

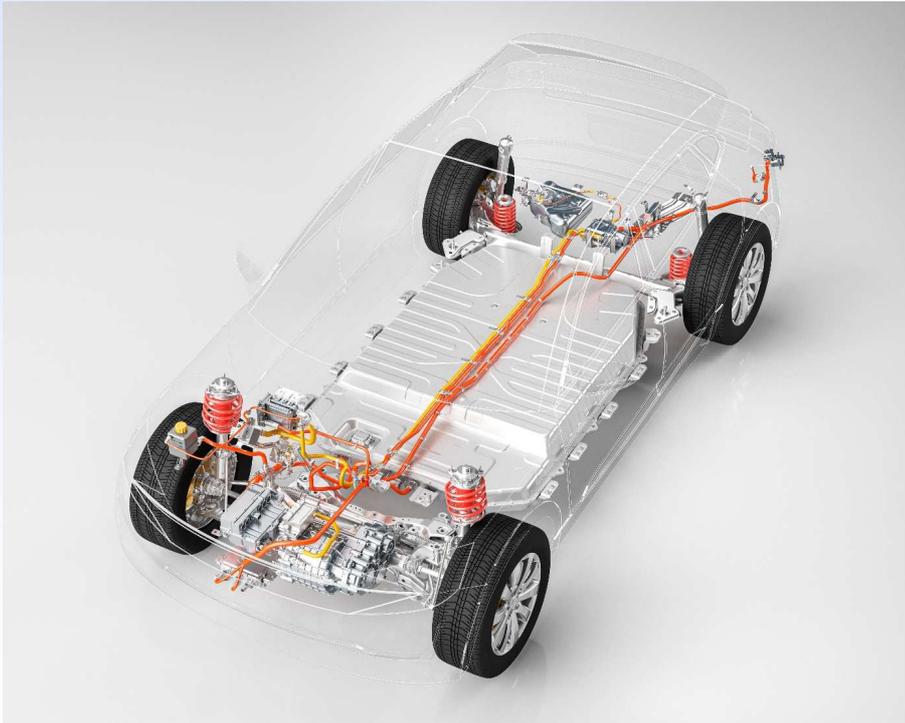
Analyse, Optimierung und Verifizierung eines HV-Steckers

Dr. Thomas Gneiting
Dipl.-Ing. Bernhard Mund

Übersicht

- Einführung
 - ◆ Elektromagnetische Störung im Elektrofahrzeug
 - ◆ Anforderungen an Hochvolt-Verbindungselemente
 - ◆ EMV gerechtes Design
- Störfestigkeit
 - Normen, Messverfahren und Triaxiale Zelle
- Simulation und Analyse
 - ◆ Motivation, Vorgehensweise
 - ◆ Quantitative und qualitative Analyse
- Vergleich von Simulation und Messung
- Zusammenfassung und Ausblick

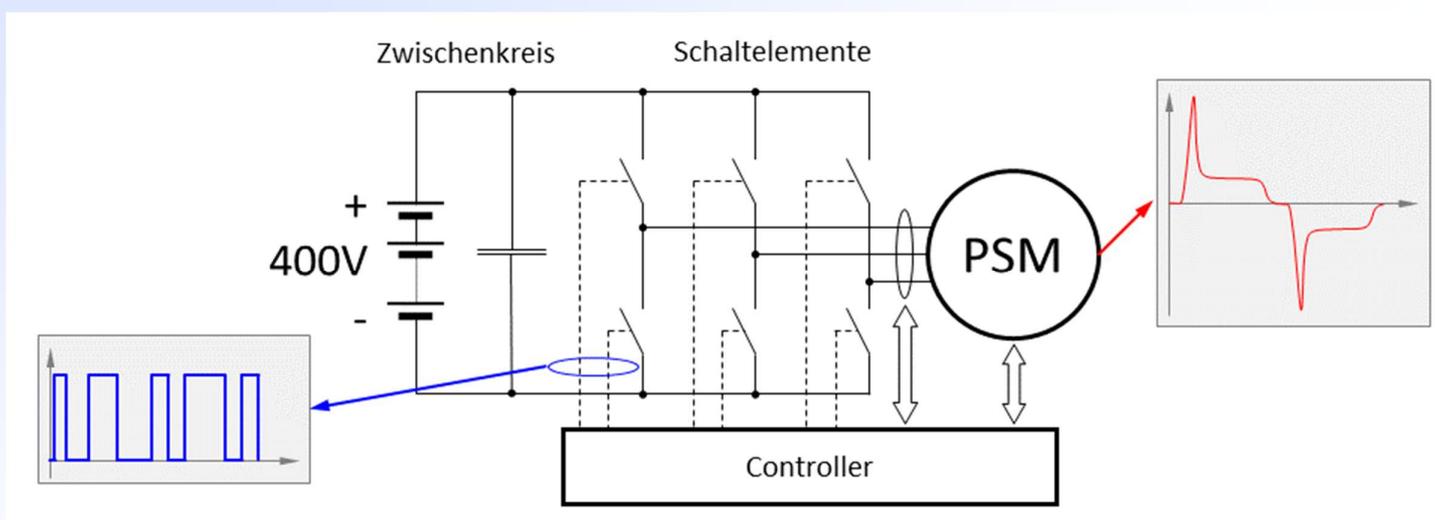
Verkabelung Hochvolt-Bordnetz



Hochvolt-Bordnetz im E-Mobil:

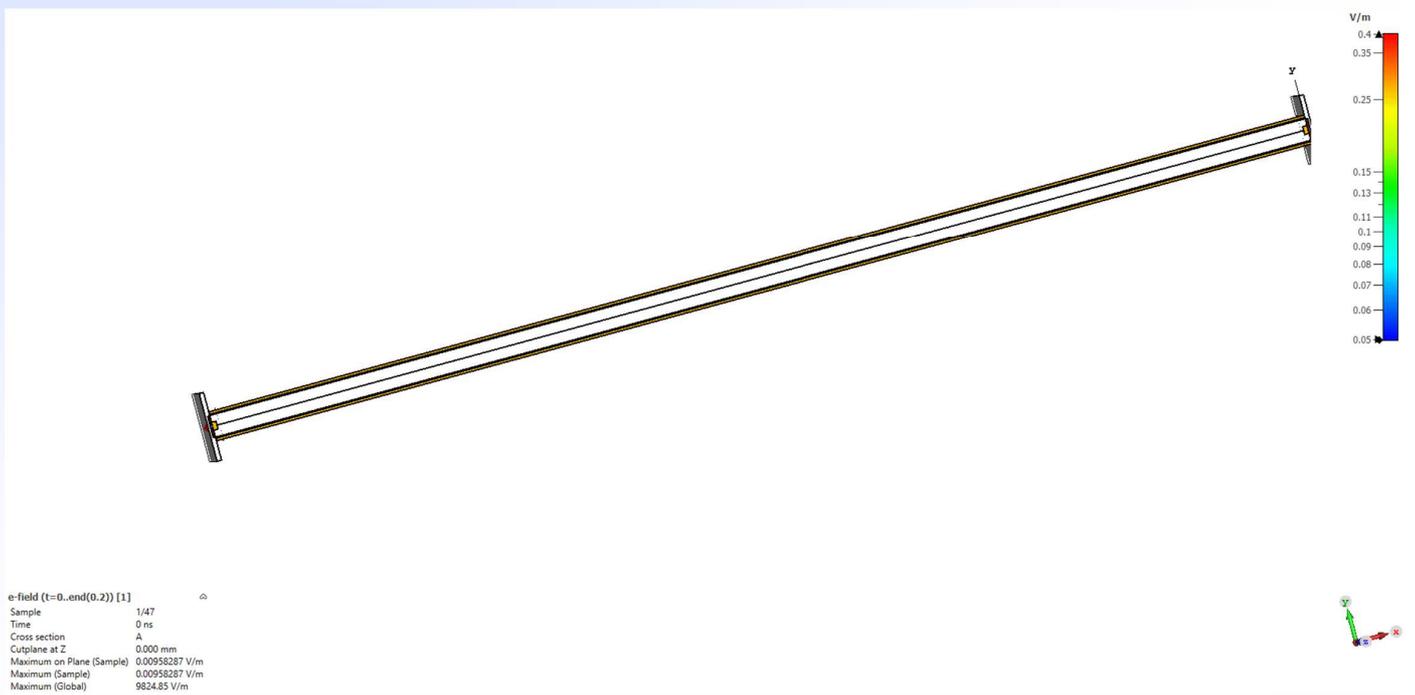
- Laden der Hochvolt-Batterie
- Ansteuerung des Antriebs
- Versorgung weiterer Nebenaggregate (Klimatisierungsautomatik, ..)

