

## **EMV von Steckverbindern mit Triaxialer Absorberzelle bis 3 GHz**

### **Erweiterung des Frequenzbereiches zur Messung der Schirmdämpfung über 3 GHz mit Triaxialer Absorberzelle**

Ralf Damm & Bernhard Mund, bedea Berkenhoff & Drebes GmbH,  
Herborner Straße 100, 35614 Aßlar, [rdamm@bedea.com](mailto:rdamm@bedea.com); [bmund@bedea.com](mailto:bmund@bedea.com)

Thomas Schmid, Rosenberger HF-Technik,  
Hauptstraße 1, 83413 Fridolfing, [Thomas.schmid@rosenberger.de](mailto:Thomas.schmid@rosenberger.de)

## **1 Zusammenfassung und Einleitung**

Das Triaxialverfahren nach IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4 zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung wurde ursprünglich für Kommunikationskabel und dazugehörige Stecker und Anschluss-Schnüre im Bereich bis max. 10 mm Durchmesser entwickelt.

Inzwischen wird auch die Messung der EMV von größeren Steckern und Komponenten gefordert, z.B. für HV-Stecker von Elektrofahrzeugen. Für die Messung der Schirmwirkung von größeren Steckern und Komponenten bietet sich die Triaxiale Zelle nach IEC 62153-4-15 an.

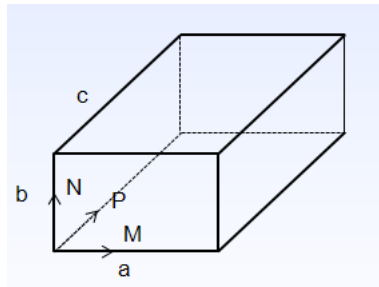
Bei hohen Frequenzen wird die Triaxiale Zelle im Prinzip allerdings zu einem Hohlraumresonator bzw. zu einem Rechteckhohlleiter, der bei bestimmten Frequenzen in Abhängigkeit von den mechanischen Abmessungen der Zelle Resonanzen aufweist. Im Bereich dieser Resonanzfrequenzen ist die Ausbreitung von TEM-Wellen gestört; Messungen der Schirmdämpfung nach IEC 62153-4-15 sind nur bedingt möglich.

Höhere Moden bzw. Resonanzfrequenzen können durch leitfähige Materialien wie Ferrite, nanokristalline Absorber oder Schaumabsorber, die auf dem Boden der Zelle positioniert werden, wirkungsvoll unterdrückt werden. Mit solchen Absorbern kann der Frequenzbereich für Messungen der Schirmdämpfung in der Zelle bis zu und über 3 GHz erweitert werden.

Der folgende Bericht beschreibt die Erweiterung des Frequenzbereiches zur Messungen der Schirmdämpfung größerer Stecker bis zu und über 3 GHz mit Absorberzellen. Messungen verschiedener Prüflinge mit und ohne Absorber werden gegenübergestellt. Der Einfluss des Wellenwiderstandes  $Z_2$  des Prüflings mit dem Außenraum sowie entsprechende Korrekturen des Messwertes werden diskutiert.

## **2 Höhere Moden**

Das Triaxialverfahren arbeitet im Bereich der Wellenausbreitung Transversal-Elektromagnetischer Wellen (TEM-Wellen). Dieses Prinzip gilt auch für die Triaxiale Zelle. Bei hohen Frequenzen wird die Triaxiale Zelle im Prinzip allerdings zu einem Hohlraumresonator bzw. zu einem Rechteckhohlleiter; die Wellenausbreitung der TEM-Wellen wird dadurch gestört und Messungen der Schirmdämpfung sind nur noch eingeschränkt möglich.



**Bild 1 – Rechteckhohlleiter**

Die Grenzfrequenz  $f_c$  eines Rechteckhohlleiters nach Bild 1 ergibt sich zu:  $f_c = \frac{c_0}{2a}$

Die Resonanzfrequenzen  $f_{mnp}$  in der Zelle bzw. im Rechteckhohlleiter ergeben sich zu:

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

mit

$M, N, P$

sind die Zahlen der Moden, dabei steht M und N für das transversale und P für das longitudinale ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge (M,N,P = 1,2,3 dabei kann M oder N auf Null gesetzt werden).

$a, b, c$

sind die Abmessungen der Kavität; dabei sind a und b mit der transversalen Dimension und c mit der longitudinalen Dimension verknüpft.

