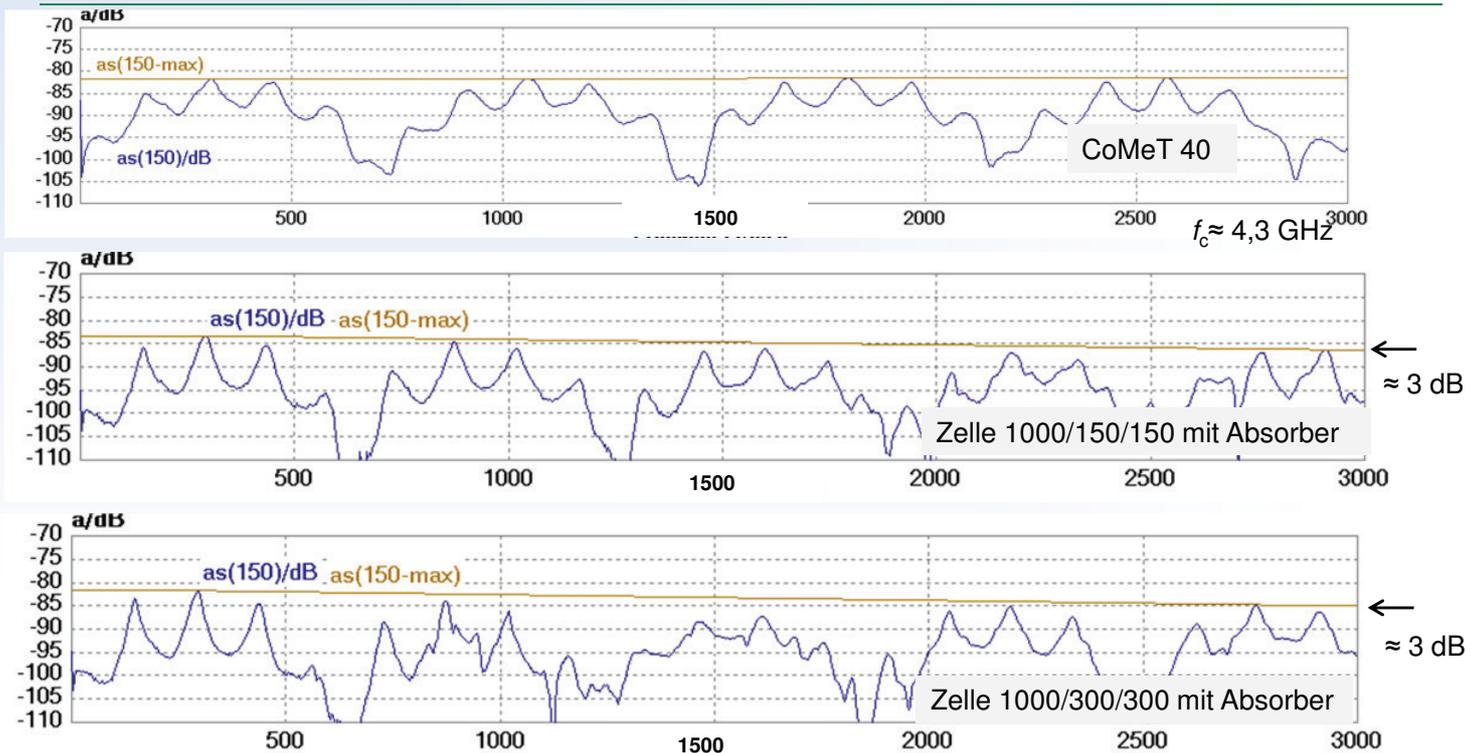
Triaxiale “**Absorber-Zelle**“ nach IEC 62153-4-15Ed2
(Erweiterung der IEC 62153-4-15 mit Absorbieren in Vorbereitung bei IEC TC 46/WG5)