Schaltung mit Verlauf transientser Störung



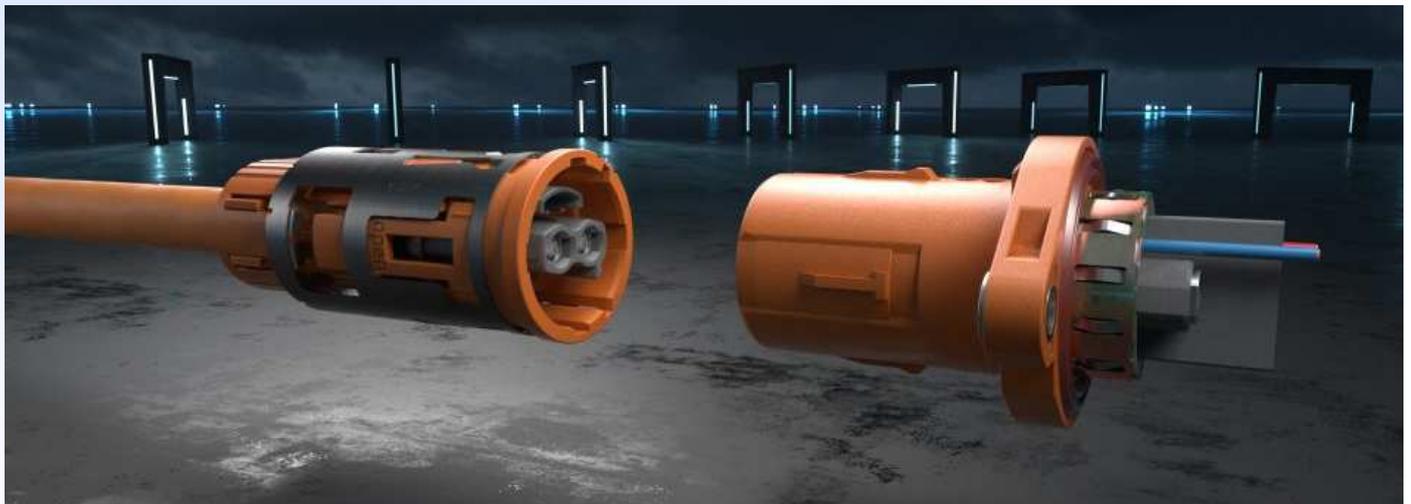
- Batterie ist Gleichspannungsquelle
- Schalten von Leistungselementen und induktiver Lasten kann starke transiente Störungen verursachen, Beispiel Permanent-Synchronmaschine (PSM)
- Hoher Wirkungsgrad erfordert kurze Schaltflanken → Spannungsänderung dV/dt wird groß und erzeugt mehr Störungen

Austritt Störsignal aus geschirmtem Kabel



Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

HV-Stecker PowerStar HPS40-2, Hirschmann Automotive



Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

Anforderungen an HV Stecker

- Volle Funktionalität bei Spannungen bis zu 1000 V
- Dauerstromtragfähigkeit: 280 A bei 23 °C bzw. 195 A bei 83 °C
- Temperaturbereich von - 40 °C bis +170 °C
- **geringe Emission bzw. hohe Störfestigkeit (auch nach Alterung)¹⁾**
 - ◆ Kopplungswiderstand: zwischen 2 mΩ und 10 mΩ
 - ◆ Schirmdämpfung: bis zu 50 dB bis 300 MHz
- geringes Gewicht
- preiswerte Gestaltung

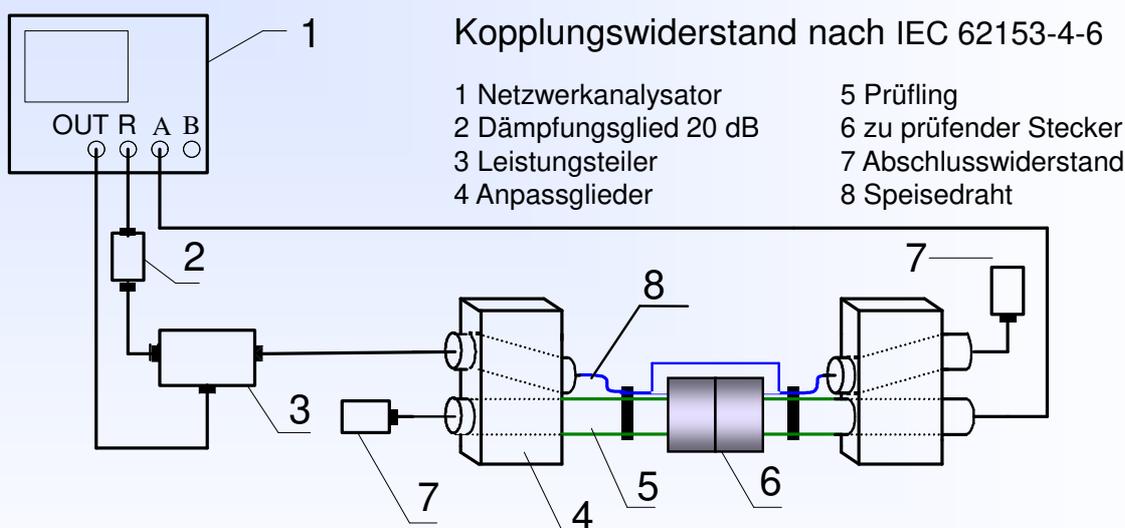
1) Hintergrund:

- Vermeidung technischer Probleme
- Schutz der Insassen

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Aslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

7

Speisedraht-Verfahren



Nachteile gg. Triaxialverfahren:

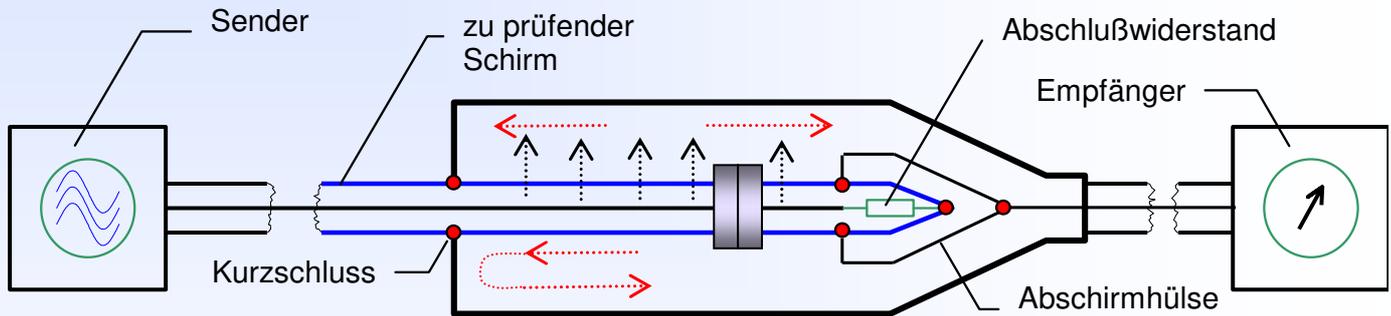
- Messung am nahen und am fernen Ende erforderlich
- Anpassung des Speisedrahtes kritisch, 20 dB gefordert
- Verändern des Speisedrahtes, um alle Problemstellen zu erfassen,
- Triaxialverfahren lässt sich einfacher simulieren.

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Aslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

8

Prinzip des Triaxial-Verfahrens

Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung DC bis 9 GHz in einem Aufbau



Der triaxiale Aufbau besteht aus:

- Prüfling in der Mitte der Röhre
- Generator und Empfänger (in VNA)
- Fernes Ende: Abschluss
- Nahes Ende: Kurzschluss

Prinzip:

- Durch Abschirmung koppelt Energie in Röhre
- Welle läuft in beide Richtungen.
- Kurzschluss am nahen Ende → Totalreflexion
- Gesamte Energie im äußeren System wandert zum Empfänger

IEC 62153-4-3Ed2 & /-4-4Ed2

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

Ermittlung Transferimpedanz Z_T und Schirmdämpfung a_s

Bei der Auswertung wird der Abschnitt „7 Test method B: Inner circuit with load resistor and outer circuit without damping resistor“ der IEC 62153-4-3 zugrunde gelegt. Damit ergibt sich für die Transferimpedanz:

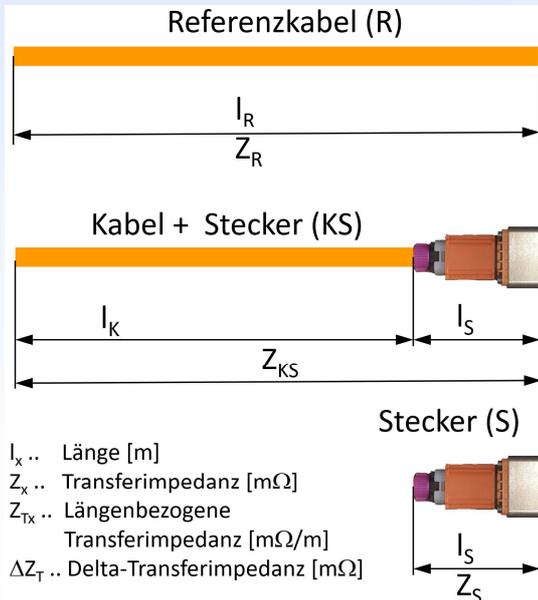
$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2 \cdot L_C} \cdot 10^{\left(-\frac{a_{meas} - a_{cal}}{20}\right)}$$

Z_T	Transferimpedanz [Ω/m]
Z_0	Systemimpedanz [Ω]
a_{meas}	Gemessene Dämpfung (S21) in dB
a_{cal}	Abziehender Wert der Dämpfung bei einer Kalibriermessung. Dies ist in der Simulation nicht notwendig und daher ist $a_{cal} = 0$.
L_C	Kopplungslänge [m]
R_1	Abschlusswiderstand im inneren Stromkreis (entweder gleich der Impedanz des inneren Stromkreises oder der Impedanz des Generators)
P_1	eingespeiste Leistung [W]
$P_{r,max}$	maximale abgestrahlte Leistung [W]

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

Delta - Transferimpedanz ΔZ_T

Die Delta-Transferimpedanz ist die Differenz zwischen der Transferimpedanz einer Leitung mit HV Stecker und dem Beitrag der Referenzleitung (Meterware).
Damit wird die Transferimpedanz beschrieben, die durch das HV Steckersystem verursacht wird.



$$Z_{TR} = \frac{Z_R}{l_R} \quad (1)$$

$$Z_{TKS} = \frac{Z_{KS}}{l_K + l_S} \quad (2)$$

$$\Delta Z_T = Z_{KS} - l_K \cdot Z_{TR} \quad (3)$$

ΔZ_T wird in den Vorschriften der Automobilindustrie in verschiedenen Varianten verwendet.

