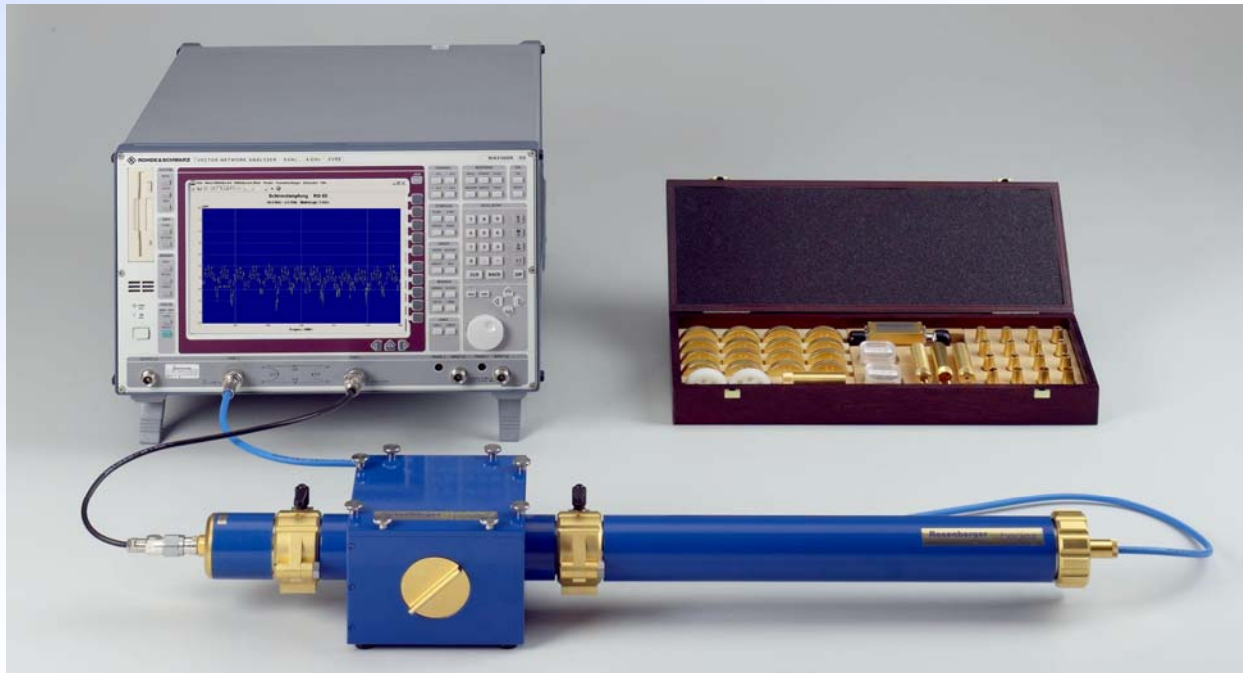


EMV von HV-Leitungen mit der Triaxialen Zelle

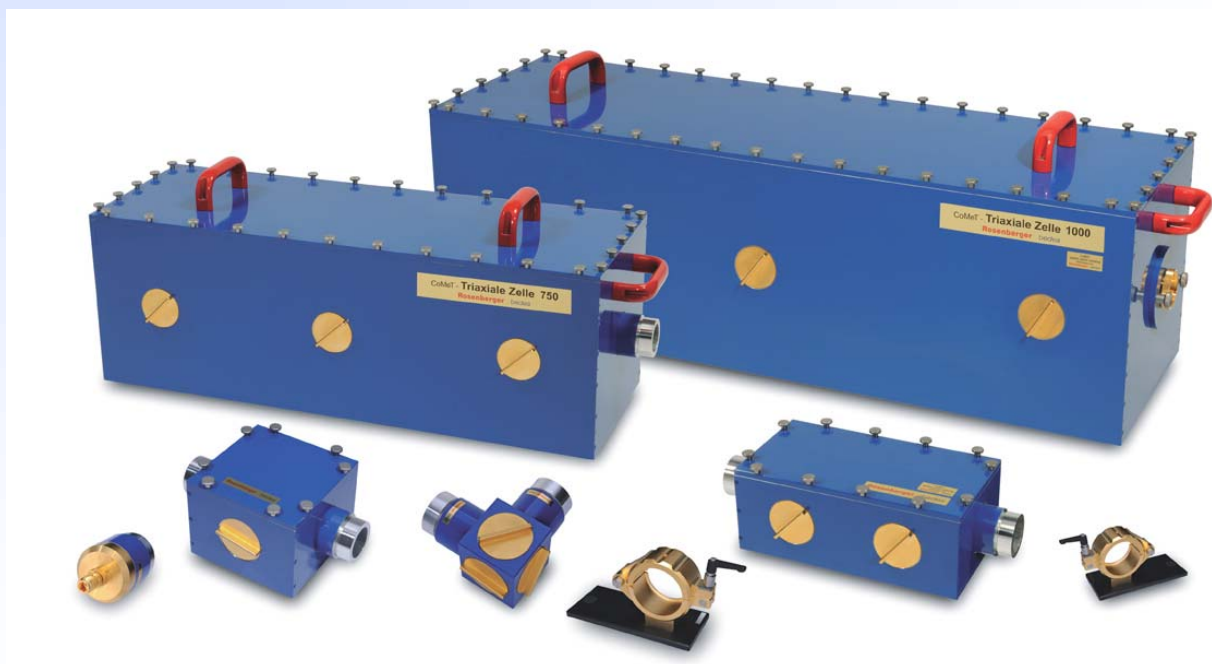


5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

1

Triaxiale Zellen (CoMeT Winkelgehäuse)



5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

2

Autoren

- Bernhard Mund, *bedea* Berkenhoff & Drebes GmbH, Asslar
 - ◆ *Rundfunk&Fernsehtechniker, Radio Brand Marburg, 1971*
 - ◆ *Dipl.-Ing. Nachrichten- & Mikroprozessortechnik, FH Giessen, 1984*
 - ◆ Leiter Entwicklung Kabel sowie HF- & EMV-Messungen,
 - ◆ Obmann des UK 412.3, Koaxialkabel,
 - ◆ Sekretär des IEC SC 46A und des CENELEC SC 46XA, Coaxial cables
- Thomas Schmid, *Rosenberger* HF-Technik, Tittmoning
 - ◆ *Fernmeldehandwerker, Deutsche Bundespost; Traunstein 1988*
 - ◆ *Dipl.-Ing. (FH) Nachrichtentechnik, Fachhochschule München 1995*
 - ◆ Entwicklung von HF-Steckern und Komponenten, HF-& EMV-Messtechn.
 - ◆ Mitarbeiter UK 412.3, Koaxialkabel,
 - ◆ Mitarbeiter IEC TC 46 WG 5 Screening eff. & WG 6 Intermodulation

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, *Rosenberger* Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de 3

Übersicht

- Triaxialverfahren
 - ◆ Prinzip,
 - ◆ Rohr in Rohr mit Kavität,
- Triaxiale Zelle
 - ◆ Kavitäten, höhere Moden bzw. Resonanzen,
 - ◆ Messungen mit der Triaxialen Zelle
- Anpassung - Neue IEC 62153-4-3
 - ◆ Verschiedene Lastbedingungen,
 - ◆ neue IEC 62153-4-3, Kopplungswiderstand
 - ◆ Stromverteilung auf der Leitung
- Diskussion

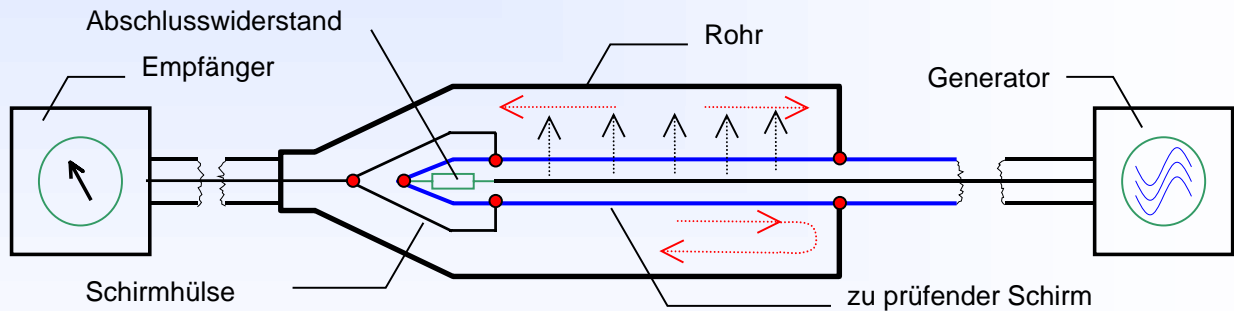
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, *Rosenberger* Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de 4

Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung

Triaxialverfahren, **Kopplungswiderstand & Schirmdämpfung**

DC bis über 8 (12) GHz mit einem Messaufbau !