Magnetische Absorber

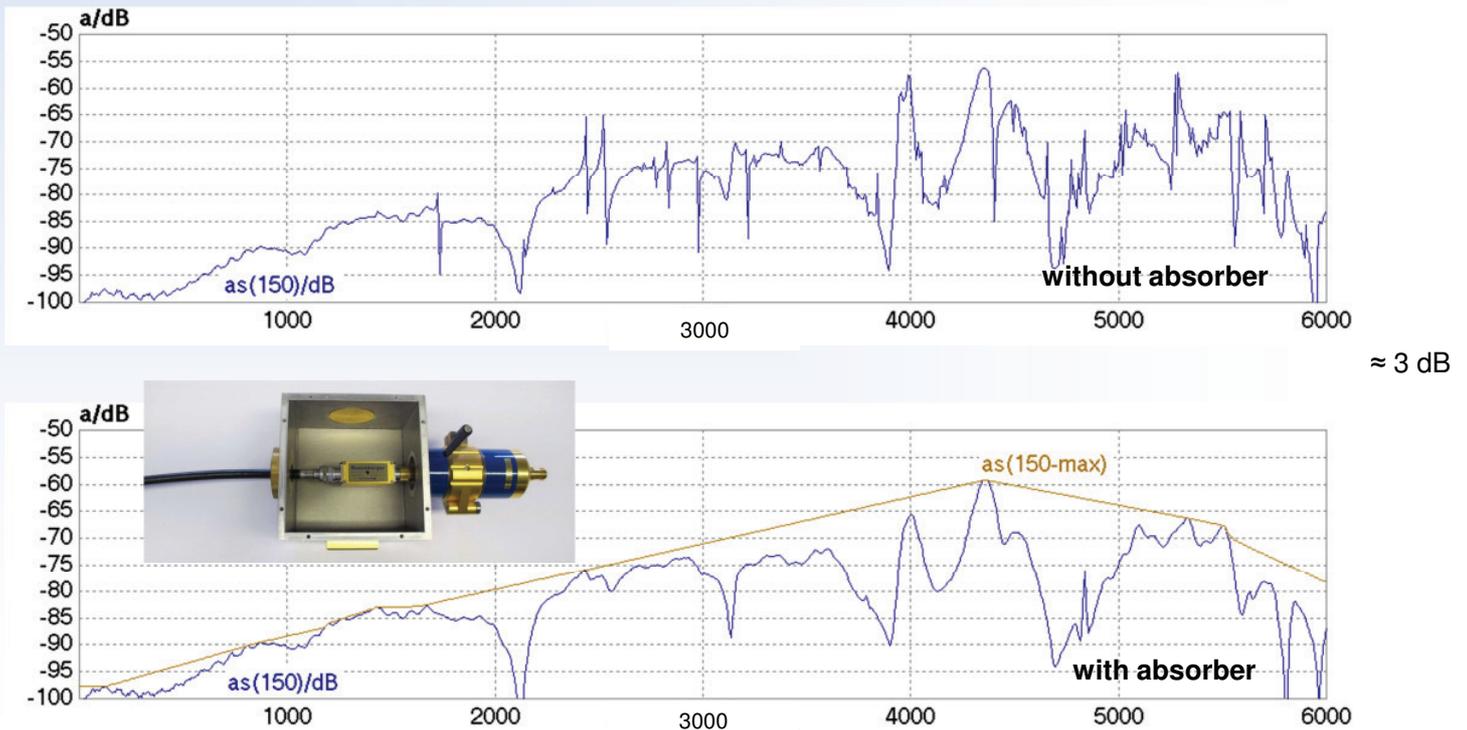
Als Absorber können z.B. Ferritkacheln oder nanokristalline Absorber eingesetzt werden. Wegen der guten mechanischen Eigenschaften und der einfachen Handhabung wurden für die Messungen Magnetische Absorber eingesetzt.



