

EMV von SPE-Steckern und Anschlusskabeln – Simulation und Messung

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH

Dipl.-Ing. Ralf Damm, Dipl.-Ing. Bernhard Mund, bda connectivity GmbH

Dipl.-Ing. Ralf Tillmanns, Weidmüller GmbH & Co KG.

Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel Verlag, Würzburg, 03. - 05. Juni 2024

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

1

- Einleitung
 - ◆ Normen
 - ◆ Triaxiaverfahren
- Simulation und Analyse
 - ◆ Motivation, Vorgehensweise
 - ◆ Quantitative und qualitative Analyse
- Vergleich von Simulation und Messung
 - ◆ Kopplungsdämpfung und Unsymmetrie bei UTP Kabel
 - ◆ Anwendung auf doppelt geschirmtes STP Kabel mit hoher Schirmwirkung
- Zusammenfassung und Ausblick

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

2

Normen SPE-Steckverbinder und -Kabel

Norm	Beschreibung
IEC 61156-11	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 11: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 1,25 GHz - Horizontal floor wiring - Sectional specification
IEC 61156-12	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 12: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 600 MHz - Work area wiring - Sectional specification
IEC 61156-13	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 13: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 20 MHz - Horizontal floor wiring - Sectional specification
IEC 61156-14	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 14: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 20 MHz – Work area wiring - Sectional specification
IEC 63171 series	Connectors for electrical and electronic equipment – Shielded or unshielded free and fixed connectors for balanced single- pair data transmission with current carrying capacity – General requirements and tests

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

3

Motivation zur Simulation

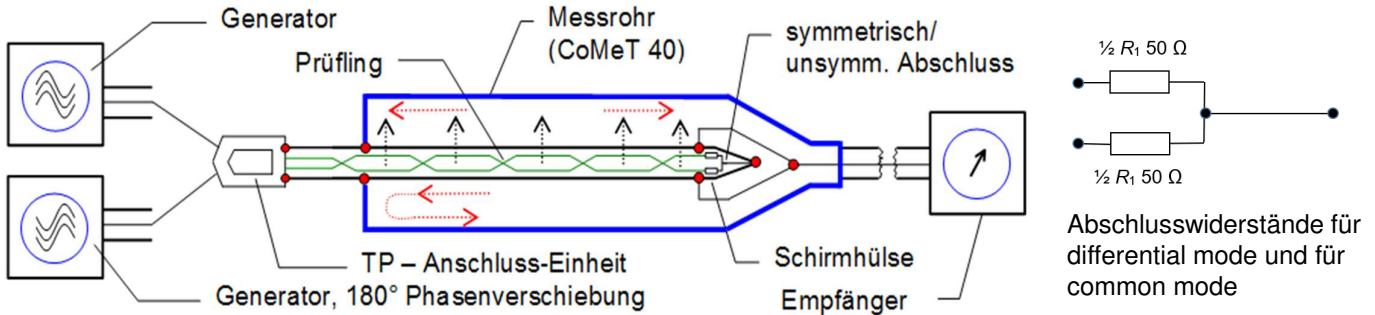
- Realistische Darstellung quantitativer Ergebnisse zur Beurteilung ob ein Entwurf den Anforderungen (Normen) entspricht:
 - ◆ Schirmdämpfung a_s
 - ◆ Kopplungsdämpfung a_c
 - ◆ Kopplungswiderstand Z_T
- Als Input zur Produktentwicklung dient die Visualisierung von:
 - ◆ Störstellen
 - ◆ Regionen mit ungenügender Schirmung