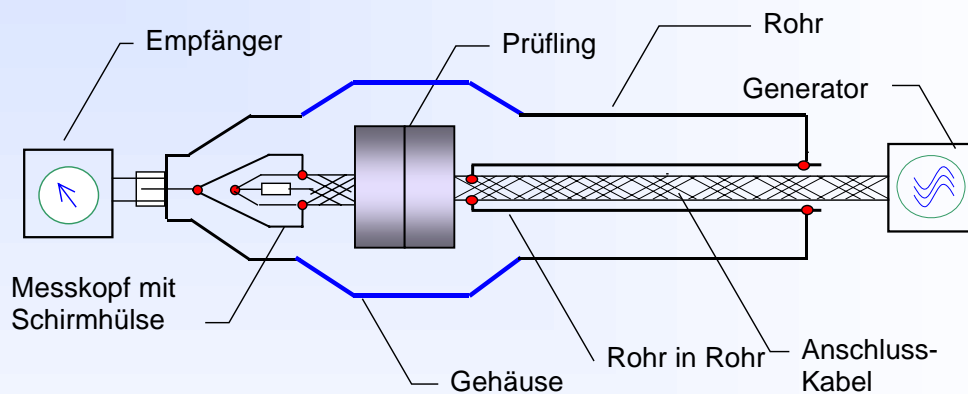


IEC 62153-4-3/-4-4 Kopplungswiderstand/Schirmdämpfung, Triaxialverfahren
 DIN EN 50289-1-6, Kommunikationskabel, Elektromagnetisches Verhalten

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Prinzip der Triaxialen Zelle mit "Rohr in Rohr"



IEC 62153-4-7,
 "Tube in tube" -procedure
 (Connectors and assemblies)
 with „Triaxial Cell“ is under
 consideration at IEC TC
 46/WG 5

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

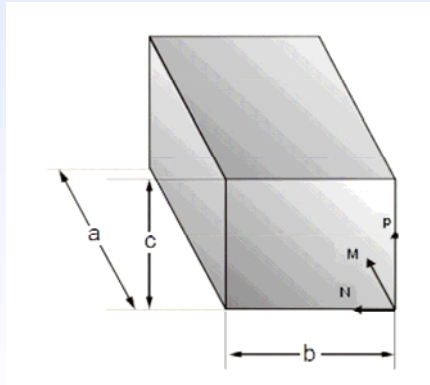
Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Resonanzen bzw. höhere Moden der Kavität

Resonanzfrequenzen:

$$f_{mnp} = \frac{c_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$

a = 13.6 cm, b = 13.6 cm, c = 9.9 cm



| m | n | p | f in GHz |
|---|---|---|----------|
| 1 | 1 | 1 | 2,15 |
| 1 | 2 | 0 | 2,40 |
| 0 | 2 | 1 | 2,63 |
| 1 | 2 | 1 | 2,84 |
| 2 | 2 | 0 | 3,04 |
| 0 | 1 | 2 | 3,22 |
| 1 | 1 | 2 | 3,39 |
| 2 | 2 | 1 | 3,40 |
| 0 | 2 | 2 | 3,71 |
| 1 | 2 | 2 | 3,87 |
| 2 | 3 | 0 | 3,87 |

m, n, p: Modenzahlen (ganzzahlig, 2 von 3 >0)

a, b, c: Abmessungen der Hohlraums

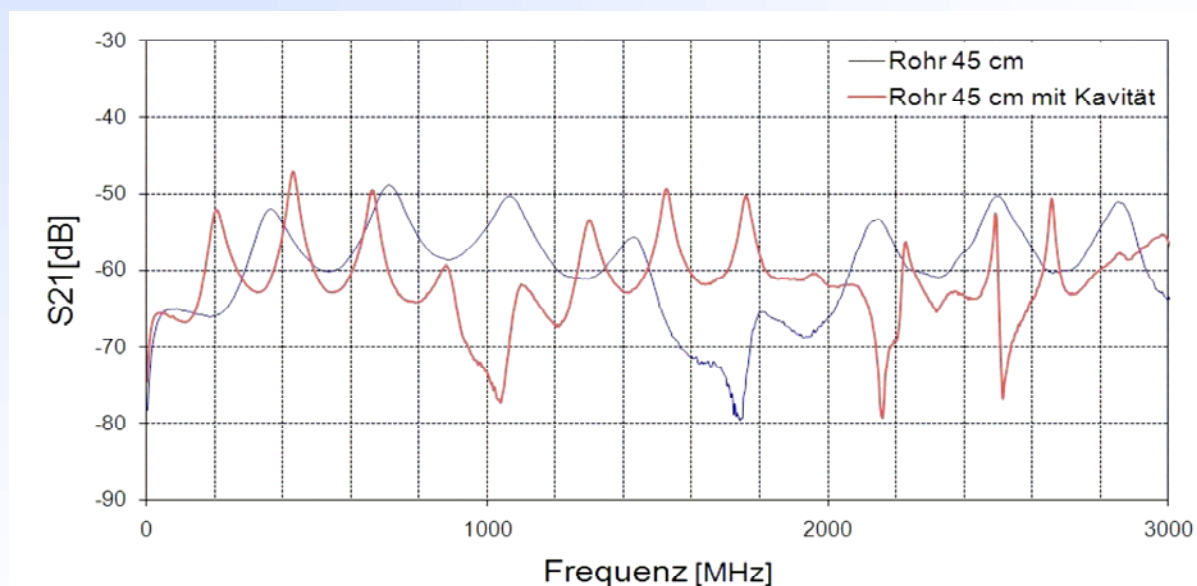
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Results from Prof. Münzner et al, University of Ulm