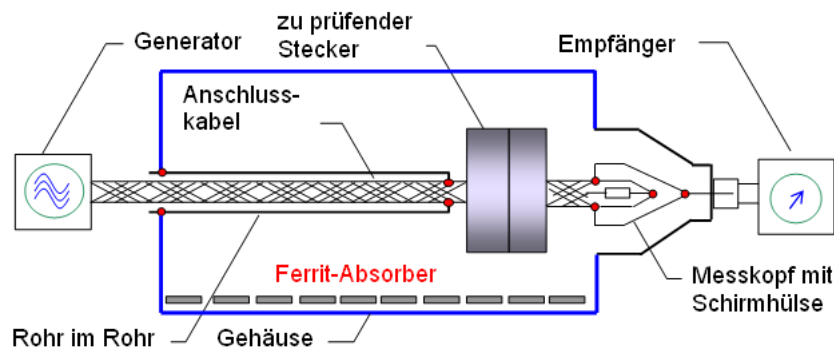
$c_0$

ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im freien Raum.

Die Grenzfrequenz  $f_c$  beträgt 500 MHz für die Zelle 1000/300/300 und 1 GHz für die Zelle 1000/150/150. Dagegen liegt die Grenzfrequenz für das Triaxiale Messrohr mit 40 mm Innendurchmesser mit einem RG 214 als Prüfling bei ca. 4,5 GHz.

### 3 Triaxiale Absorber-Zelle

Die Triaxiale Absorberzelle nach Bild 2 hat die gleichen Funktionsprinzipien wie die Triaxiale Zelle nach IEC 62153-4-15. Zur Unterdrückung höherer Moden bzw. von Resonanzen wird der Boden der Zelle mit Absorbermaterial ausgelegt. Höhere Moden bzw. Resonanzen sollen damit um mindestens 6 dB gegenüber den TEM-Wellen bedämpft werden.



**Bild 2 – Triaxiale Zelle nach IEC 62153-4-15 mit Rohr im Rohr und Ferritkacheln**

Bild 3 zeigt die Messung der Schirmdämpfung eines RG 214 im Messrohr mit 40 mm Innendurchmesser nach IEC 62153-4-4. Die Kurve der Messung im Rohr zeigt den charakteristischen Verlauf, mit den Reflexionen durch den Kurzschluss am sendernahen Ende. Als Wert für die Schirmdämpfung gilt nach IEC 62153-4-4 die Hüllkurve bzw. die Maximalwerte.