Übersicht Triaxialverfahren mit Absorber

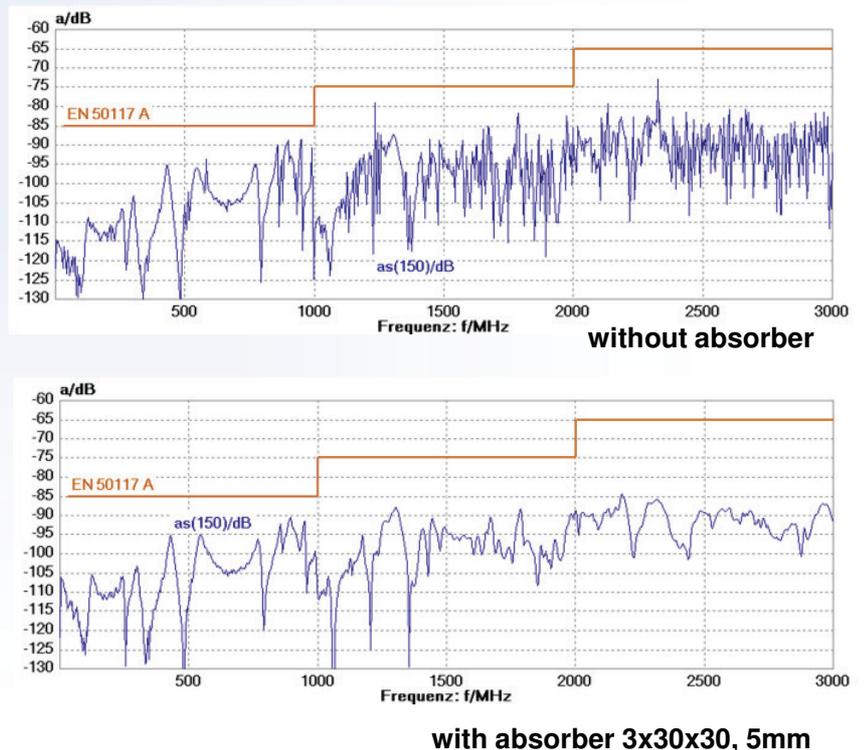


Box mit Loch in "Absorber-Zelle" 140/140/100



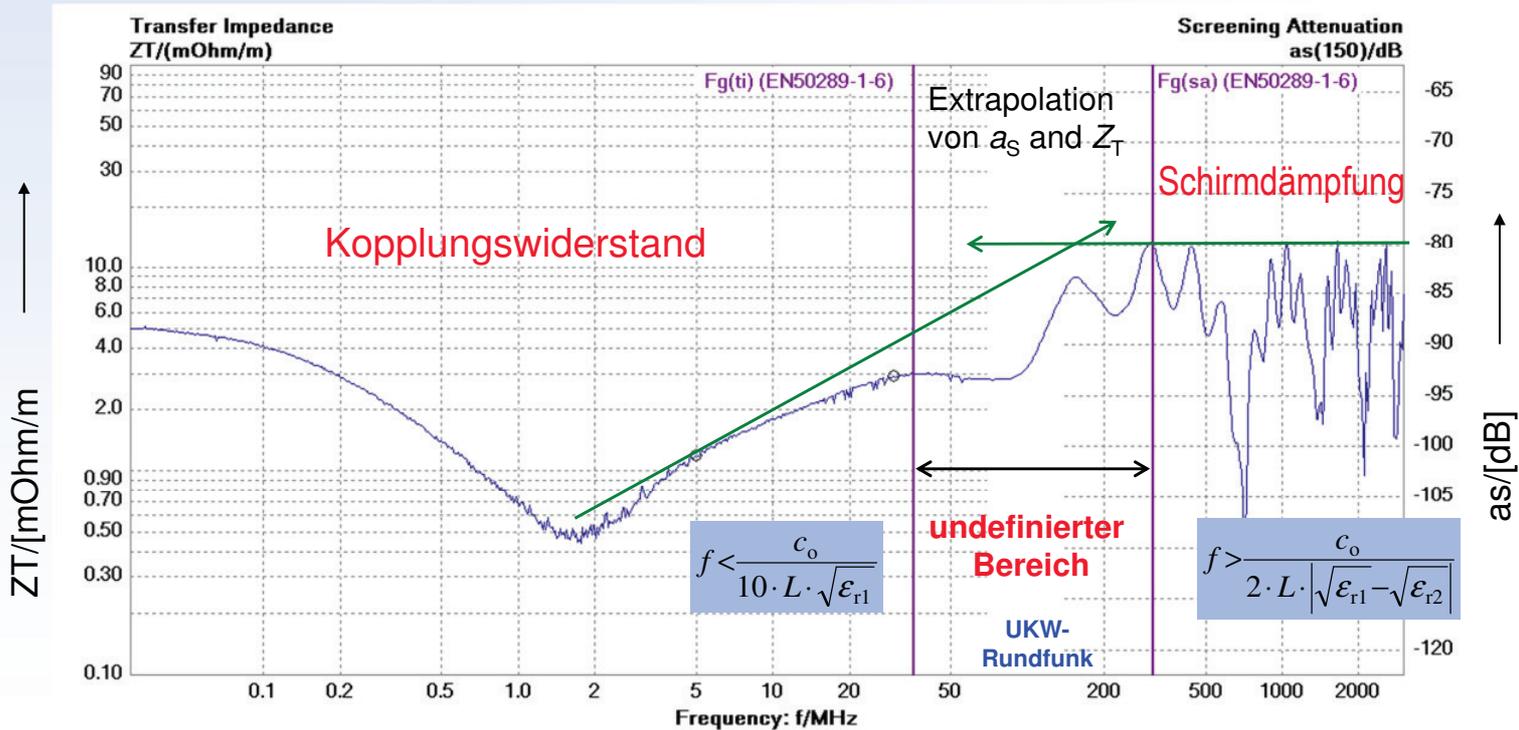
Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenschied
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 25

CATV-Verteiler mit Triaxialer Zelle 1000/300/300



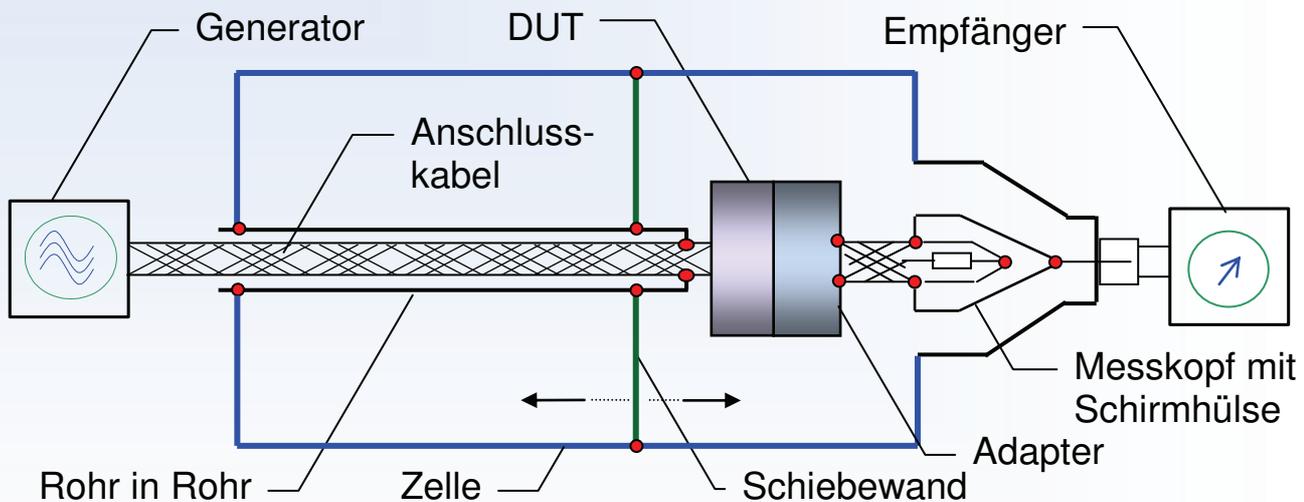
Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenschied
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 26