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

4

Kopplungsdämpfung– Prinzip, IEC 62153-4-9

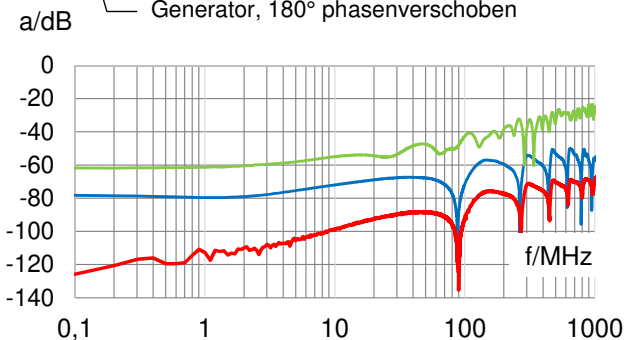
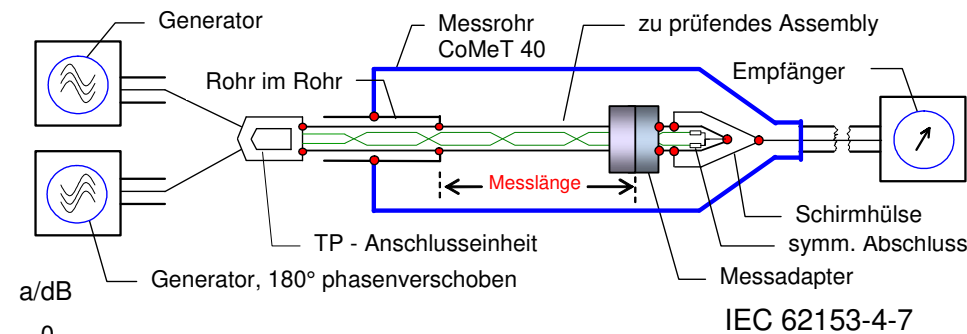
Die **Kopplungsdämpfung** symmetrischer SPE-Kabel ist die Überlagerung aus der **Unsymmetriedämpfung** des Paares und der **Schirmdämpfung** des Schirmes (bzw. der Schirme)



Das symmetrische Paar wird über zwei um 180° phasenverschobene Generatoren mit einem differentiellen 100 Ω Signal gespeist (**virtueller Balun**). Energie koppelt zunächst aus dem "differential mode" in den "common mode" (**Modenkonversion**) und dann aus dem "common mode" in das Meßrohr (den Außenkreis). Durch den Kurzschluss am sendernahen Ende läuft die gesamte, in den Außenkreis gekoppelte Energie zum Empfänger.

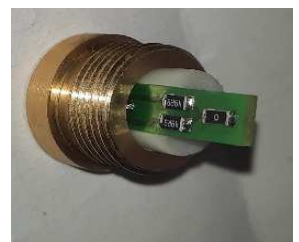
thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

Kopplungsdämpfung von Steckern & Assemblies



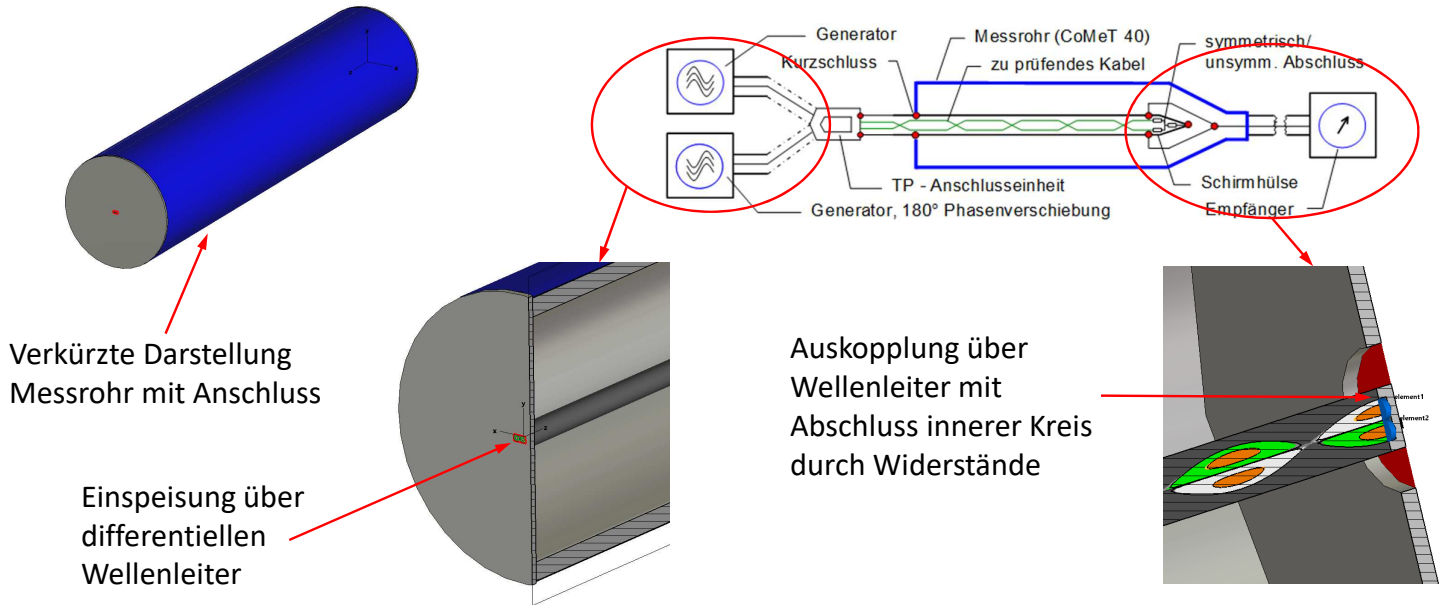
- Unsymmetriedämpfung (TCL)
- Schirmdämpfung a_s
- Kopplungs-dämpfung a_c