## 4 Messungen

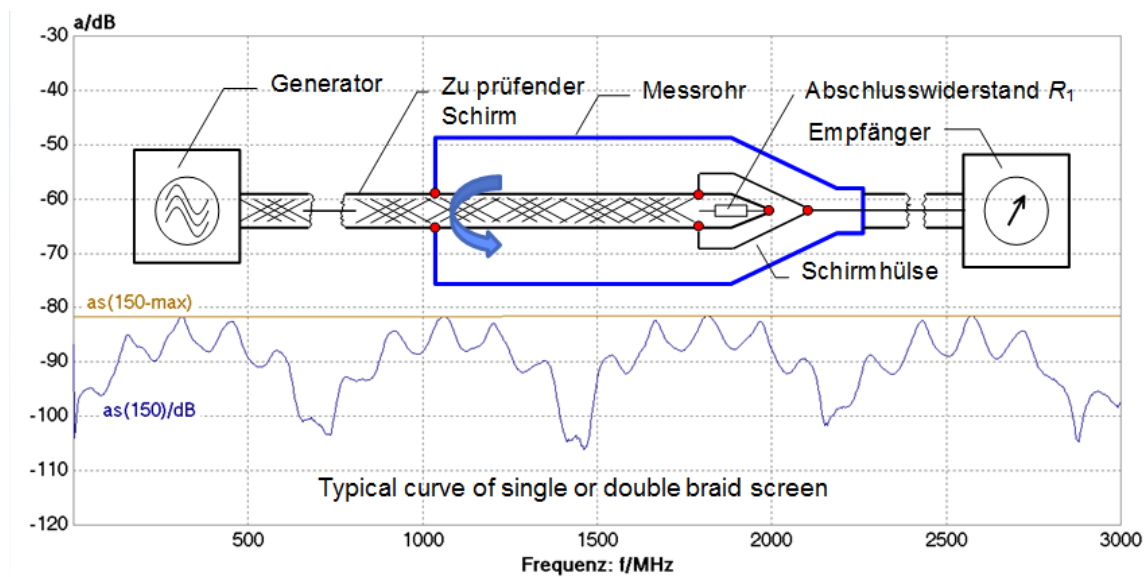


Bild 3 – Schirmdämpfung eines RG 214 im Messrohr nach IEC 62153-4-4

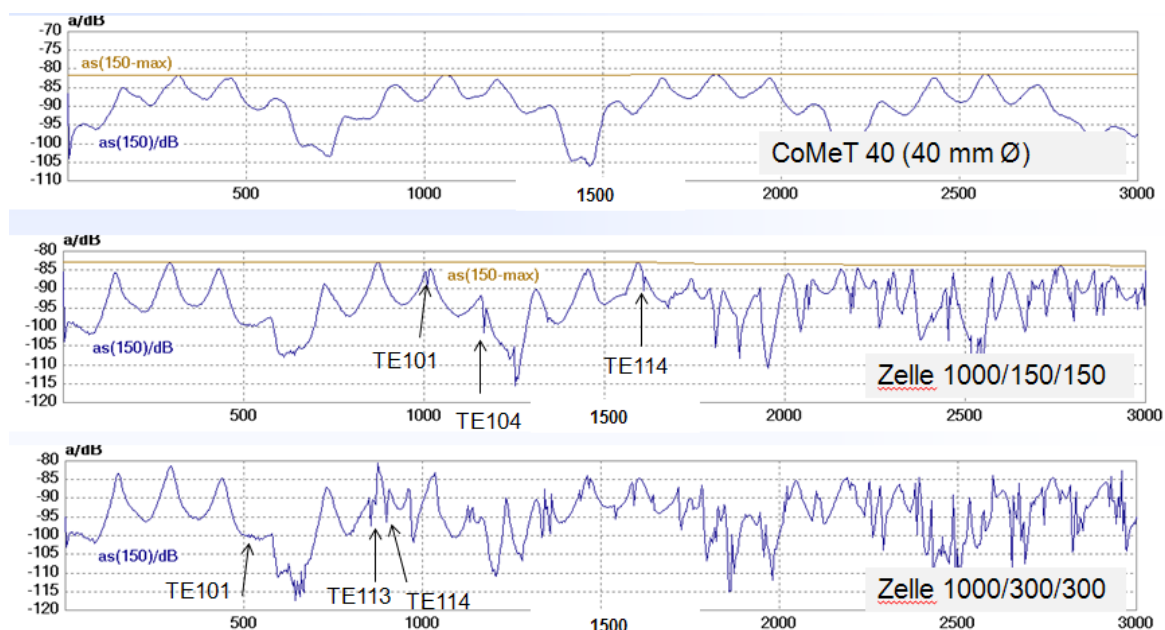
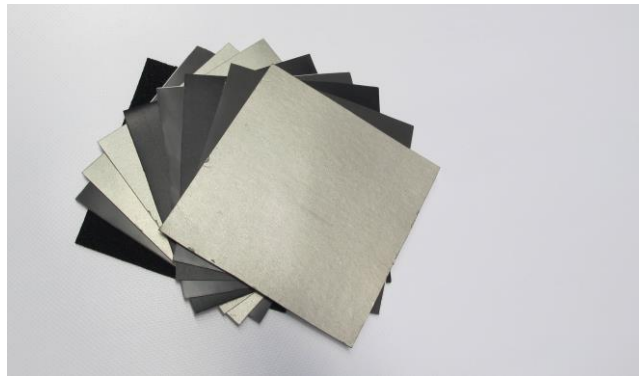


Bild 4 – Vergleich der Messung der Schirmdämpfung eines RG 214 im Messrohr und in verschiedenen Triaxialen Zellen ohne Absorber