Bernhard Mund, bedea, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

7

Messergebnisse Rohr und Triaxiale Zelle



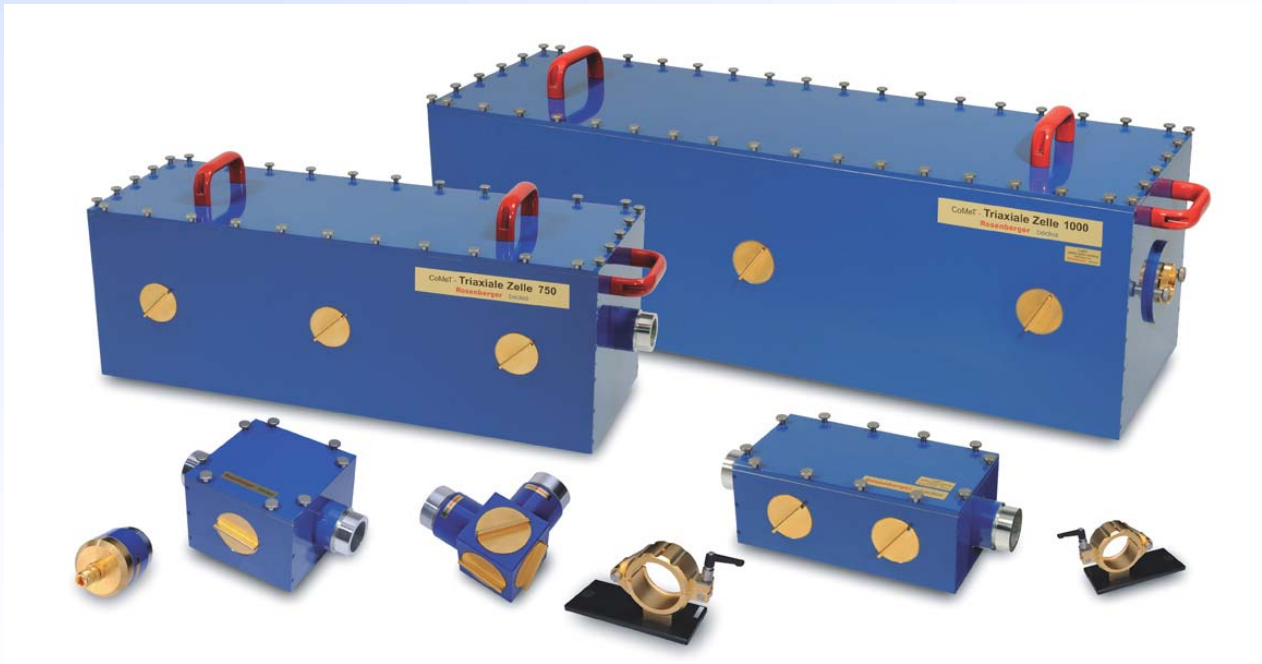
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Results from Prof. Münzner et al, University of Ulm

Bernhard Mund, bedea, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

8

Triaxiale Zellen (CoMeT Winkelgehäuse)



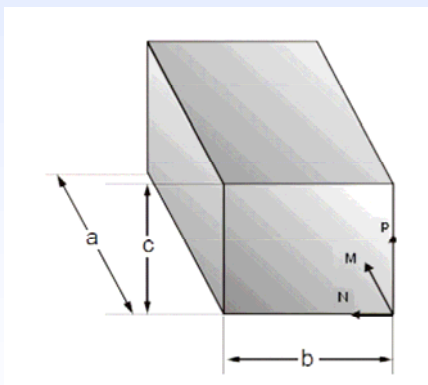
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Resonanzen bzw. höhere Moden der Kavität

Resonanzfrequenzen:

$$f_{mnp} = \frac{c_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$



m, n, p: Modenzahlen (ganzzahlig, 2 von 3 > 0)
a, b, c: Abmessungen der Hohlraums

750-er Zelle

a 750 b 250 c 250

| m | n | p | f/GHz |
|---|---|---|-------|
| 1 | 1 | 1 | 0,87 |
| 1 | 2 | 0 | 1,22 |
| 0 | 2 | 1 | 1,34 |
| 1 | 2 | 1 | 1,36 |
| 2 | 2 | 0 | 1,26 |
| 0 | 1 | 2 | 1,34 |
| 1 | 1 | 2 | 1,36 |
| 2 | 2 | 1 | 1,40 |
| 0 | 2 | 2 | 1,70 |
| 1 | 2 | 2 | 1,71 |
| 2 | 3 | 0 | 1,84 |

