Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
<peter.pauli@unibw.de>

Ingenieurbüro für Hochfrequenz-, Mikrowellen- und Radartechnik
Alter Bahnhofplatz 26
83646 Bad Tölz
Tel. (08041) 792-7447 Fax: 792-9999
E-Mail: prof.peter.pauli@t-online.de

Gutachten
Auswertung von Farbaufträgen einer Evaluierung

vom 21.11.2019

Auftaggeber:	**GEOVITAL** **Akademie für Geobiologie und Strahlenschutz** **Unterwolfbühl 430** **A-6934 Sulzberg**
Messobjekt:	***Abschirmfarbe T 98*** von Anwendern auf DIN A4 Kartonage aufgetragen Einlagiger Anstrich Zweilagiger Anstrich Dreilagiger Anstrich
Auftrag:	Ermittlung von Praxiswerten der Schirmdämpfung gegenüber elektromagnetischen Wellen im Frequenzbereich **100 MHz - 8 GHz**
Prüfungsgrundlage:	ASTM D – 4935-10
Datum d. Messungen:	18. Nov. 2019
Umfang:	5 Seiten Text, 44 Messprotokolle in den 10 Anlagen

Resultate: Die ***Abschirmfarbe T 98***, einlagig, doppellagig und dreilagig von Anwendern auf einer **DIN A4 Kartonage (15 g) aufgetragen**, wurde bei der Messung nach ASTM mit elektromagnetischen Wellen mit Polarisation in allen Richtungen untersucht. Wegen der Homogenität des Farbauftrags haben die Messresultate auch für linearer vertikale und horizontale Polarisation Gültigkeit.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Schirmdämpfungswerte in Dezibel, wie sie für die Anwender zu Hause bei eigenem Farbauftrag an Wänden und Decken relevant ist.

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 21.11.2019
Werner-Heisenberg-Weg 39
<prof.peter.pauli@t-online.de>

1. Vorbemerkungen

Bei der Messung der Dämpfung elektromagnetischer Wellen durch ein Schirmmaterial wird in der Regel der Prüfling mit hochfrequenter Energie einer bestimmten Leistungsflussdichte S_1 oder mit einer bestimmten Leistung P_1 bestrahlt. Hinter dem Schirmmaterial wird die hindurchdringende Leistungsflussdichte S_2 bzw. Leistung P_2 gemessen. Der logarithmierte Quotient gemäß nachstehenden Gleichungen ergibt den Schirmdämpfungswert in Dezibel (dB):

$$a_{Schirm} = 10 \cdot \log \frac{S_2}{S_1} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \quad in\ Dezibel \quad (dB)$$

Zur Interpretation der Messkurven und deren Messwerte ist es hilfreich, nebenstehende Umrechnungstabelle zu verwenden.

Diese Tabelle ermöglicht die Umrechnung der logarithmischen dB-Werte in Prozentwerte, wobei in der Regel – wie hier in dieser Tabelle – die durch den Schirm hindurchdringende ***Leistung- bzw. Leistungsflussdichte*** zur Bewertung der Schirmwirkung herangezogen wird.

Umrechnung der Dämpfung von dB in %			
dB	**Leistungs-Durchlass in %**	**dB**	**Leistungs-Durchlass in %**
0	100,00		
1	81,00	21	0,78
2	62,80	22	0,63
3	50,00	23	0,50
4	40,00	24	0,39
5	31,60	25	0,31
6	25,00	26	0,25
7	20,00	27	0,20
8	16,00	28	0,18
9	12,50	29	0,12
10	10,00	30	0,10
11	7,90	31	0,08
12	6,25	32	0,06
13	5,00	33	0,05
14	4,00	34	0,04
15	3,13	35	0,03
16	2,50	36	0,02
17	2,00	37	0,02
18	1,56	38	0,02
19	1,20	39	0,02
20	1,00	40	0,01
		50	0,001
		60	0,0001
		70	0,00001
		80	0,000001