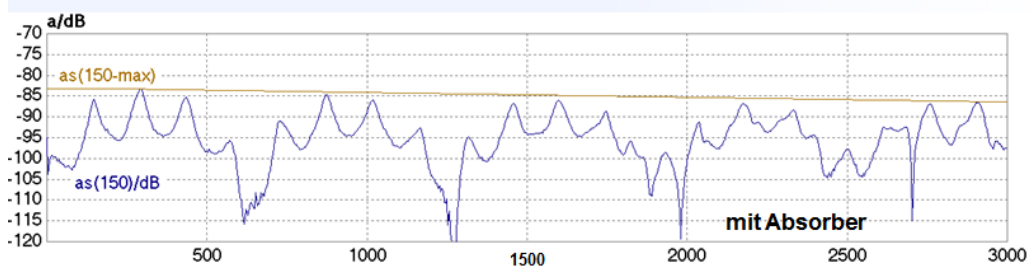
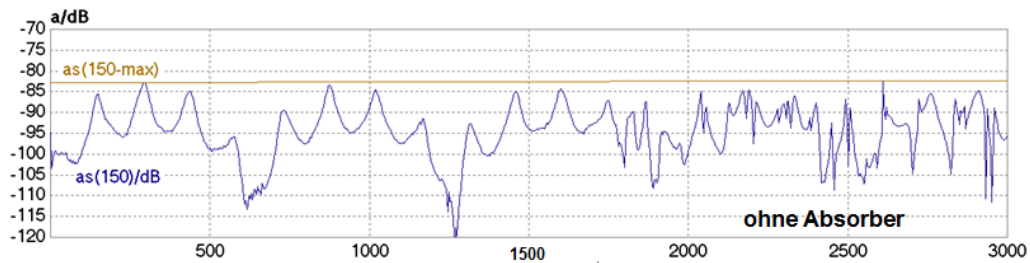
In Bild 4 sind Messungen der Schirmdämpfung eines RG 214 im Messrohr mit 40 mm Innendurchmesser und in Triaxialer Zelle 1000/150/150 und in Triaxialer Zelle 1000/300/300 jeweils ohne Absorbermaterialien zusammengestellt. Während die Kurve der Messung im Rohr den charakteristischen Verlauf zeigt, sind bei den Messungen in den Zellen zahlreiche Resonanzen zu erkennen.

Durch das Einbringen von geeignetem Absorbermaterial können höhere Moden in der Triaxialen Zelle bedämpft werden. Wegen der guten mechanischen Eigenschaften sind magnetische Absorber für diese Anwendung gut geeignet. In Bild 5 sind verschiedene magnetische Absorber dargestellt.

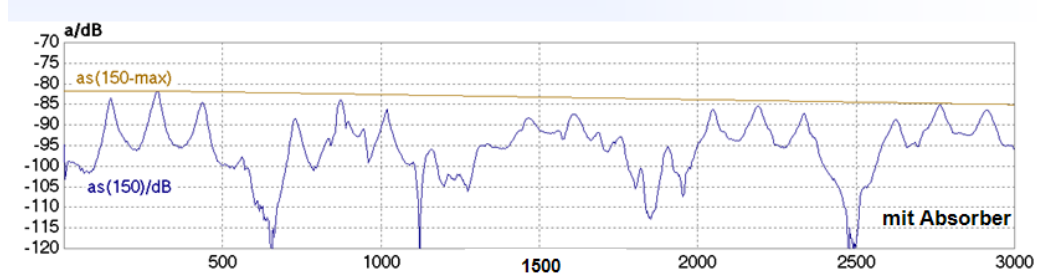
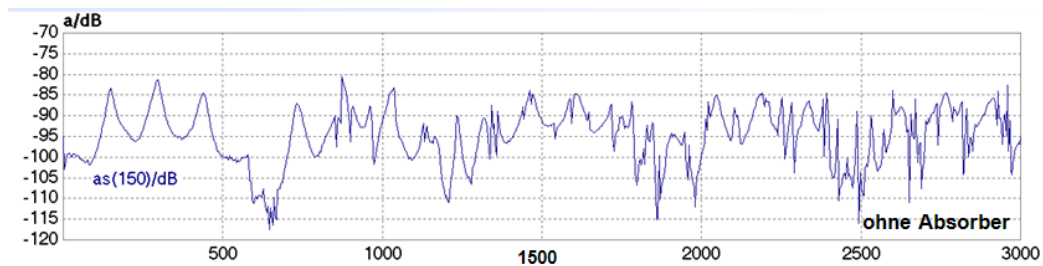
Als magnetische Absorber werden z.B. Elastomere Träger bezeichnet, in die magnetische Werkstoffe eingearbeitet sind.