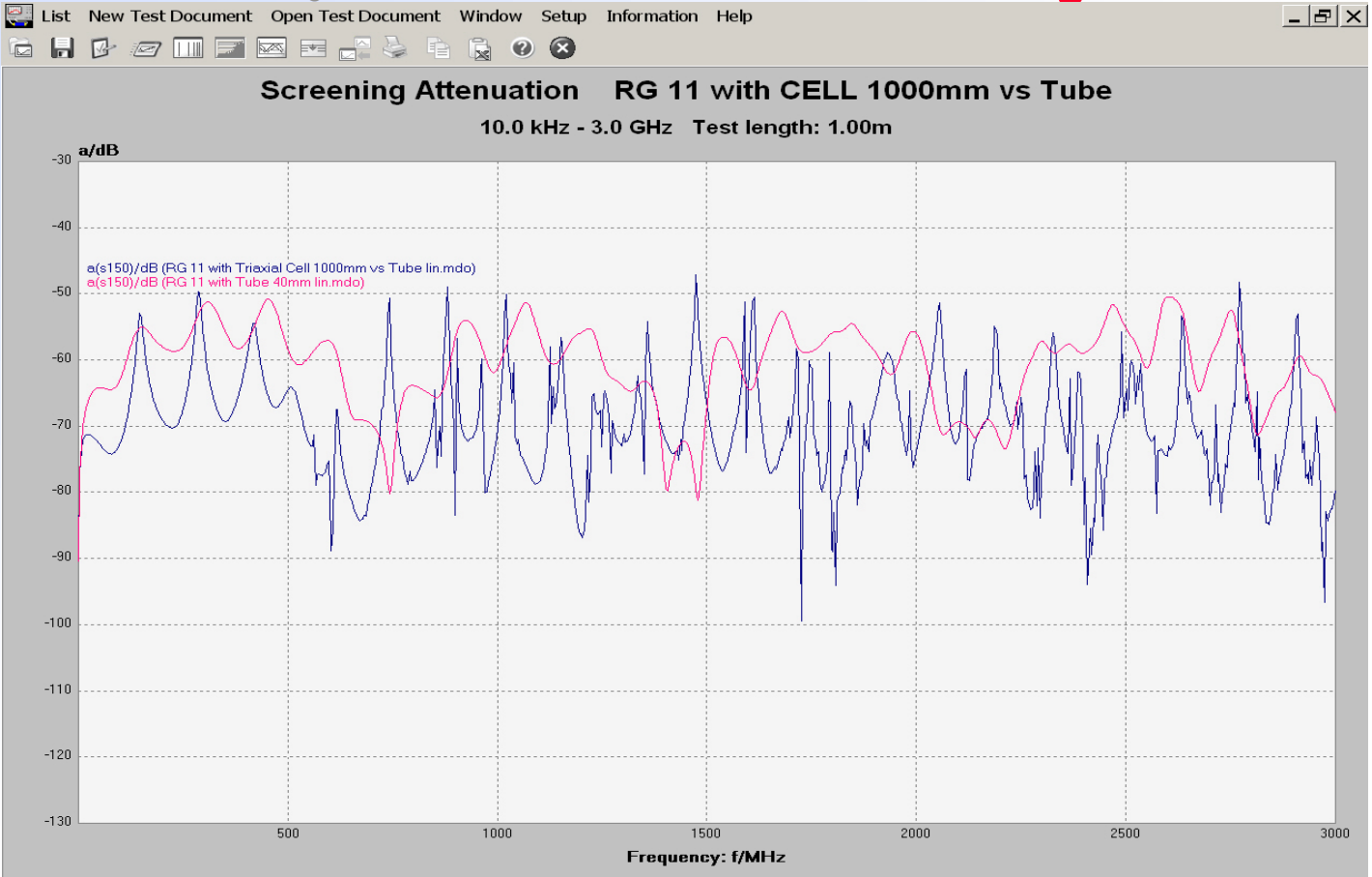
1000-er Zelle

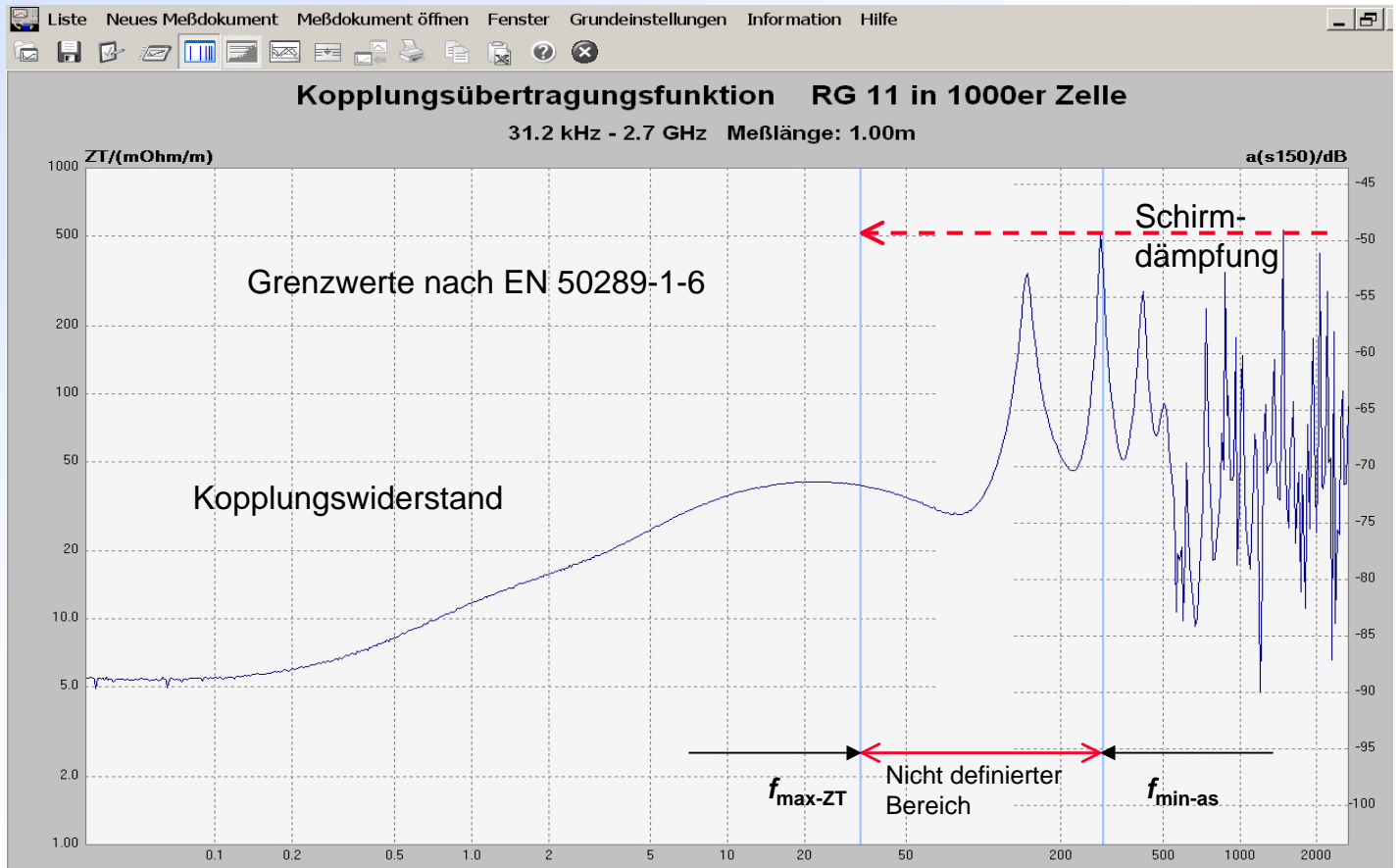
a 1000 b 300 c 300

| m | n | p | f/GHz |
|---|---|---|-------|
| 1 | 1 | 1 | 0,72 |
| 1 | 2 | 0 | 1,01 |
| 0 | 2 | 1 | 1,12 |
| 1 | 2 | 1 | 1,13 |
| 2 | 2 | 0 | 1,04 |
| 0 | 1 | 2 | 1,12 |
| 1 | 1 | 2 | 1,13 |
| 2 | 2 | 1 | 1,16 |
| 0 | 2 | 2 | 1,41 |
| 1 | 2 | 2 | 1,42 |
| 2 | 3 | 0 | 1,53 |

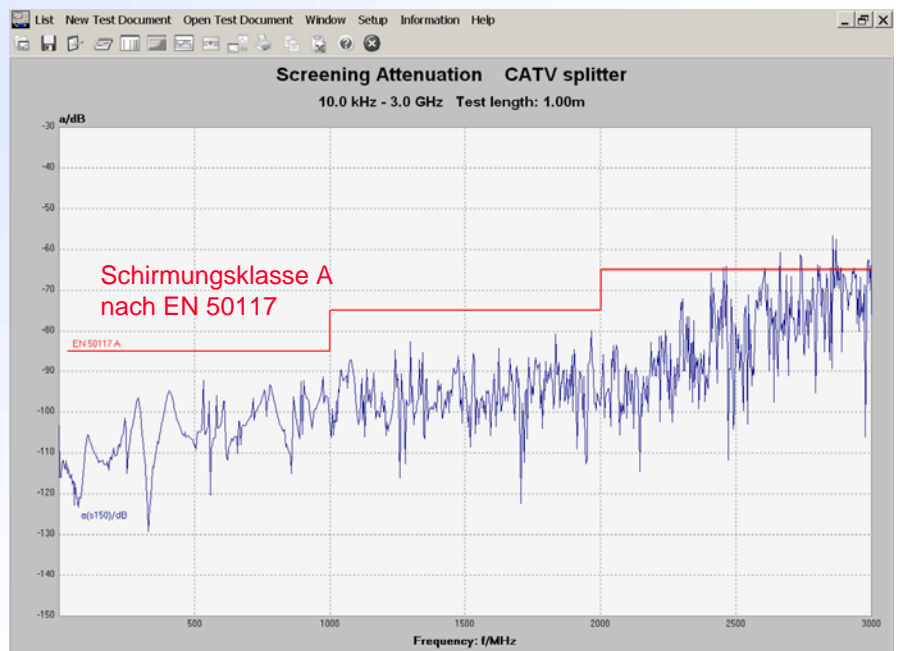
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

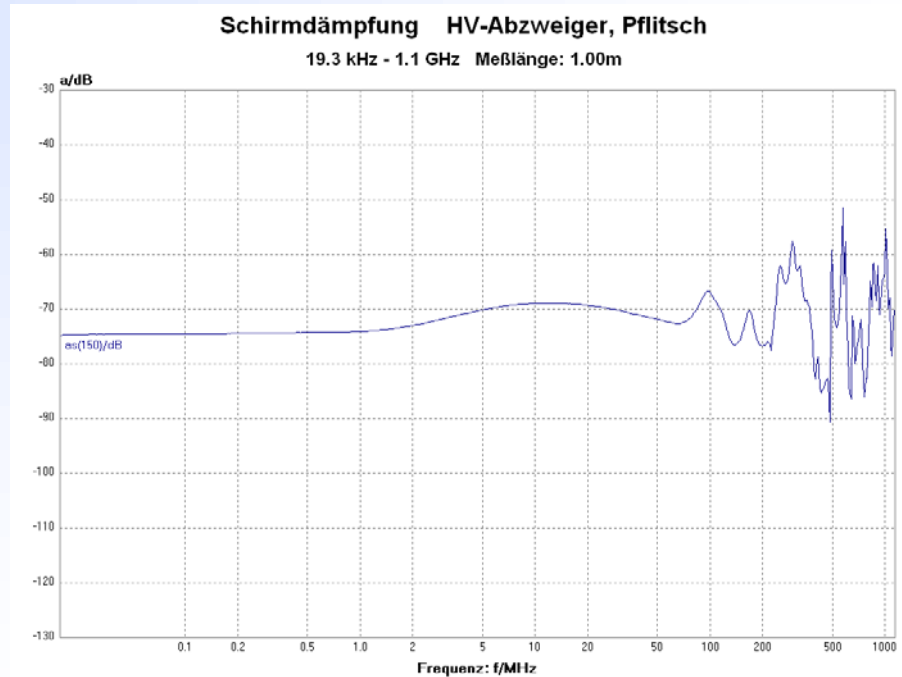
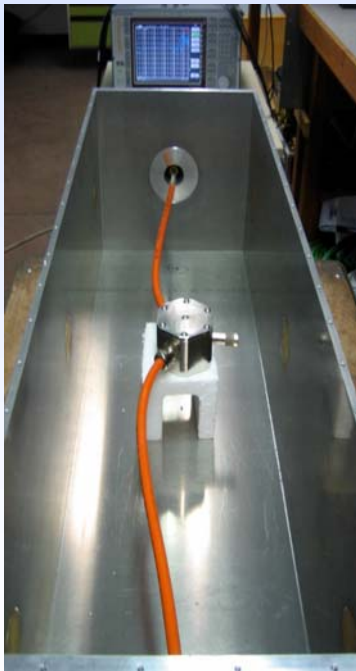