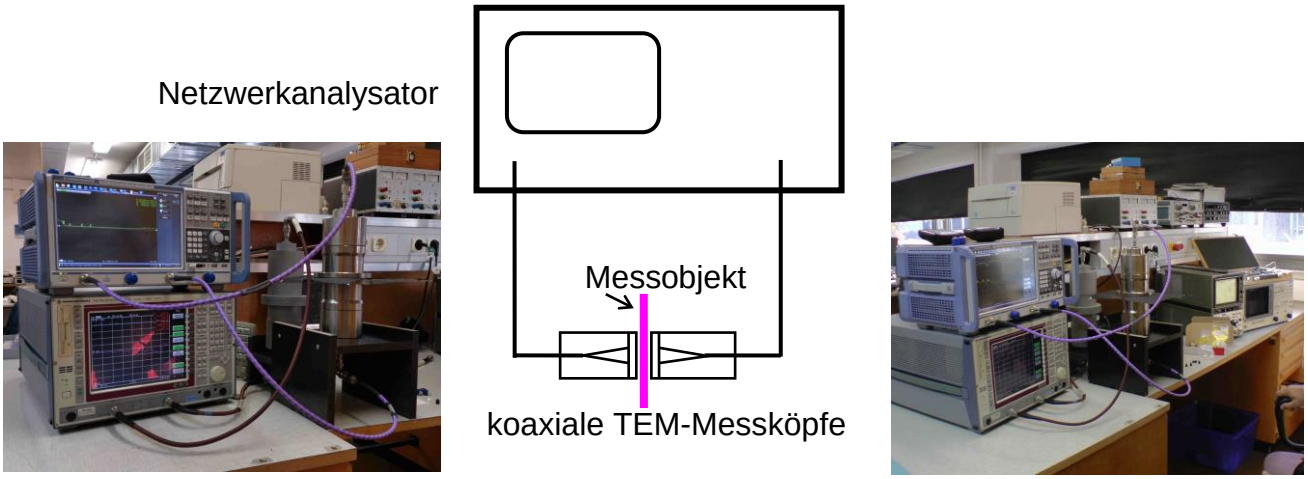
Tabelle 1: Umrechnung von dB-Werten in Prozentwerte

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 21.11.2019
Werner-Heisenberg-Weg 39
<prof.peter.pauli@t-online.de>

2. Messaufbauten für die Schirmdämpfungsmessung nach ASTM D 4935-2010 von 100 MHz – 8 GHz

Für diese Messungen wurden 2 koaxiale TEM-Messgefäße quasi wie eine Sende- und Empfangsantenne an den Netzwerkanalysator angeschlossen. Bei einer S_{21} – Kalibrierung wurde die Anordnung ohne das Messobjekt, aber mit einem gleich dicken nicht schirmenden Ersatzobjekt zwischen den Messköpfen für die Transmissionsmessung auf „0 dB“ geeicht.



Messanordnung zur Ermittlung der Schirmdämpfung mit TEM-Messköpfen

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:

Vektorieller Netzwerkanalysator Typ ZNB 20 (30 kHz – 20 GHz) Rohde & Schwarz
Neuestes Gerät von 2019 mit neuester aktueller Software
Assistenz durch Rohde & Schwarz Mitarbeiter Hr. Schenk

Neueste Koaxiale TEM-Mess-Sonden, (1 MHz – 8 GHz),

Bei dieser Messung treffen in der TEM-Anordnung die elektrischen Feldstärken - wie bei koaxialen Leitungen üblich - <u>in allen Polarisationsrichtungen</u> auf das Messobjekt. Damit kann man zwar keine diskrete Aussage über das Verhalten des Messobjektes gegenüber einer bestimmten linearen Polarisation machen. Andererseits bekommt man die wichtige Information, wie sich das Messobjekt gegenüber Polarisationen von beliebigen Richtungen verhalten wird. Dies kommt in der Praxis in der Regel vor, sodass die Messresultate sehr realitätsnah sind.

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 21.11.2019
Werner-Heisenberg-Weg 39
<prof.peter.pauli@t-online.de>

3. Zusammenfassung der Resultate

In den Anlagen ist die Schirmdämpfung der ***Abschirmfarbe T 98*** gegenüber elektromagnetischen Wellen dargestellt. Dort sind die Schirmdämpfungswerte für die von den Anwendern aufgetragenen Schichtstärken in Dezibel zahlenmäßig ausgedruckt.
Für die Tabelle wurde die Frequenz 2,44 GHz ausgewählt, die einen guten Mittelwert aller Mobilfunkfrequenzen, von GSM bis zu den 5G Frequenzen in Europa, am nächsten kommt.