**Bild 5 – Verschiedene magnetische Absorber**

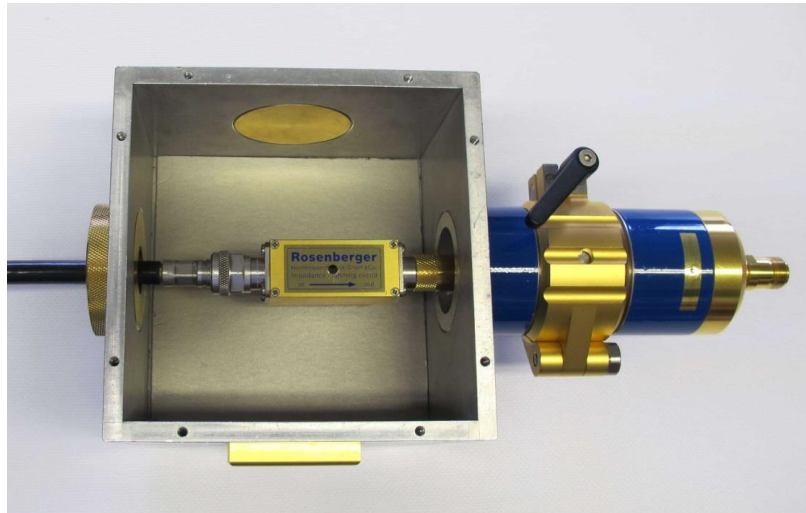


**Bild 6 – Schirmdämpfung eines RG 214 in Triaxialer Zelle 1000/150/150 ohne und mit Absorber**

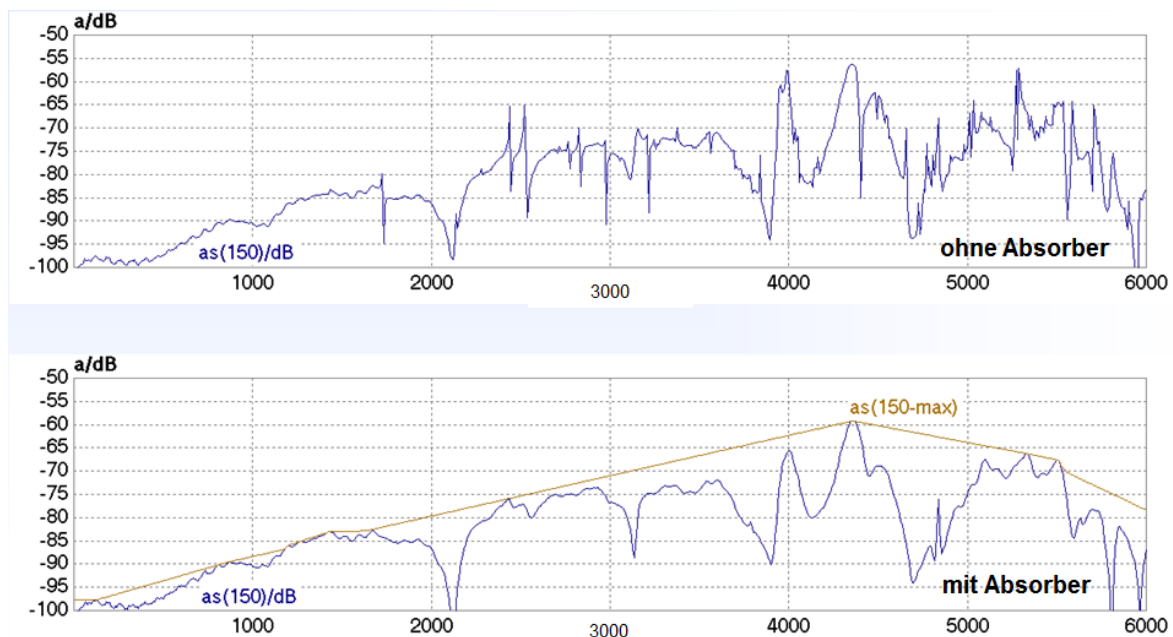


**Bild 7 – Schirmdämpfung eines RG 214 in Triaxialer Zelle 1000/300/300 ohne und mit Absorber**

Die Bilder 6 und 7 zeigen die Messung eines RG 214 in den Triaxialen Zellen 1000/150/150 und 1000/300/300 jeweils ohne und mit Absorber. Bei den Messungen mit Absorbern werden die Resonanzen bzw. höhere Moden wirksam unterdrückt. Allerdings wirken sich die Absorber auch leicht dämpfend auf das Nutzsignal (TEM-Welle) aus. So sind die max.-Werte bei 3 GHz bei den Messungen mit Absorbern um ca. 3 dB abgesenkt.