Kopplungsübertragungsfunktion



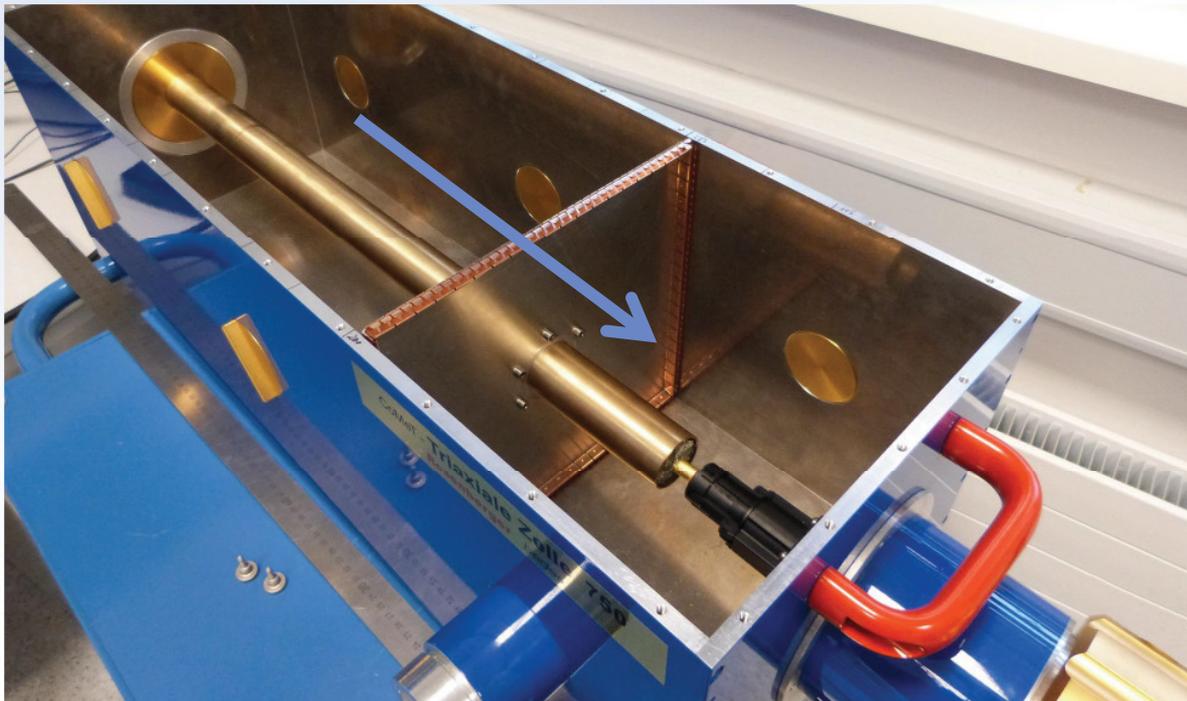
Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenschied
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 27