typische Messkurve eines geschirmten SPE-Assemblies



thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

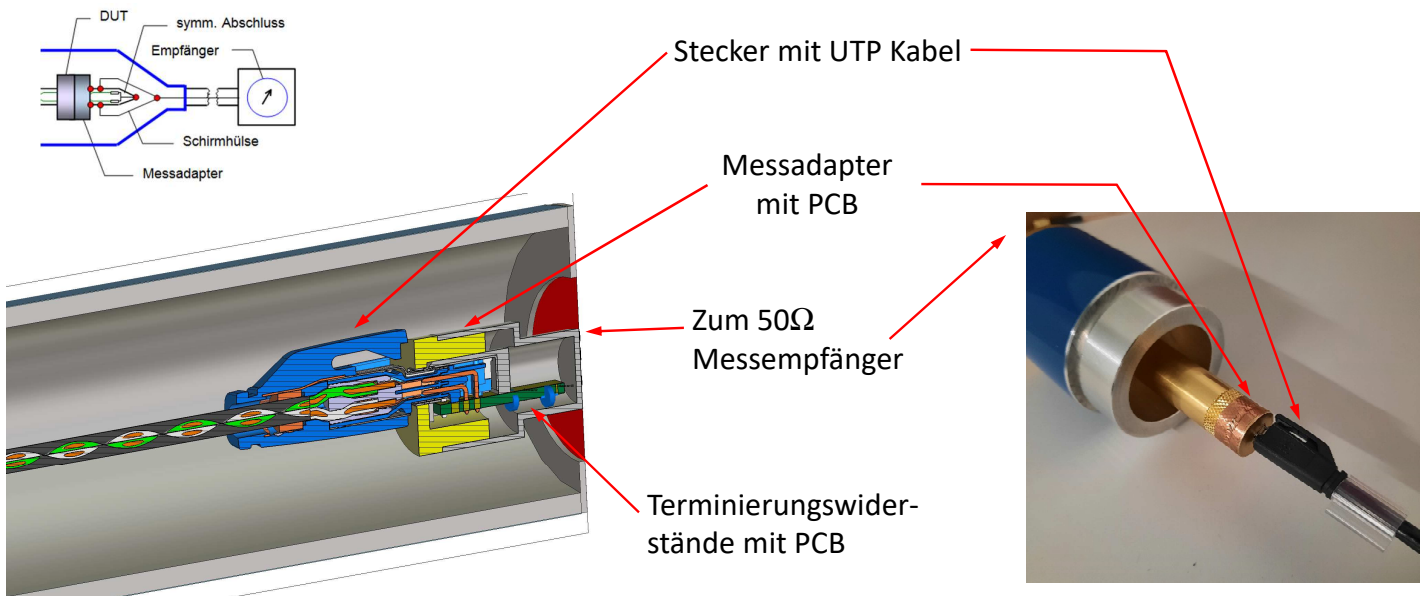
Nachbildung Triaxiale Messanordnung in Simulation