CATV Verteiler mit Triaxialer Zelle



Abzweiger für HV-Leitung (Pflitsch)

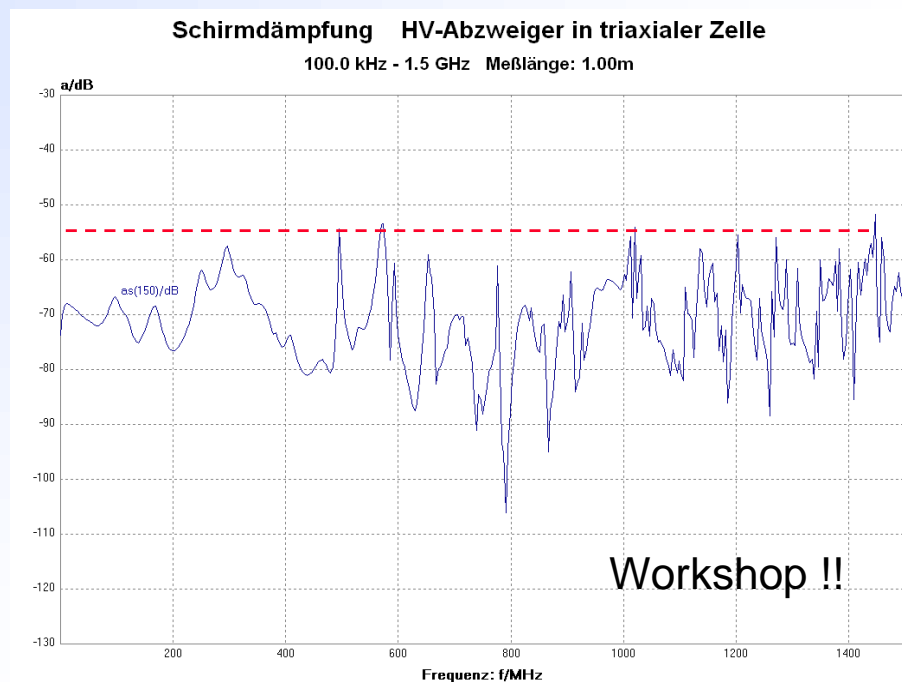
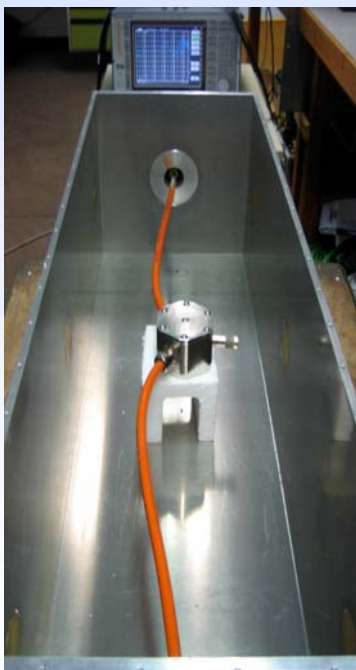


5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

15

Abzweiger für HV-Leitung (Pflitsch)



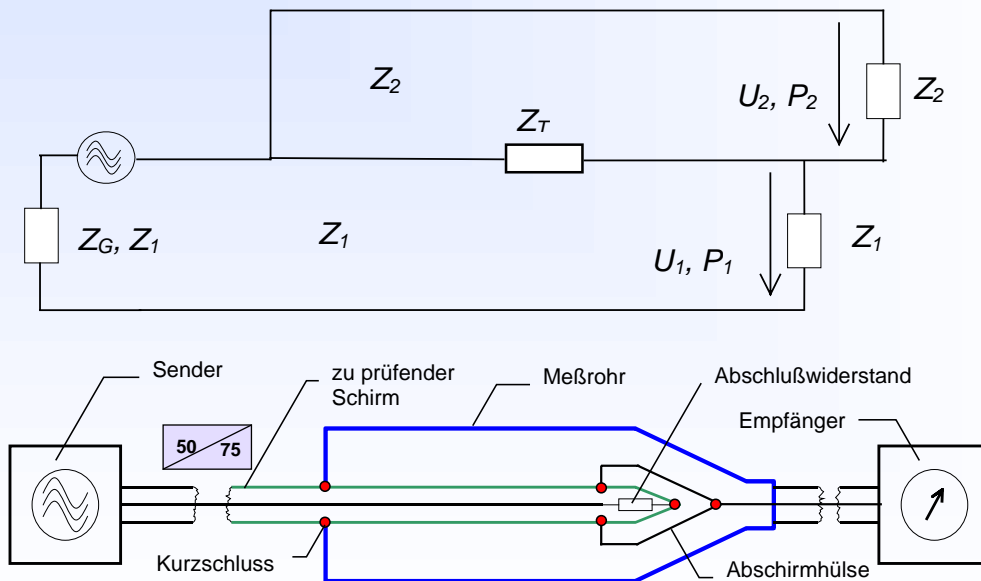
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

16

Messen mit Fehlanpassung (Thomas Schmid)

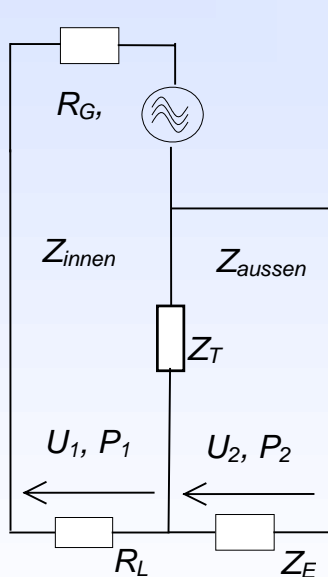
Überarbeitung der IEC 62153-4-3, Kopplungswiderstand, Triaxialverfahren



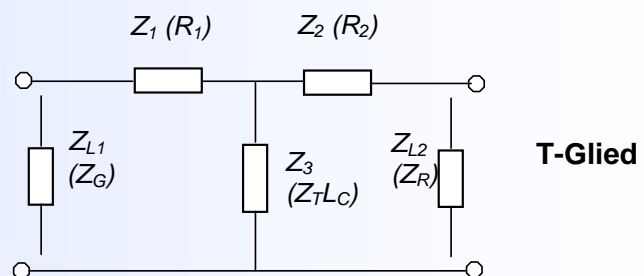
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, bedea, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Ersatzbilder für Triaxialverfahren