Simulation und Analyse

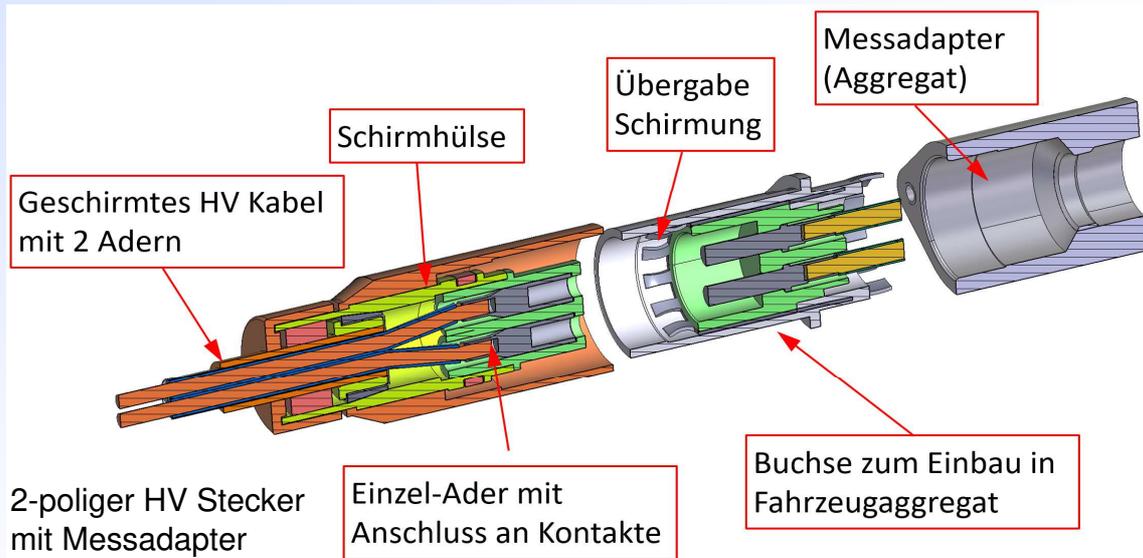
Motivation:

- realistische Darstellung quantitativer Ergebnisse wie Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung
- Visualisierung von Störstellen und Regionen, in denen die Schirmung nicht ausreichend ist →
- **zielgerichtete Verbesserung der Schirmeigenschaften durch Entwickler**

Vorgehensweise:

- Nachbildung in einem elektromagnetischen 3D Simulationsprogramm auf Basis der **modifizierten** CAD-Daten
- Oberflächenbeschichtungen, Oberflächenrauigkeiten etc. realistisch nachbilden