Triaxiale Zelle mit Rohr in Rohr und Schiebewand



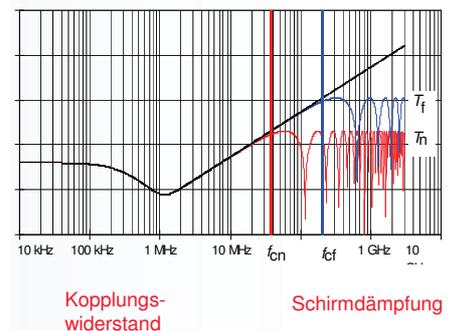
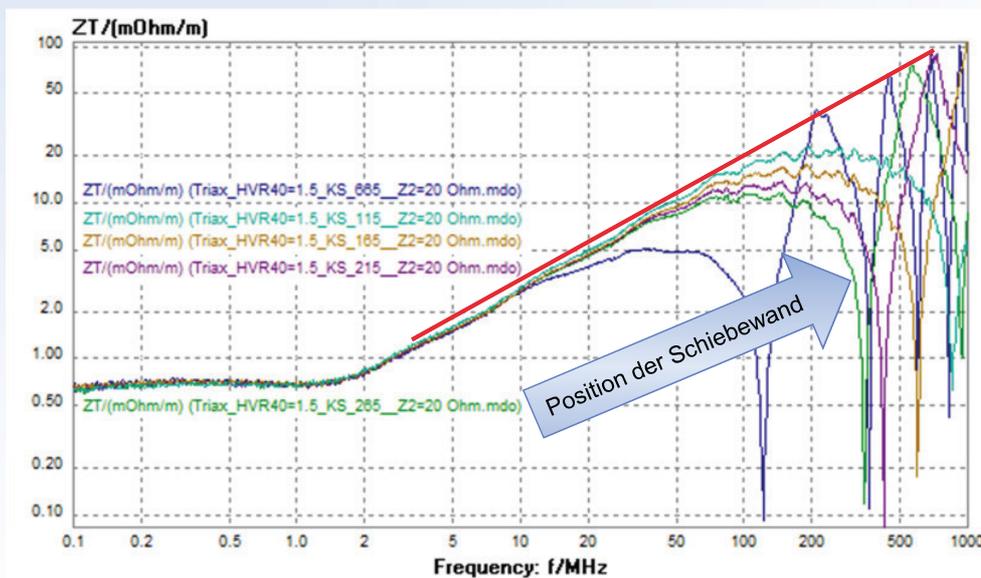
IEC 62153-4-15, Triaxial cell, Annex F

Triaxiale Zelle mit Rohr im Rohr und Schiebewand



Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 29

Triaxiale Zelle mit Rohr im Rohr und Schiebewand



Durch Verschieben der KurzschlussEbene der Zelle verschiebt sich auch die Frequenz des Übergangs von Kopplungswiderstand zur Schirmdämpfung.
Die Hüllkurve ergibt Transferimpedanz bzw. den Kopplungswiderstand des Prüflings

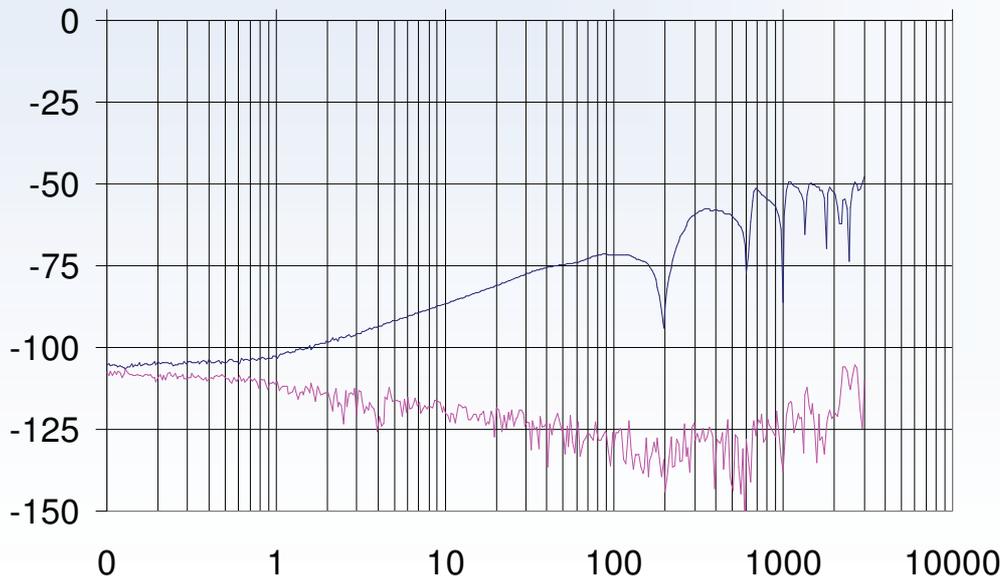
Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 30