Zur schnelleren Übersicht sind diese Werte in der untenstehenden Tabelle aufgelistet.

Anwender	Farbauftrag 1-lagig / Schirmleistung	Farbauftrag 2-lagig / Schirmleistung	Farbauftrag 3-lagig / Schirmleistung
Fam. Amhofer	16 g / 47 dB	+18 g = 34 g / 61 dB	+14 g = 48 g / 75 dB
Fam. Andrae	19 g / 53 dB	+14 g = 33 g / 62 dB	+18 g = 51 g / 79 dB
Fam. Aumer	15 g / 51 dB	+23 g = 38 g / 68 dB	+ 4 g = 42 g / 67 dB
Fam. Bauer	13 g / 55 dB	+21 g = 34 g / 64 dB	+14 g = 48 g / 74 dB
Fam. Berger	16 g / 50 dB	+19 g = 35 g / 65 dB	+12 g = 47 g / 79 dB
Fam. Heeb	13 g / 45 dB	+20 g = 33 g / 62 dB	+18 g = 51 g / 76 dB
Fam. Hoffmann	17 g / 51 dB	+18 g = 35 g / 68 dB	+ 9 g = 44 g / 74 dB
Fam. Klebert	13 g / 47 dB	+22 g = 35 g / 68 dB	+14 g = 49 g / 77 dB
Fam. Martin	16 g / 50 dB	+21 g = 37 g / 70 dB	+12 g = 49 g / 80 dB
Fam. Pacher	15 g / 48 dB	+20 g = 35 g / 59 dB	+15 g = 50 g / 76 dB
Fam. Schuler	18 g / 49 dB	+16 g = 34 g / 60 dB	+11 g = 45 g / 72 dB
Fam. Spindler	16 g / 50 dB	+20 g = 36 g / 66 dB	+ 9 g = 45 g / 71 dB
Fam. Teubner	18 g / 53 dB	+17 g = 35 g / 62 dB	+15 g = 50 g / 75 dB
Fam. Thiel	19 g / 53 dB	+15 g = 34 g / 63 dB	
Fam. Werner	19 g / 50 dB	+16 g = 35 g / 62 dB	+11 g = 46 g / 74 dB

Tabelle 2: Schirmdämpfungswerte bei 2,44 GHz

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 21.11.2019
Werner-Heisenberg-Weg 39
<prof.peter.pauli@t-online.de>

4. Abschließende Bewertung:

Die Anwender haben einen normalen Schlafraum mit ca. 15 qm Grundfläche drei mal gestrichen und bei jedem Farbauftrag eine mit gestrichene DIN A4 Kartonage für die Messung beiseite gelegt. Diese wurden für die Messung zur Verfügung gestellt.
Die Kartonage wurde blanko gewogen (15 g), sowie die zur Verfügung gestellten Farbkartonagen. Beide Werte wurden voneinander abgezogen, so dass das Gewicht des reinen Farbauftrags ermittelt werden konnte, der in der Tabelle angegeben ist.
Da die Proben von den Anwendern angefertigt wurden, ist eine Gleichmäßigkeit des Farbauftrags relativ, jedoch so homogen als möglich.

Die ***Abschirmfarbe T 98*** (**einlagig** von den Anwendern aufgetragen) zeigt im ganzen interessierenden Mobilfunkfrequenzbereich eine Abschirmwirkung von im Schnitt **50 dB**. Das bedeutet, dass weniger als **0,001%** der auftreffenden Leistung durch den Farbauftrag hindurchtritt. 99,999% der Leistung wurde abgeschirmt.
Bei **zweilagigem** Farbauftrag erhöht sich die Abschirmwirkung auf über **60 dB**, **dreilagig** sogar auf über **70 dB**. Jetzt werden nur noch **0,00001%** hindurch gelassen. 99,99999% der eintreffenden Leistung auf so gestrichene Wand und Deckenflächen werden abgeschirmt.

Die Evaluierung spiegelt eine gute Betrachtungsweise wieder, wie in der Praxis Schlaf- und Kinderzimmer geschirmt werden und welche Effektivität schlussendlich die aufgetragene Farbstärke hat.