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



- R_1 = Abschlusswiderstand des inneren Kreises
- R_2 = Abschlusswiderstand des äußeren Kreises
- Z_T = Kopplungswiderstand des Prüflings
- Z_G = Generator-Widerstand
- Z_R = Empfänger-Widerstand
- L_C = Kopplungslänge

$$S_{21} = Z_T L_C \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{Z_R \cdot Z_G}}{(R_1 + Z_G) \cdot (R_2 + Z_R)}$$

IEC 62153-4-3, Ed2:
(vereinfacht, $Z_T \ll Z_G Z_R$)

$$Z_T = \frac{(R_1 + Z_G) \cdot (R_2 + Z_R)}{2 \cdot \sqrt{Z_R \cdot Z_G}} \cdot \frac{S_{21}}{L_C}$$

gemessen

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, bedea, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

S-Parameter für T-Glied

Ausführliche Herleitung von S_{21} bzw. Z_T aus T-Glied

$$S = \begin{bmatrix} 1 - \frac{2(Z_2 + Z_3 + Z_{L2})Z_{L1}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_1 Z_{L2} + Z_3 Z_2 + Z_3 Z_{L2} + Z_{L1} Z_2 + Z_{L1} Z_3 + Z_{L1} Z_{L2}} & 2 \frac{\sqrt{Z_{L1}} Z_3 \sqrt{Z_{L2}}}{\text{Nenner}} \\ 2 \frac{\sqrt{Z_{L1}} Z_3 \sqrt{Z_{L2}}}{\text{Nenner}} & 1 - \frac{2(Z_1 + Z_3 + Z_{L1})Z_{L2}}{\text{Nenner}} \end{bmatrix}$$

Quelle: Heuermann Hochfrequenztechnik, S. 295

S_{21}

$$S_{21} = 2 \cdot \frac{\sqrt{Z_{L1}} \cdot Z_3 \cdot \sqrt{Z_{L2}}}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 + Z_1 \cdot Z_{L2} + Z_3 \cdot Z_2 + Z_3 \cdot Z_{L2} + Z_{L1} \cdot Z_2 + Z_{L1} \cdot Z_3 + Z_{L1} \cdot Z_{L2}}$$

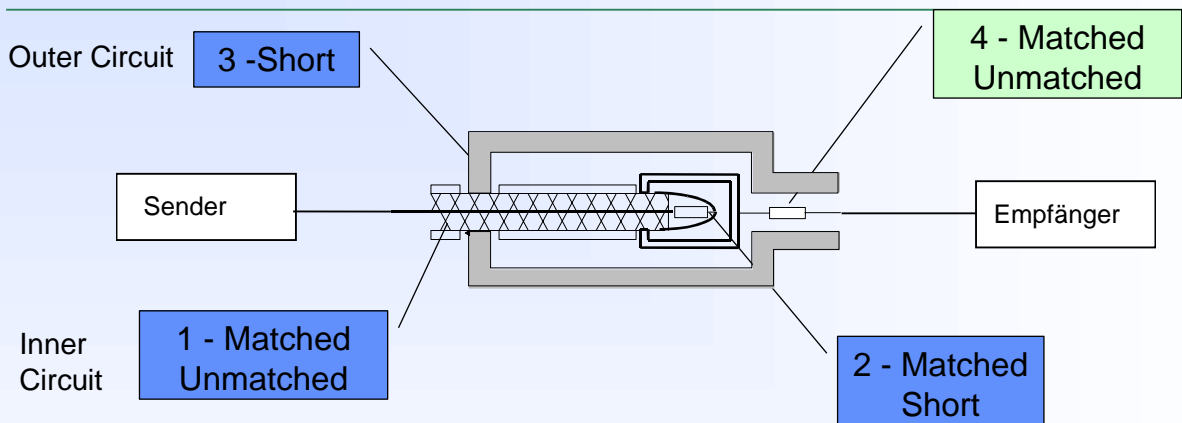
$$Z_3(Z_1, Z_2, Z_{L1}, Z_{L2}, S_{21}) := S_{21} \cdot \frac{Z_1 \cdot (Z_2 + Z_{L2}) + Z_{L1} \cdot (Z_2 + Z_{L2})}{(-S_{21}) \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_{L2} + Z_{L1}) + 2 \cdot \sqrt{Z_{L1}} \cdot Z_{L2}}$$

($Z_3 = Z_T$)

gilt für tiefe Frequenzen und für beliebige Lasten

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Matching Conditions



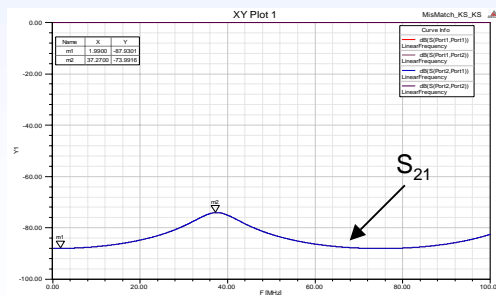
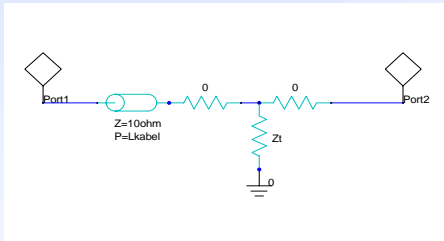
Unmatched-Short-Short
 Matched-Short-Short
 Unmatched-Matched-Short
 Matched-Matched-Short

1 = Generator- Prüfling, (ggf. mit Anpassglied)
 2 = Prüfling (senderfernes Ende)
 3 = Aussenleiter Prüfling -Rohr (Kurzschluss)
 4 = Vorwiderstand (optional)

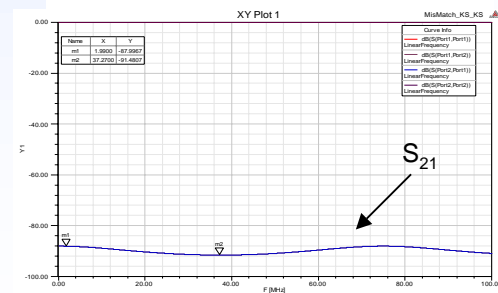
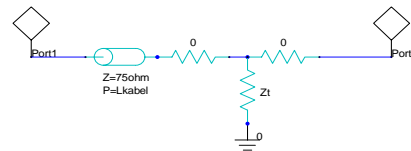
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Unmatch-Short-Short (mit Netzwerksimulator)

- Cable Impedance: 10 Ohm vs 75 Ohm
- $L_{\text{kabel}} = 2\text{m}$, $Z_T = 1\text{m}\Omega$



IEC 62153-4-3Ed1,
geht so nur, wenn $R_G = Z_{\text{Kabel}}$

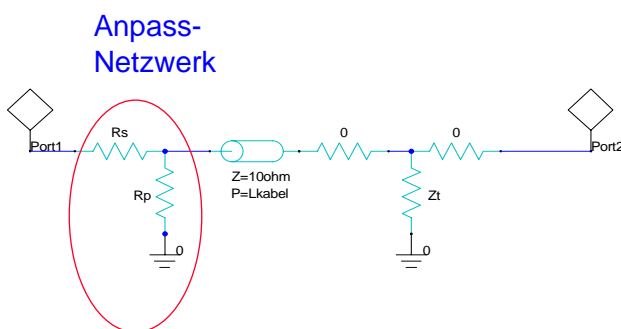


5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

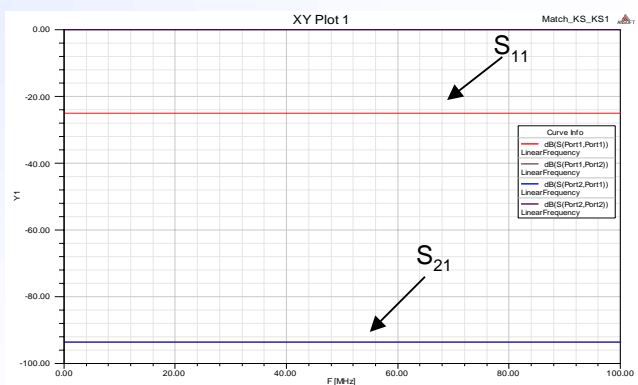
Bernhard Mund, bedea, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Matched-Short-Short (mit Netzwerksimulator)