Auskopplung über Wellenleiter mit Abschluss innerer Kreis durch Widerstände

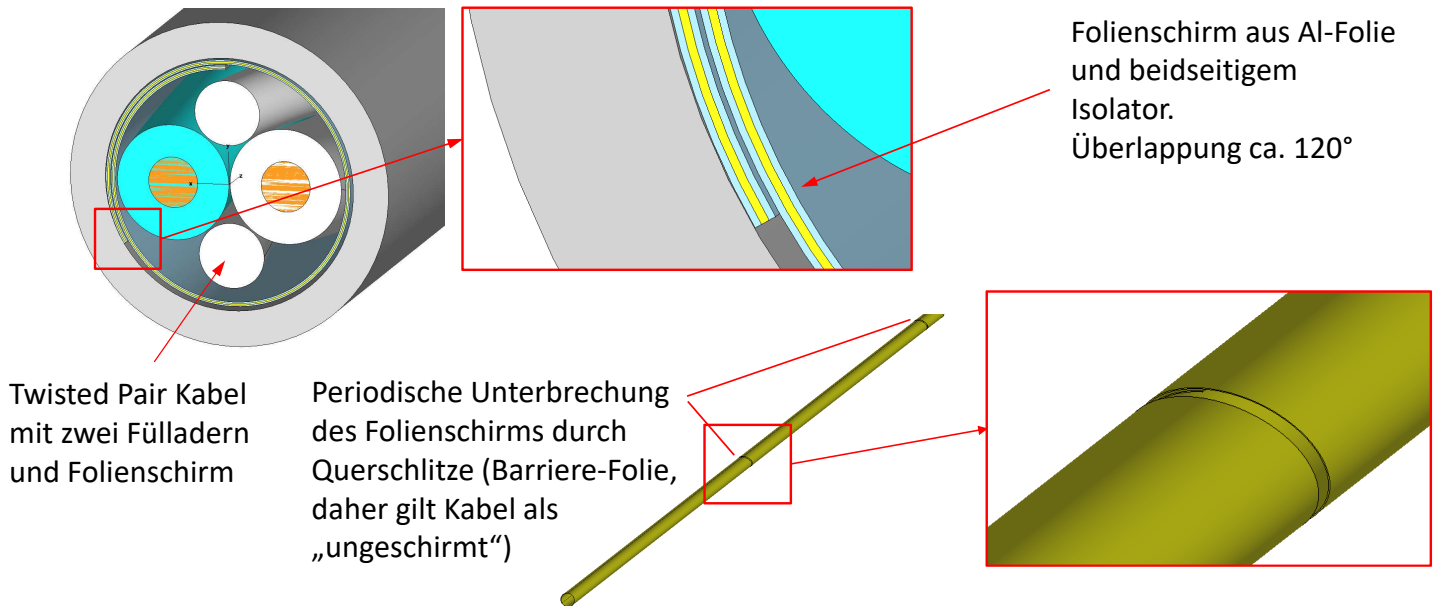
thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

Nachbildung Messung eines Steckers



thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

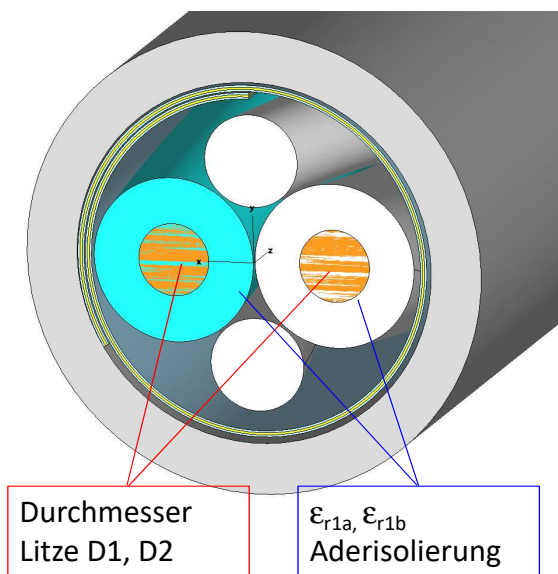
Aufbau ungeschirmtes Kabel (UTP)



thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

9

Worst Case Simulation



Variation der Kabeleigenschaften durch zwei Parameter:

- Durchmesser der Litzen D1, D2: $\pm 1.4\%$ aus Variation ohmscher Widerstand ($\pm 2\%$)
- Dielektrische Konstante des Kabelmantels $\epsilon_{r1a}, \epsilon_{r1b}$ ± 0.05 aus Schätzung

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

10

Berechnungen

- Transverse Conversion Loss (TCL) als Maß für die Symmetrie des Kabelaufbaus.

$$TCL = S_{cd11}$$

- Kopplungsdämpfung a_c , die durch Umrechnung der S-Parameter S_{sd21} berechnet wird:

$$a_c = -S_{sd21} + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{2 \cdot Z_S}{Z_0} \right|$$

$$a_c = -S_{sd21} + 7.78 \text{ dB}$$

mit:

S_{sd21} logarithmischer Wert (in dB) des Vorwärts-Streuparameters für die Übertragung. Der Prüfling wurde im Differential-Mode angeregt, die übertragene Leistung wird im Single-Ended-Mode empfangen.

Z_S normierter Wert Wellenwiderstand der Umgebung des Kabels, $Z_S = 150 \Omega$

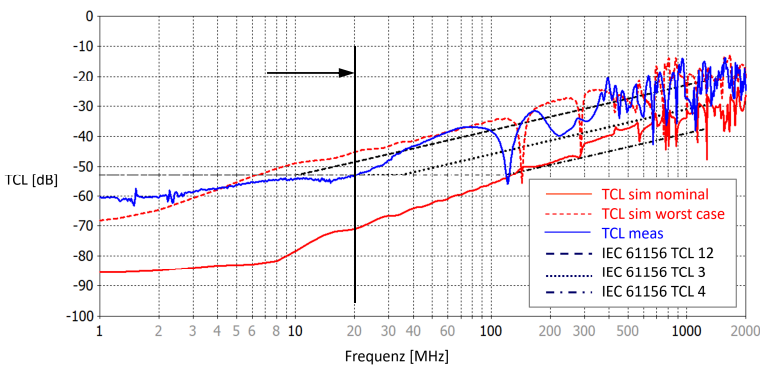
Z_0 Systemimpedanz, $Z_0 = 50 \Omega$

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

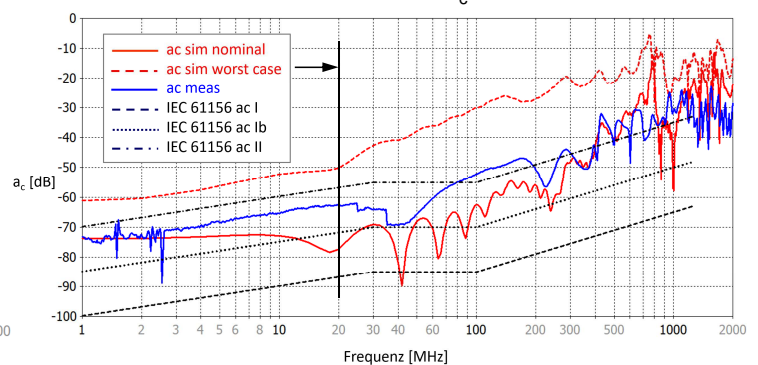
11

Vergleich Messung – Simulation TCL und a_c

IEC 61156 TCL



IEC 61156 a_c

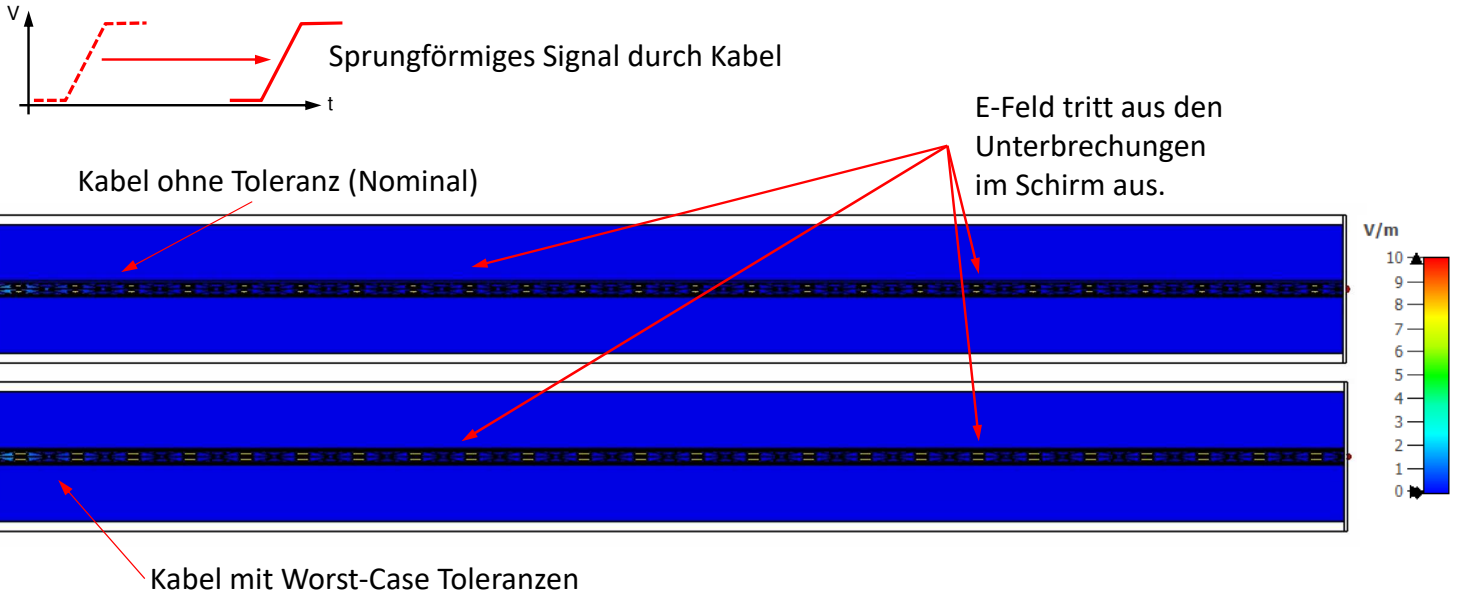


- TCL und a_c sind nur im Bereich bis 20 MHz unter den Grenzwerten der Kabelklasse mit den geringsten Anforderungen → Kabel geeignet für IEC61156-13/14 bis 20MHz
- Messkurven liegen zwischen den simulierten Werten mit den idealen Nominalparametern und den Worst-Case-Parametern.

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

12

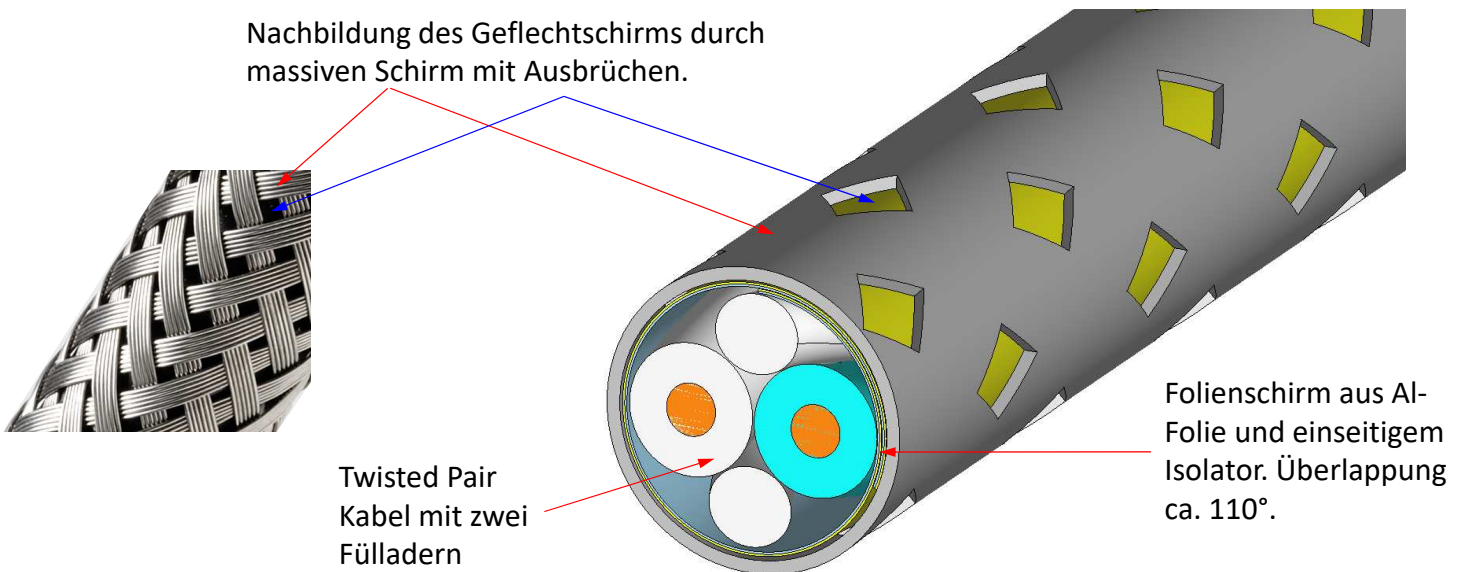
Ausbreitung einer Störung im Kabel und Abstrahlung



thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

13

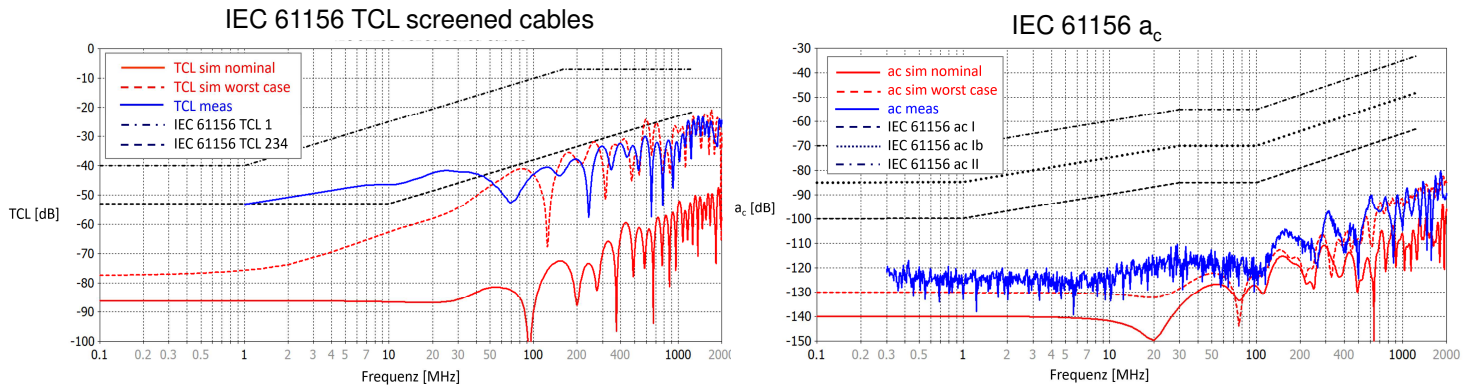
Zweifach geschirmtes STP Kabel



thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

14

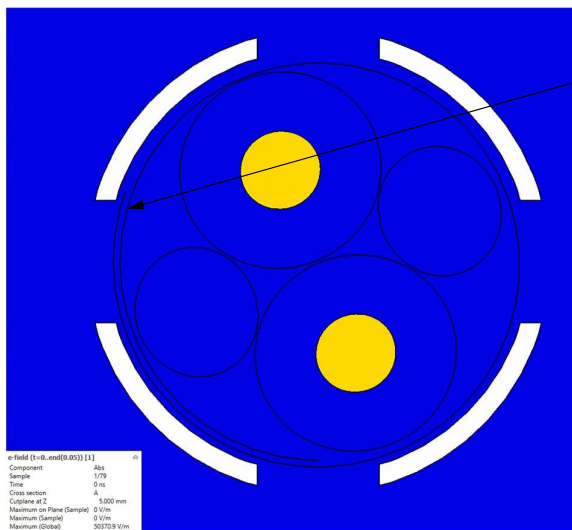
Vergleich Messung – Simulation a_c



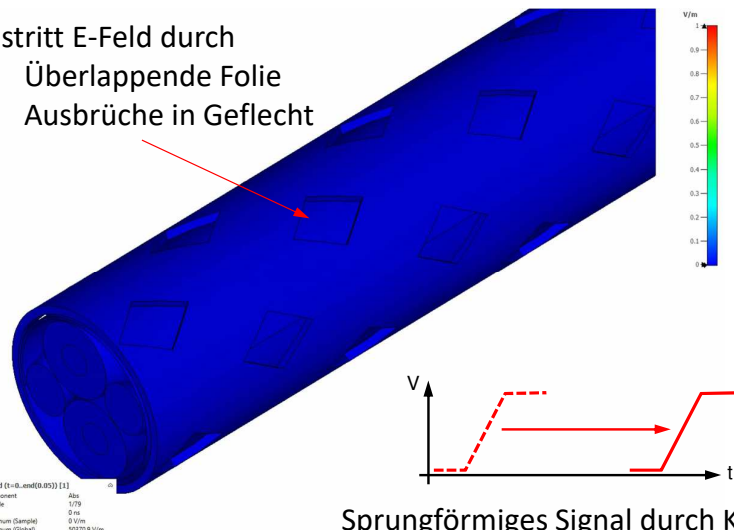
- Gute Übereinstimmung Messung – Worst Case Simulation für TCL und a_c .
- Simulationemethode mit Nachbildung des dünnen Folienschirms und der Approximation des Geflechschirms erlaubt eine gute Vorhersage des Abstrahlverhaltens einer Kabelkonstruktion.

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

Ausbreitung Störung im Kabel und Abstrahlung



- Austritt E-Feld durch
1. Überlappende Folie
 2. Ausbrüche in Geflecht



Sprungförmiges Signal durch Kabel

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

Zusammenfassung

- Identische Vorgehensweise (Triaxialverfahren) für Simulation und Messung:
 - ◆ Simulation der genormten Anordnung erzeugt realistische EMV-Kennwerte zum Vergleich mit den gegebenen Limits.
 - ◆ Visualisierung von Störstellen und Regionen schlechter Schirmung → Input für Design
 - ◆ Kostengünstiger und effektiver Entwurfsprozess
- Kabel mit sehr guten Schirmeigenschaften können durch eine 3D Simulation mit hoher Genauigkeit nachgebildet werden
- Bereits vor dem Vorhandensein von Mustern können Aussagen über die Schirmeigenschaften getroffen werden können.