**Bild 8 –Triaxiale Zelle 140/140/100 mit Gehäuse mit Bohrung und mit magnetischem Absorber**



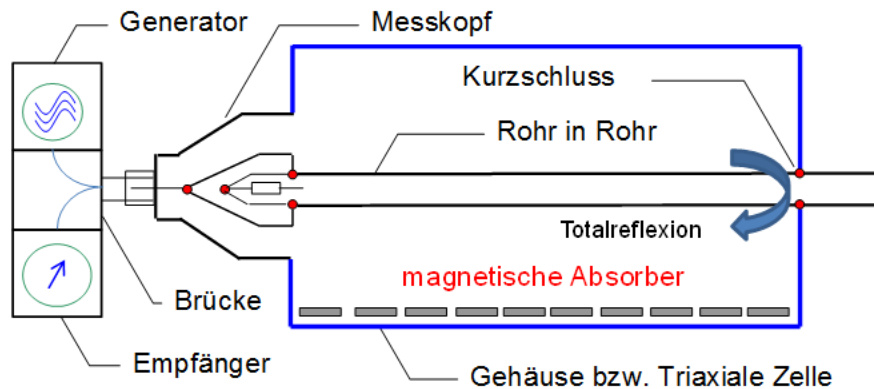
**Bild 9 – Triaxiale Zelle 140/140/100 mit Gehäuse mit und ohne Absorber**

Bild 9 zeigt die Messung einer Box mit Bohrung als Prüfling in Triaxialer Zelle 140/140/100 bis 6 GHz mit und ohne Absorber. Signifikante Resonanzen bei ca. 1800 MHz, im Bereich von 2400 MHz usw. werden mit magnetischen Absorbern ebenfalls wirkungsvoll bedämpft. Auch hier ist eine Absenkung des Nutzsignals bei 3 GHz um ca. 3 dB erkennbar.

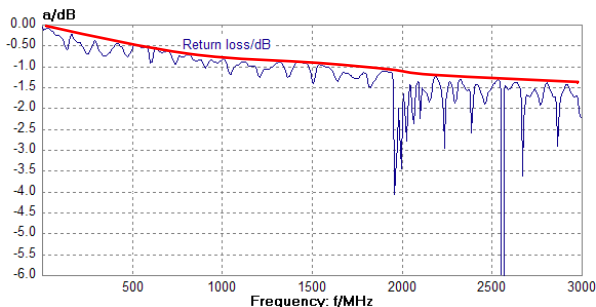
## 5 Ermittlung der Korrekturwerte

Durch die Messung der Dämpfung der Transmission der Zelle mit durchgehendem Rohr in Rohr ohne Prüfling kann der Einfluss bzw. die Dämpfung der Absorber auf das Nutzsignal (TEM-Welle) in der Zelle ermittelt werden. Dazu ist allerdings ein zweiter Messkopf erforderlich, der in der Standardausstattung der Triaxialen Zelle nicht zur Verfügung steht.

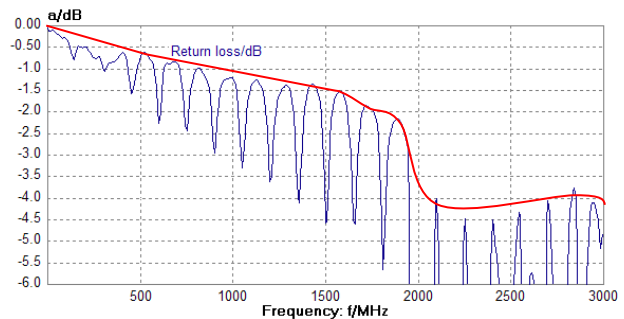
Eine Alternative besteht in der Messung der Rückflusssdämpfung in der Zelle mit und ohne Absorber. Die Differenz der max.-Werte bzw. der Hüllkurven ergibt die Einfügungsdämpfung der Absorber. Der Messwert der Messung der Schirmdämpfung mit Absorber kann um diesen Wert korrigiert werden.