- $L_{\text{kabel}} = 2\text{m}$, $Z_T = 1\text{m}\Omega$
- Cable Impedance: 10 Ohm
- Matching Network, R_s and R_p



Anpass-Netzwerk
bzw. Impedanzwandler erforderlich



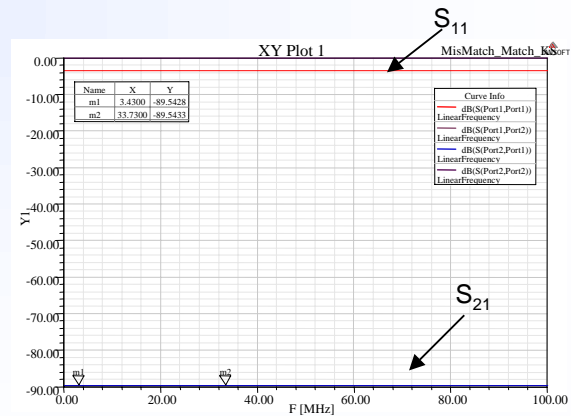
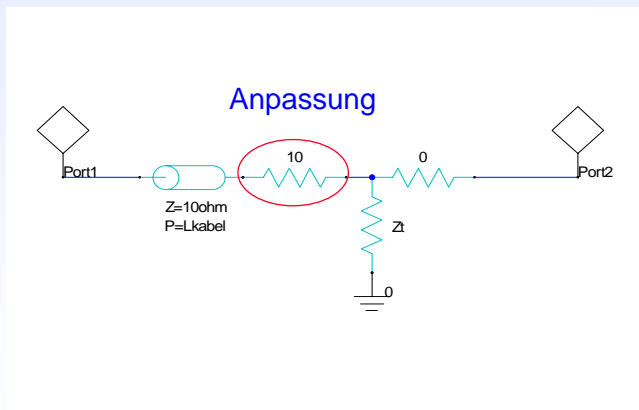
5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, bedea, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Unmatch-Match-Short (mit Netzwerksimulator)

- $L_{\text{kabel}} = 2\text{m}$, $Z_T = 1\text{m}\Omega$
- Cable Impedance: 10 Ohm
- $R_1 = 10\text{ Ohm}$

lässt sich einfach mit handelsüblichem Widerstand realisieren !

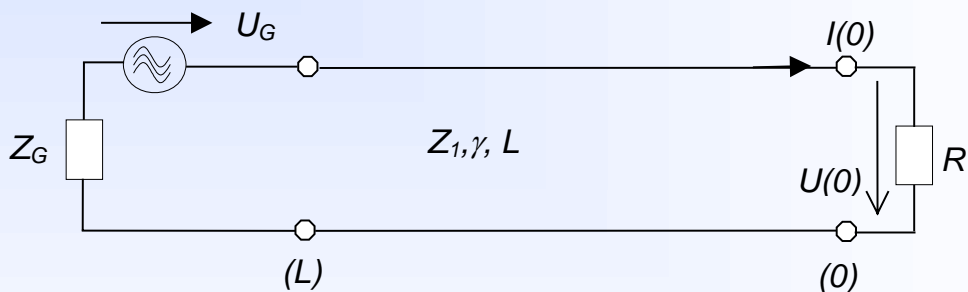


5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Quell- und Lastimpedanzen

Inneres System mit Quell- und Lastimpedanzen



Der Strom $I(0)$ an der Last:

$$I(0) = \frac{U_G}{R_1 \cdot [\cosh(\gamma L) + \frac{Z_G}{Z_1} \sinh(\gamma L)] + Z_1 \cdot [\sinh(\gamma L) + \frac{Z_G}{Z_1} \cosh(\gamma L)]}$$