Prinzipielle Nachbildung eines HV Steckers und Einbau in Aggregat

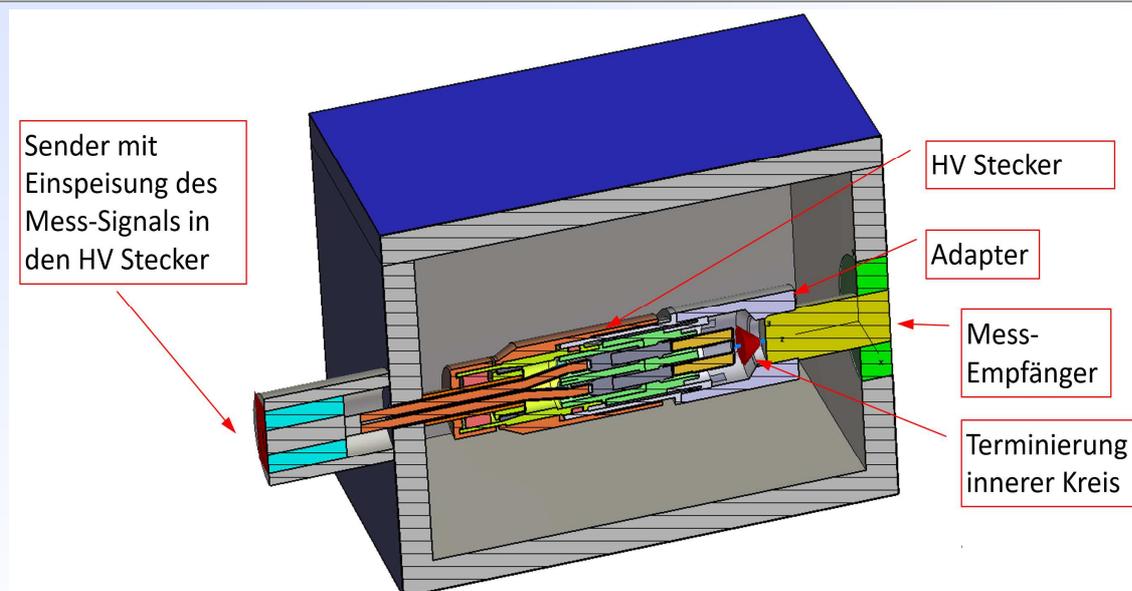


- Bei der Nachbildung des Steckers bilden die CAD Daten der Konstruktion die Grundlage
- komplexere Materialeigenschaften, wie z.B. komplexe Oberflächenbeschichtungen, Oberflächenrauigkeiten etc. lassen sich realistisch nachbilden.
- Der Aufbau der Simulation richtet sich nach dem gewählten Messverfahren (Triaxialverfahren)

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

13

Triaxiale Zelle mit HV Stecker



- Je nach gewähltem Verfahren erfolgt die Simulation im Zeitbereich, z.B. mit der Finite Integration Technique (FIT) Methode mit anschließender Transformation in den Frequenzbereich
- Gleich im Frequenzbereich durch Lösen des linearen Systems der Maxwell'schen Gleichungen durch einen iterativen oder direkten Lösungsalgorithmus für jeden betrachteten Frequenzpunkt [6].