**Bild 10 – Messen der Rückflusssdämpfung zur Ermittlung der Korrekturwerte**



**Bild 11a – Rückflusssdämpfung der Zelle 1000/150/150 ohne Absorber**

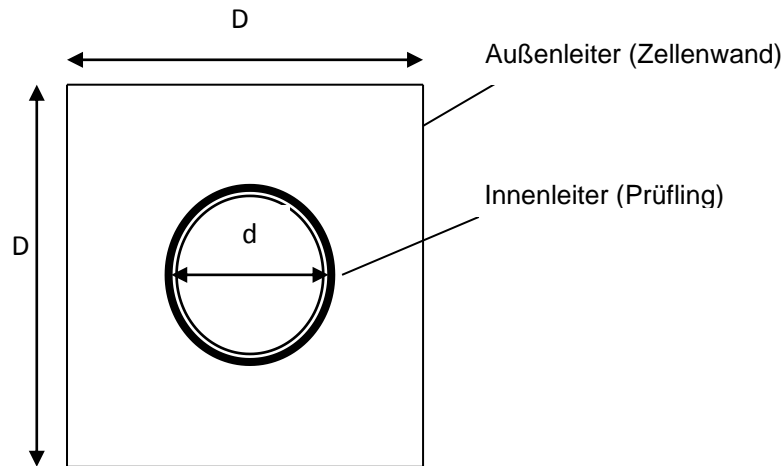


**Bild 11b – Rückflusssdämpfung der Zelle 1000/150/150 mit Absorber**

Die Messung der Rückflusssdämpfung der Zelle 1000/150/150 mit Absorber weist bei 3 GHz einen Wert von ca. 3 - 4 dB auf (Hüllkurve bzw. max.-Werte). Dieser Wert entspricht etwa der Abweichung der Messung mit und ohne Absorber der Bilder 6, 7 und 9 und kann als Korrekturwert für die Messung in der Zelle mit Absorber genommen werden.

## 6 Einfluss des Wellenwiderstandes $Z_2$ des Prüflings mit dem Außenraum

Der Prüfling in der Zelle bildet mit den Außenwänden der Zelle den Wellenwiderstand  $Z_2$ . Nach IEC 62153-4-1 und IEC 62153-4-4 sind Messungen der Schirmdämpfung nur gültig, wenn der Wellenwiderstand  $Z_2$  des äußeren Systems größer oder gleich dem Eingangswiderstand  $Z_1$  des Empfängers ist, üblicherweise 50 Ohm. Bei kleinerem  $Z_2$  ergeben sich Messfehler, die korrigiert werden müssen.



**Bild 12 – Zellenquerschnitt zur Ermittlung des Wellenwiderstand  $Z_2$  im Außenraum**

Eine Abschätzung des Wellenwiderstandes des Prüflings mit dem Außenraum der Zelle  $Z_2$  (Bild 12) erfolgt nach der Gleichung:

$$Z_2 (\Omega) = \frac{60(\Omega)}{\sqrt{\epsilon_{r,2}}} \cdot 1,27 \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

Der Korrekturfaktor (Näherung für den Fall eines homogenen Prüflings), falls  $Z_2 < Z_1$  des Empfängers ist ergibt sich zu:

$$a_{s,corr} = -20 \cdot \log\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)$$

Eine ausführlichere Darstellung über den Einfluss des Wellenwiderstandes  $Z_2$  des Prüflings im Außenraum befindet sich zurzeit bei IEC TC 46/WG 5 in Bearbeitung.

## 8 Literatur:

- [1] IEC 62153-4-15, Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel - Teil 4-15: Elektromagnetisches Verhalten (EMV) - Prüfverfahren zur Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung oder Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle
- [2] Ismar Lucicanin, David Pouhè, et. al. - Higher Order Mode Suppression in Triaxial Cells, Proceedings of the 65nd IWCS Conference, Providence, RI, USA, pp 133 – 139, October 2016
- [3] Bernhard Mund & Thomas Schmid - Verschiebbare Kurzschlusssebene, Elektronik automotive, Sonderausgabe Bordnetz 2014  
Ralf Damm, Bernhard Mund & Thomas Schmid - Messung der Schirmwirkung von Steckern und von konfektionierten Kabeln, 9. Anwenderkongress Steckverbinder 2015, Vogel Verlag, Würzburg
- [4] Bernhard Mund & Thomas Schmid - Measuring EMC of HV cables & components with the "Triaxial Cell", Wire & Cable Technology International January/March 2012
- [5] Bernhard Mund, Thomas Schmid: Schirmwirkung von HV-Leitungen mit der Triaxialen Zelle, 5. Anwenderkongress Steckverbinder 2011, Vogel Verlag, Würzburg