Kabel mit Loch im Schirm, Rohr im Rohr, 0,5 m

Stecker können nur in gestecktem Zustand gemessen werden Messapter

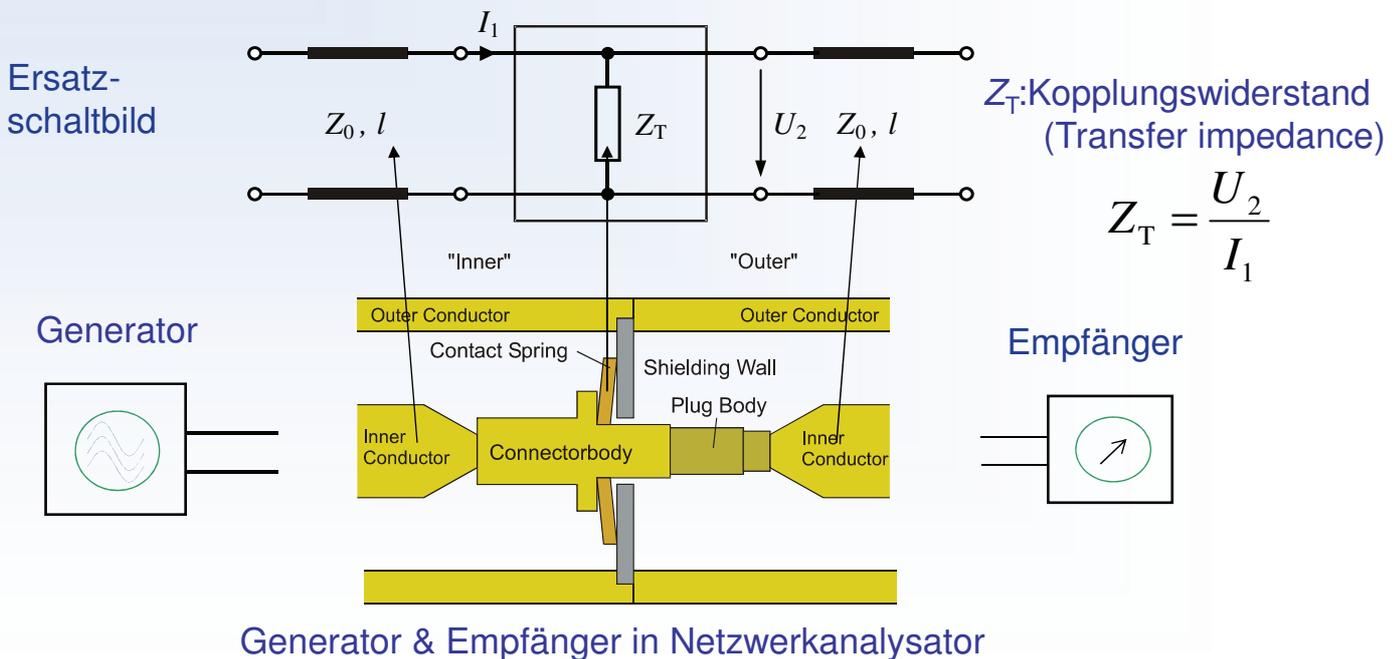
Telass 110 mit F-Stecker

Gleiches Kabel mit Loch, 3 mm

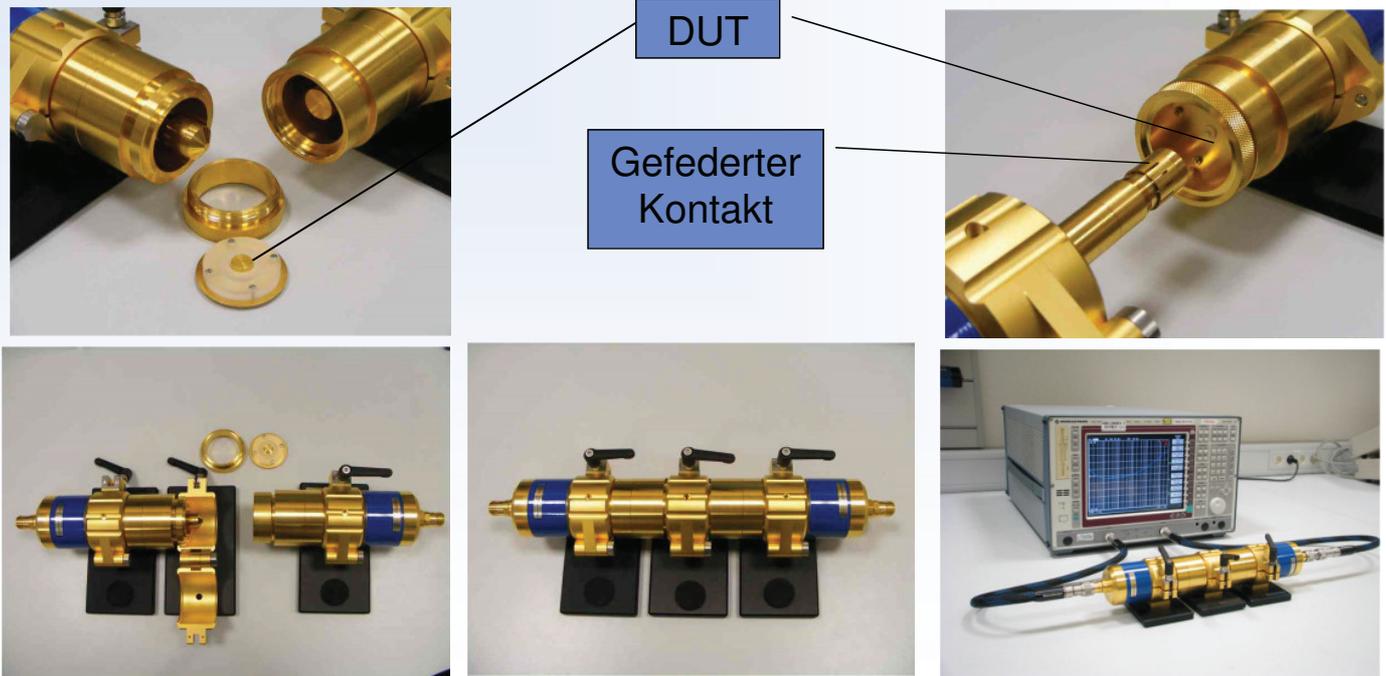


EMV von Durchführungen und HF-Dichtungen, CoMeT-K

IEC 62153-4-10Ed2

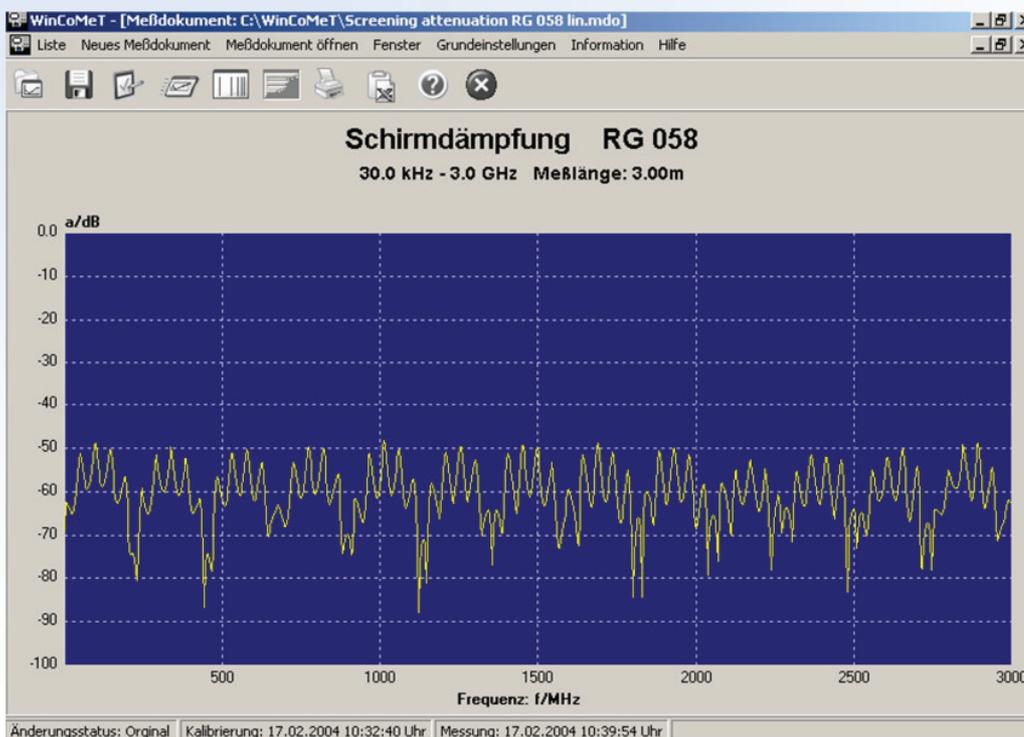


EMV von Durchführungen und HF-Dichtungen, CoMeT-K



Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 33

Steuer- & Auswerte-Software WinCoMeT



- Steuerung des Netzwerkanalysators
- Auswertung der Messergebnisse
- Dokumentation
- Export der Daten nach MS-Excel
- Ausgabe auf Drucker
- Vollversion mit Übertragungsparametern von Kommunikationskabeln
- einschliesslich FFT und Gating-Funktion

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 34

Zusammenfassung 1

- Die Schirmwirkung von Kabeln und Steckern wird im unteren Frequenzbereich als **Kopplungswiderstand** Z_T und im oberen Frequenzbereich als **Schirmdämpfung** a_s angegeben bzw. gemessen.
- Bei geschirmten **mehradrigen (symmetrischen)** Kabeln (und Steckern) ist das Maß der Schirmwirkung die **Kopplungsdämpfung** a_c als Interaktion aus **Unsymmetriedämpfung** des Paares und der Schirmdämpfung des Schirms.
- Messverfahren für Kabel und Stecker sind Zangenverfahren, Speisedrahtverfahren und das **Triaxialverfahren**.
- Mit dem **Triaxialverfahren (CoMeT)** kann sowohl der **Kopplungswiderstand** als auch die **Schirmdämpfung** von Kabeln und Steckern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 9 (18) GHz mit einem Meßaufbau gemessen werden;
- zusätzlich kann die **Kopplungsdämpfung** von ungeschirmten & geschirmten symmetrischen Kabeln und Steckern ab ca. **9 kHz** gemessen werden.