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

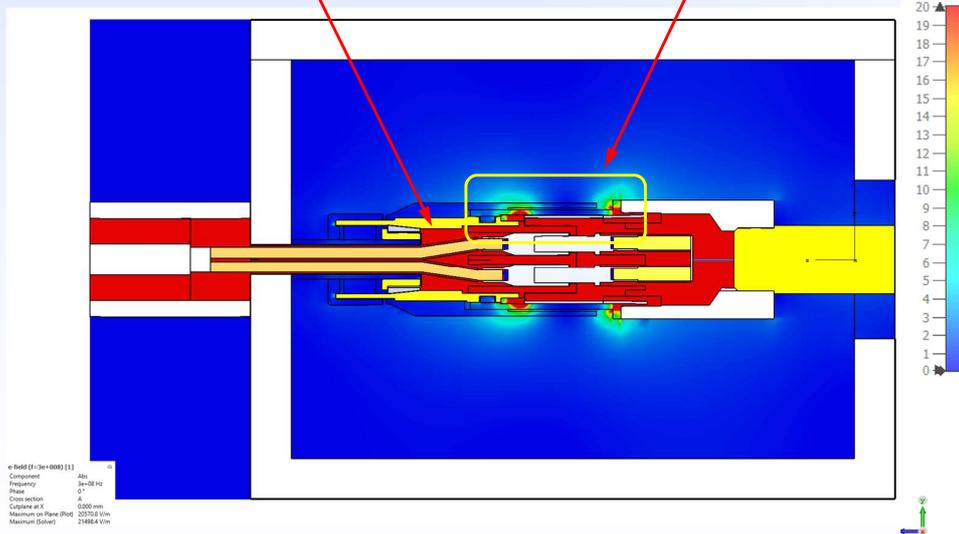
14

Analyse der Schwachpunkte eines HV Steckers durch ausgetretene E-Felder

Maximalwert des Betrags des E-Feldes in einer Zeitbereichssimulation

Starkes E-Feld innerhalb der Schirmung

Felder treten aus der Schirmung aus

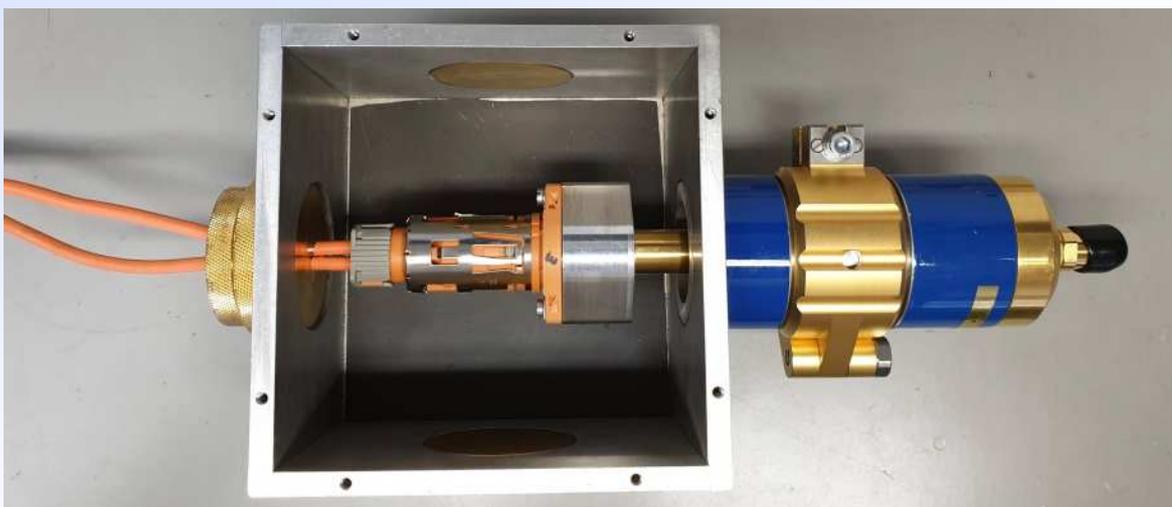


- Die maximale Feldstärke beträgt ca. 20kV/m. Zur Visualisierung der Schirmeffekte im Bereich von ca. 60 dB wurde die maximale anzuzeigende Feldstärke um den Faktor 60dB = 1000 auf 20V/m beschränkt.
- Erst in dieser Darstellung sind die Stellen an denen die Felder aus dem Steckverbinder austreten gut zu erkennen

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

15

Gerader (180°) HV-Stecker in triaxialer Zelle (140 mm)



- Gemessen wird in diesem Aufbau die Schirmwirkung des Steckers ohne Einfluss des Kabels.
- Die Kopplungswiderstände des kurzen Stückes Anschlusskabel sowie die Kopplungswiderstände von Messadapter und Anschluss-Hülse können vernachlässigt werden.

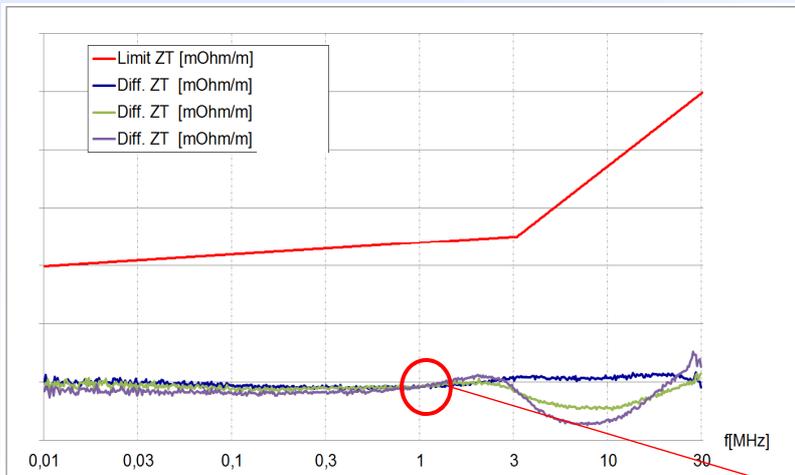
Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

16

Vergleich Messung und Simulation - Transferimpedanz

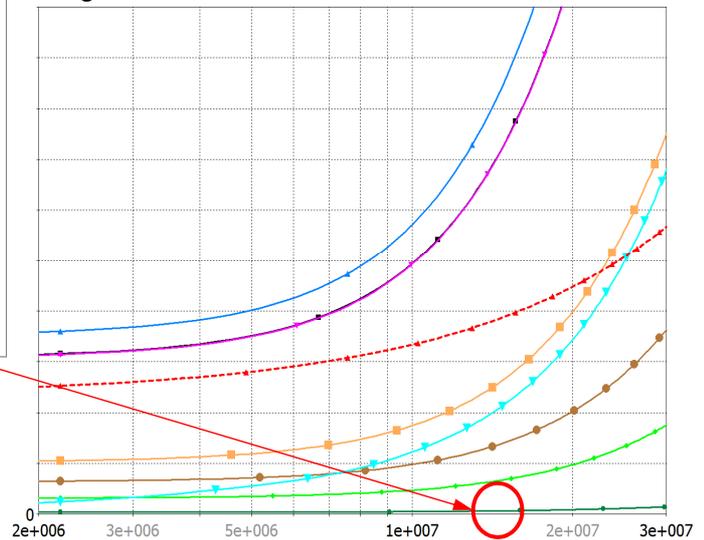
Messung 3 Serienteile

Delta-Transferimpedanz [$m\Omega/m$]