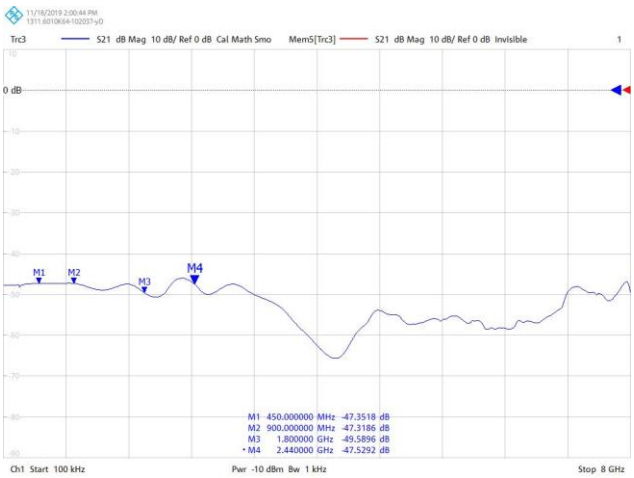
Bei den derzeit eingeführten **5G-Mobilfunkdiensten bei 3,4 GHz – 3,8 GHz** schirmt die T 98 so aufgetragen einlagig über **50dB**, zweilagig über **60dB** und garantiert die dreilagig aufgetragene ***Abschirmfarbe T 98*** sogar eine Schirmdämpfung von über **70dB**. Weniger als ein Millionstel der eintreffenden HF-Leistung gelangt noch durch die Farbschicht. **99,99999%** der eintreffenden Leistung werden von ihr beseitigt.

Die Resultate zeigen, dass die *Abschirmfarbe T 98* bei sorgfältigem und dreimaligem, sattem Farbauftrag exzellente HF-Abschirmungseigenschaften aufweist.

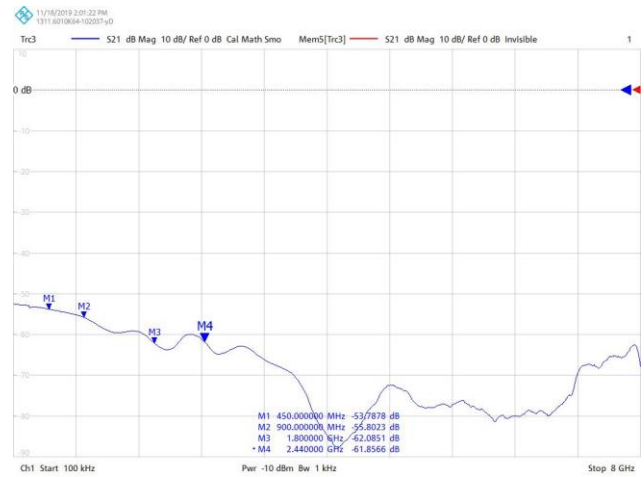
Neubiberg, 21.11.2019 Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

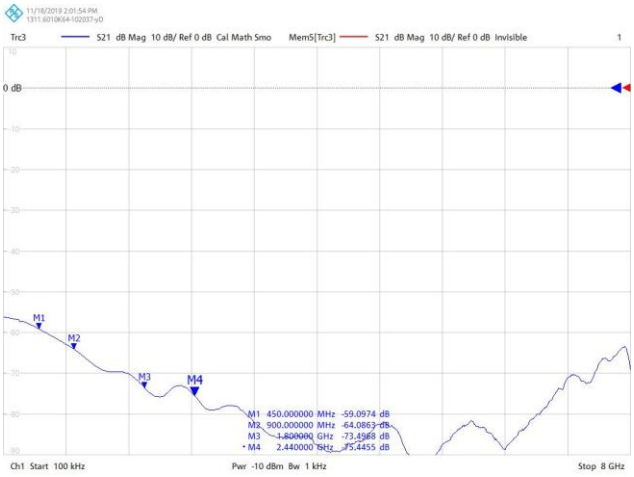
Anlage 1 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