Zusammenfassung 2

- Mit dem **Triaxialverfahren** kann der Kopplungswiderstand (je nach Frequenzbereich) mit Kurzschluss oder Anpassung gemessen werden.
- Das Triaxialverfahren ist für Kabel und Komponenten in der Reihe **IEC 62153-4** genormt,
- Während die EMV-Messtechnik für Kabel seit längerer Zeit eingeführt und bewährt ist, bestehen bei der Messung von Steckern noch zahlreiche Fragen,
- besonders bezüglich der Anschlusskabel/Anschlusstechnik des Prüflings, und der Anpassung und des Einflusses gesteckter Stecker (**Adapter**).
- Die **Triaxiale “Absorber“-Zelle** bietet die Möglichkeit zur Messung größerer Stecker und Komponenten, z.B. HV-Stecker und Assemblies für Elektrofahrzeuge bis zu und über 3 GHz
- Weitere Informationen: www.bda-c.com, Messtechnik
- Ansprechpartner für weitere Fragen: bernhard.mund@bda-c.com

Danke fürs Zuhören



???



www.bedea.com
bmund@bedea.com

EMV von Kabeln, Steckern und Komponenten mit dem Triaxialverfahren



Internationale Normen für Triaxialverfahren,

TS 62153-4-1	Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements	2014-01	published
62153-4-3Ed2	Surface transfer impedance - Triaxial method	2013-10	published
62153-4-4Ed2	Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz	2015-04	published
62153-4-7Ed2	Shielded screening attenuation test method for measuring the Transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_s or the coupling attenuation a_c of RF-Connectors and assemblies up to and above 3 GHz, Tube in tube method	2015-12	published
62153-4-9Ed2	Electromagnetic Compatibility (EMC) – Coupling attenuation, triaxial method	2018-04	published
62153-4-10Ed2	Shielded screening attenuation test method for measuring the Screening Effectiveness of Feedtroughs and Electromagnetic Gaskets	2015-11	published
62153-4-15 (Ed2)	Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation - or coupling attenuation with Triaxial Cell	2015-12	46/712/CD
62153-4-16	Relationship between surface transfer impedance and screening attenuation, Conversion a_s and Z_T	2016-10	published

Literatur

- [01] Lauri Halme, Balint Szentkuti, The background for electromagnetic screening measurements of cylindrical screens. Tech. Rep. PTT(1988) No. 3.
- [02] O. Breitenbach, T. Hähner, B. Mund, "Screening of cables in the MHz to GHz frequency range extended application of a simple measuring method", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452
- [03] Christof Merz, Untersuchung des Einflusses verschiedener Störfaktoren bei der Messung der Schirmdämpfung mit Hilfe des Triaxialen Messverfahrens, Praktikumsbericht, WS 1995/1996, bedea/FH Gießen-Friedberg
- [05] Thomas Hähner, Bernhard Mund: EMV-Verhalten symmetrischer Kabel – EMC Journal 4/1997
- [05] Thomas Hähner, Bernhard Mund: Test methods for screening and balance of communication cables; Proceedings of EMC Zurich, 1999, pp. 533-538
- [06] Thomas Hähner, Bernhard Mund: Background, content and future of the EMC measurement standard prEN 50289-1-6, Open/shielded test methods, International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2000
- [07] Thomas Hähner und Bernhard Mund: Measurement of the screening effectiveness of connectors & cable assemblies: International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2002
- [08] Bernhard Mund: Measuring the EMC on RF-connectors and connecting hardware, Tube in Tube test procedure, Proc. of the 53th IWCS Conference, Philadelphia, PA, USA, Nov. 2004
- [09] Bernhard Mund: EMC of Cables & Connectors & Test methods, EMC Zurich 2007

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 39

Literatur

- [11] Lauri Halme, Bernhard Mund et. al, Measurement of the Shielding or Screening Effectiveness of Feed-throughs and Electromagnetic Gaskets up to and above 4 GHz, IWCS (International wire and cable symposium) 2007.
- [12] Bernhard Mund, Thomas Schmid: EMC of HV cables and components with Triaxial Cell, Wire & Cable Technology International, January & March 2012
- [13] Lauri Halme & Bernhard Mund, EMC of Cables, Connectors and Components with Triaxial Test set-up, IWCS, 62th International Wire & Cable Symposium, Charlotte, Nov. 2013
- [14] Thomas Hähner, Bernhard Mund, "Balunless" Measurement of Coupling Attenuation of Balanced Cables & Components, Wire & Cable Technology international 07-2013.
- [15] Ralf Damm, Bernhard Mund, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Messung der EMV von Steckern und Kabeln mit dem Triaxialverfahren, 8. Anwenderkongress Steckverbinder 2014, Vogel Verlag, Würzburg
- [16] B. Mund & C. Pfeiler, " Balunless measurement of coupling attenuation of screened balanced cables up to 2 GHz", Proceedings of the 64th IWCS Conference, Atlanta, US, October 2015
- [17] Ralf Damm, Bernhard Mund et. al., Higher Order Mode Suppression in Triaxial Cells, Proceedings of the 65th IWCS Conference, Providence, RI, USA, Oct. 2016
- [18] T. Hähner, B. Mund, T. Schmid, History and recent trends of Triaxial test procedure, Proceedings of the 67th IWCS Conference, Providence, RI, USA, Oct. 2018
- [19] IEC TS 62153-4-1:2014, Introduction to electromagnetic screening measurements

Fachtagung „Leitfähige Kunststoffe für EMV Anwendungen“ am 25.09.2019 im Kunststoffinstitut Lüdenscheid
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, bernhard.mund@bda-c.com 40