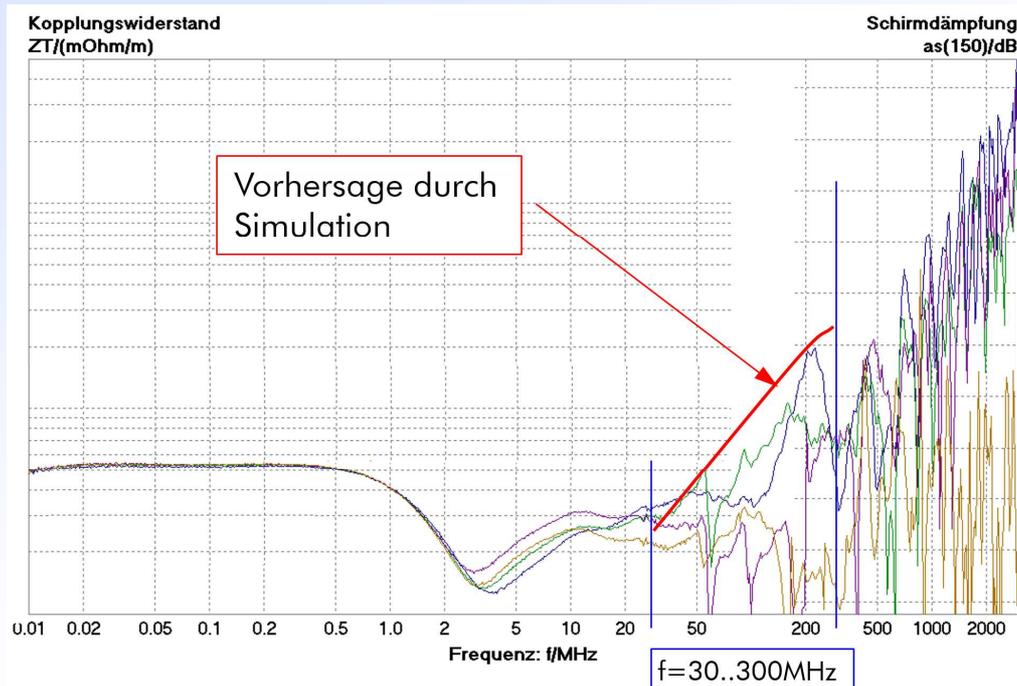
Die gemessene Transferimpedanz der 3 Serienteile liegt wie die Simulation des finalen Zustandes weit unter den erforderlichen Grenzwerten !

Simulation Design-Iterationen mit fortlaufender Verbesserung der Ergebnisse



Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

Vergleich Messung und Simulation



- Die Vorhersage zeigt die Schirmwirkung im Bereich von 30 MHz bis 300 MHz mit guter Korrelation zu den gemessenen Kurven.
- Nach IEC 62153-4-3 und IEC 62153-4-4 ist dies der Bereich des Übergangs zwischen Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung.

Vorhersage und Messung zeigen gute Übereinstimmung

Dr. Thomas Gneiting, AdMOS GmbH, Frickenhausen, Deutschland, thomas.gneiting@admos.de, <https://admos.de/>
 Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, Asslar, Deutschland, bernhard.mund@bda-c.com, <https://bda-connectivity.com/>

Zusammenfassung

- An HV-Stecker werden hohe EMV-Anforderungen gestellt, z.B. ein **Kopplungswiderstand** 2 mΩ bis 10mΩ und **Schirmdämpfung** von ca. 50 dB
- **EMV gerechtes Design** von HV-Steckern muss von Beginn der Entwicklung an integriert werden
- Dies geschieht Zeit- und kostengünstig durch geeignete **3D elektromagnetische Simulationen**
- Simulation und die Verifizierung/Messung des EMV-Verhaltens am fertigen Stecker sollte mit derselben Methode, d.h. vorzugsweise mit dem **Triaxialverfahren** durchgeführt werden.
- Für die Messung größerer HV-Stecker eignet sich die **Triaxiale Zelle**.
- **Vorhersage** durch die Simulation und die Verifizierung mit dem Triaxialverfahren zeigen **gute Übereinstimmung**
- Aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach HV-Steckverbindern erwarten wir, dass diese Methode in zukünftigen Anwendungen weiter verbreitet wird.

Literatur & Normen

- [1] IEC 62153-4-3, Surface transfer impedance - Triaxial method
- [2] IEC 62153-4-4, Test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz, triaxial method
- [3] IEC 62153-4-6, Surface transfer impedance, line injection method
- [4] IEC 62153-4-7, 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, Triaxial tube in tube method
- [5] IEC 62153-4-15, Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation or coupling attenuation with triaxial cell
- [6] Lauri Halme & Bernhard Mund, Messen der Schirmwirkung elektrischer Kabel, Anwenderforum Elektrische Kabel, Technische Akademie Esslingen [TAE], 15. Oktober 2013
- [7] Ralf Damm, Bernhard Mund et. al., Higher Order Mode Suppression in Triaxial Cells, Proceedings of the 65th IWCS Conference, Providence, RI, USA, Oct. 2016
- [8] Thomas Hähner, Bernhard Mund, & Thomas Schmid, History and recent trends of Triaxial test procedure, Proceedings of the 67th IWCS Conference, Providence, RI, US, October 2018
- [9] CST Suite 2021 Help, Dassault Systemes
- [10] Triaxiale Messtechnik CoMeT auf <https://bda-connectivity.com/comet/>
- [11] Hirschmann Automotive, <https://www.hirschmann-automotive.com>