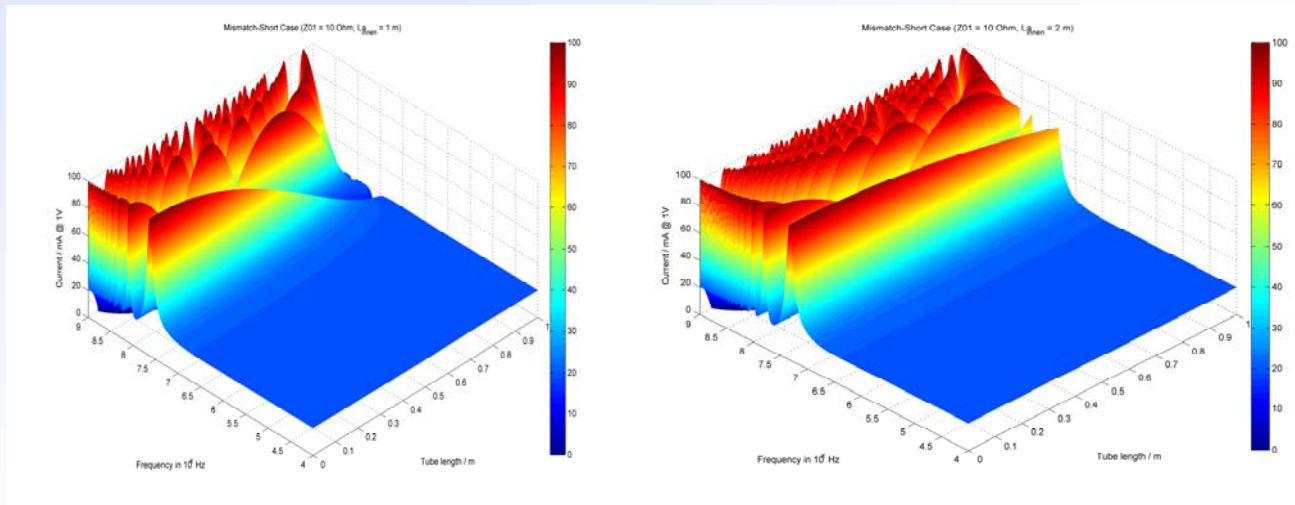
Stromstärke in Abhängigkeit des Ortes x

$$I(x) = I(0) \cdot \cosh(\gamma x) + U(0) / Z_1 \cdot \sinh(\gamma x)$$

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

Örtliche Stromverteilung, beim Kurzschluss links, 1m & 2m

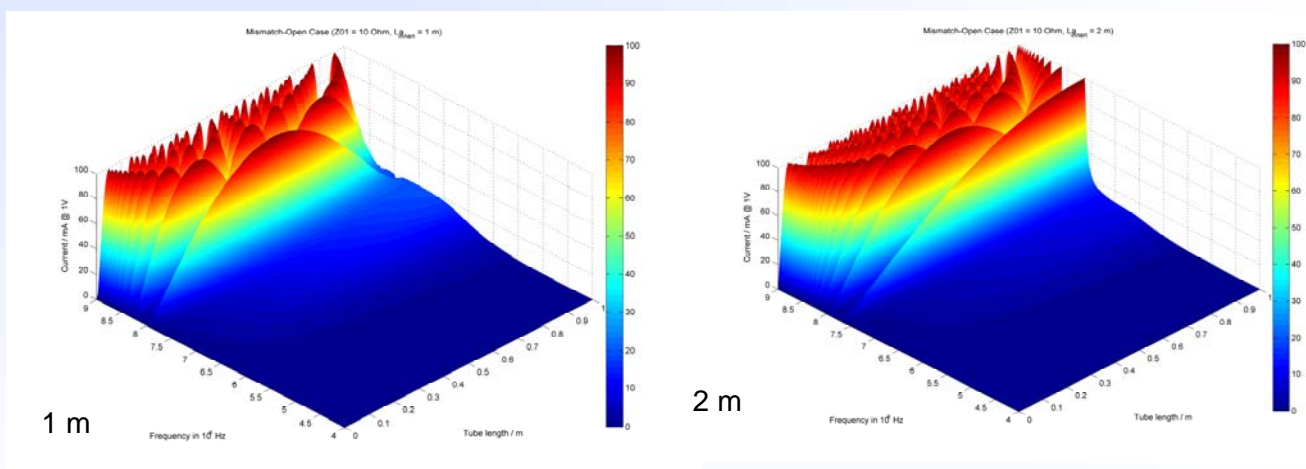


5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

25

Örtliche Stromverteilung, beim Leerlauf links, 1m & 2m

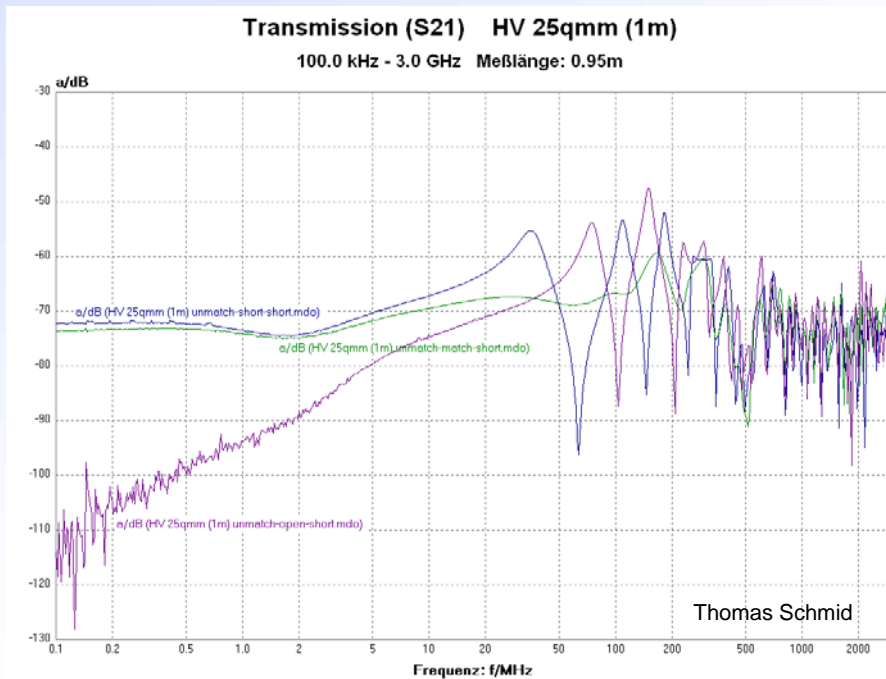


5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

26

Messergebnisse - Leerlauf & Anpassung



5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

27

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.
- Das Triaxialverfahren kann zur Messung von größeren Komponenten um die **Triaxiale Zelle** erweitert werden.
- In Abhängigkeit der Abmessungen der Zelle ergeben sich Resonanzen
- (bei ca. **720 MHz** in der 1000er Zelle und bei ca. **870 MHz** in der 750er Zelle).
- Messungen bis zur Resonanzfrequenz sind identisch zu den Messungen im Rohr, die Abweichungen der Messungen oberhalb der Resonanzfreq. liegen im Bereich von **< 3 dB**.
- Mit der **Kopplungsübertragungsfunktion** kann der **Kopplungswiderstand Z_T** und die **Schirmdämpfung a_s** in einem Diagramm abgebildet werden.
- Die **Triaxiale Zelle** soll in die Neufassung der IEC 62153-4-7 übernommen werden.

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

28

Zusammenfassung 2

- **IEC 62153-4-3**, Messen des Kopplungswiderstandes, Triaxialverfahren, befindet sich bei IEC TC 46/WG 5 in Überarbeitung, **(46/371/CD)**.
- 3 verschiedene Verfahren sind beschrieben:
 - ◆ Matched-Matched-Short,
 - ◆ Matched-Short-Short,
 - ◆ Unmatched-Matched-Short.
- HV-Leitungen für Elektrofahrzeuge haben einen Wellenwiderstand von ca. 10 Ohm bis 12 Ohm.
- mindestens eine Seite des Prüflings muss angepasst sein, (fernes Ende).
- Unmatched-Matched-Short ist bei 10 Ohm Leitungen am einfachsten.
- Die Länge ausserhalb des Messaufbaus muss so kurz wie möglich sein.
- Die Änderungen der **IEC 62153-4-3** sind bereits in die aktuelle Version der Software **WinCoMeT** integriert.
- Die Betrachtungen bezüglich der Anpassung der 3 verschiedenen Mess-Verfahren gelten für Rohr und **Triaxiale Zelle**

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

29

Internationale Normen für Triaxialverfahren

| | | |
|--|--|-------------|
| IEC TR 62153-4-1 | Introduction to EMC measurements | 2010-05 |
| IEC 62153-4-3Ed2 | Surface transfer impedance - Triaxial method | (46/371/CD) |
| IEC 62153-4-4 | Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation "a _s " up to and above 3 GHz | 2006-05 |
| IEC 62153-4-7 | Shielded screening attenuation, test method for measuring the Transfer impedance Z _T and the screening attenuation a _s of RF-Connectors up to and above 3 GHz; Tube in Tube method | 2006-04 |
| | | |
| IEC 62153-4-9 IEC/PAS 62338 Ed1 | Coupling attenuation, triaxial method | 2008-03 |
| IEC 62153-4-10 | Shielded screening attenuation test method for measuring the Screening Effectiveness of Feedtroughs and Electromagnetic Gaskets | 2009-05 |
| EN 50289-1-6 | Communication cables - Specifications for test methods Part 1-6: Electrical test methods -Electromagnetic performance (includes IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-3) | 2002 |

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

30

Literatur

- [1] Bernhard Mund, EMV von Steckverbindern und Verbindungskabeln, 4. Anwenderkongress Steckverbinder 2010, Vogel Verlag, Würzburg,
- [2] Bernhard Mund, Thomas Schmid: Messen der Schirmdämpfung von Steckverbindern, Kabeldurchführungen und EMV-Dichtungen, 3. Anwenderkongress Steckverbinder 2009, Vogel Verlag, Würzburg
- [3] Bernhard Mund: Measuring the EMC on RF-connectors and connecting hardware, Tube in tube test procedure, IWCS (International wire & cable symposium) 2004, Philadelphia
- [4] Thomas Hähner und Bernhard Mund: Measurement of the screening effectiveness of connectors & cable assemblies: International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC 2002
- [5] Thomas Hähner und 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, EMC 2000
- [6] Otto Breitenbach, Thomas Hähner und Bernhard Mund: Kabelschirmung im Frequenzbereich von MHz bis GHz, erweiterte Anwendung eines einfachen Meßverfahrens, Frequenz 1-2/1999 S. 18-28.
- [7] Lauri Halme, Rauno Kytönen, "Background and introduction to EM screening (shielding) behaviours and measurements of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", IEE Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998
- [8] F.M. Tesche et al: EMC Analysis Methods, Wiley, 1997
- [9] Prof. Dr. Münzner et. al., Untersuchungen und Simulation an Triaxialer Zelle, Hochschule Ulm

5. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg 2011

Bernhard Mund, *bedea*, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, thomas.schmid@rosenberger.de

31

Danke fürs Zuhören

???



www.bede.com

bmund@bedea.com

www.rosenberger.de

thomas.schmid@rosenberger.de