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

17

Literatur und Normen

- [1] Thomas Gneiting & Bernhard Mund, Analysis, optimization, and verification of an HV connector, Proceedings of the IWCS 2021 Virtual Conference, October 2021
- [2] Ralf Damm, Bernhard Mund et al. EMC of SPE cables, connectors, and assemblies, 2022 IWCS Industry Forum, Providence, RI, USA, October 2022
- [3] R. Damm, D. Hess, B. Mund & R. Tillmanns, Coupling attenuation & Bursttest on balanced cables and cabling systems, Proc. of the 72nd IWCS Conference, Orlando, FL, USA, September 2023
- [4] CST Suite 2023 Help, Dassault Systèmes
- [5] C. Pfeiler, A. Waßmuth; Approach to Analysis and Solution for Alien Crosstalk Requirements of Unscreened Cables for Digital Communications, S. 128-134; Proc. Of the 55th IWCS, 2006
- [6] IEC 63171-n series – SPE connectors for balanced single-pair data transmission with current-carrying capacity
- [7] IEC 61156-12: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 1,25 GHz - Work area wiring - Sectional specification.
- [8] IEC 61156-14: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 1,25 GHz – Work area wiring - Sectional specification
- [9] IEC 62153-4-7, Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation or coupling attenuation on connectors and cable assemblies

thomas.gneiting@admos.de, ralf.damm@bda-c.com, bernhard.mund@bda-c.com, ralf.tillmanns@weidmueller.com

18