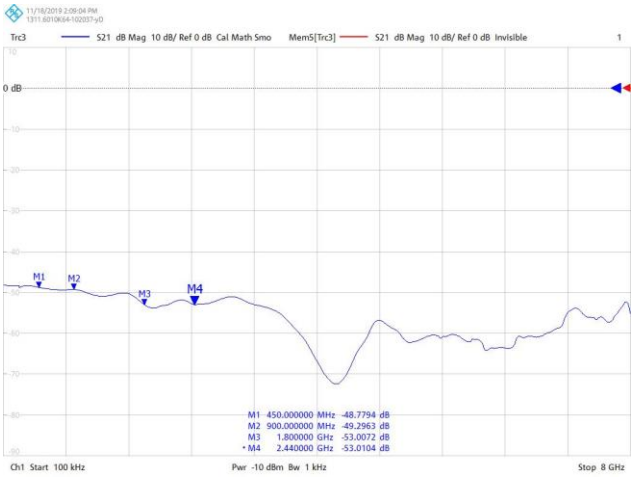
Fam Amhofer 1-lagig



Fam Amhofer 2-lagig



Fam Amhofer 3-lagig

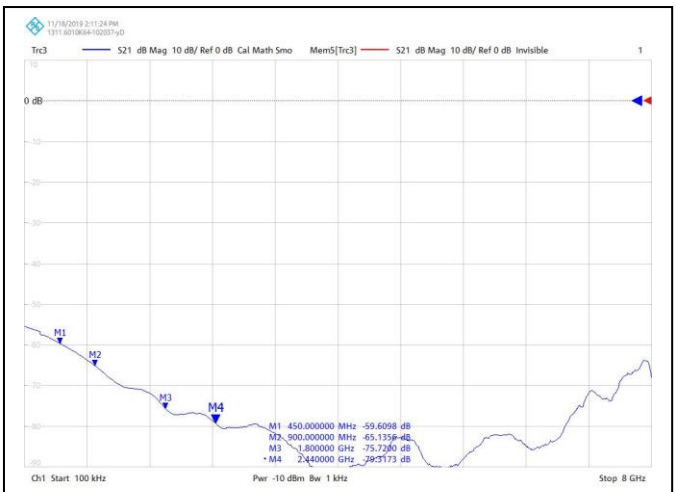


Fam Andrae 1-lagig

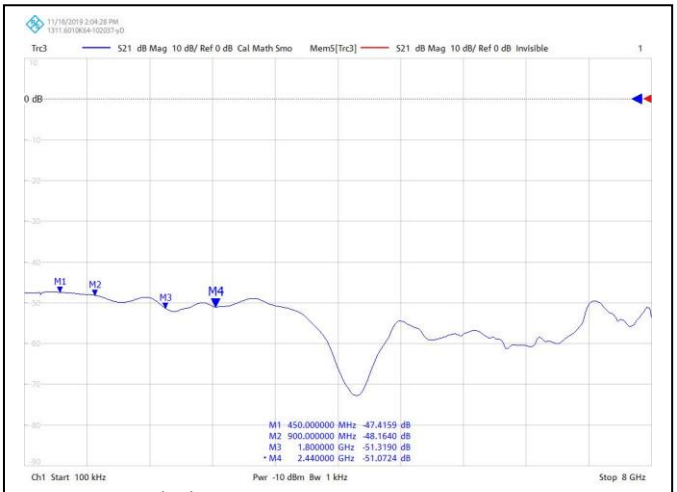
Fam Andrae 2-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

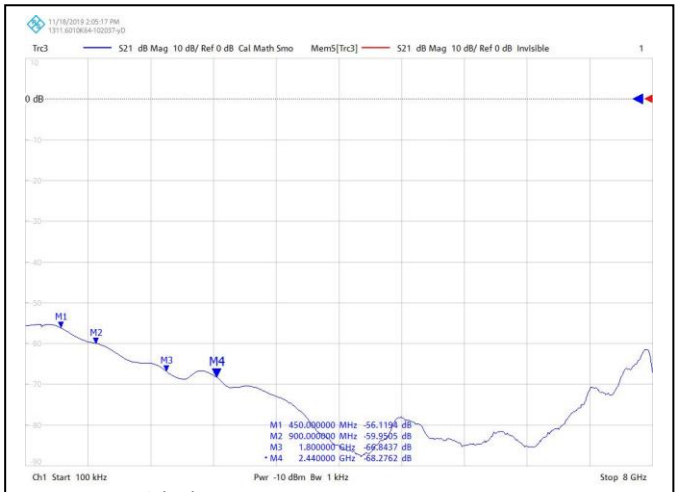
Anlage 2 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



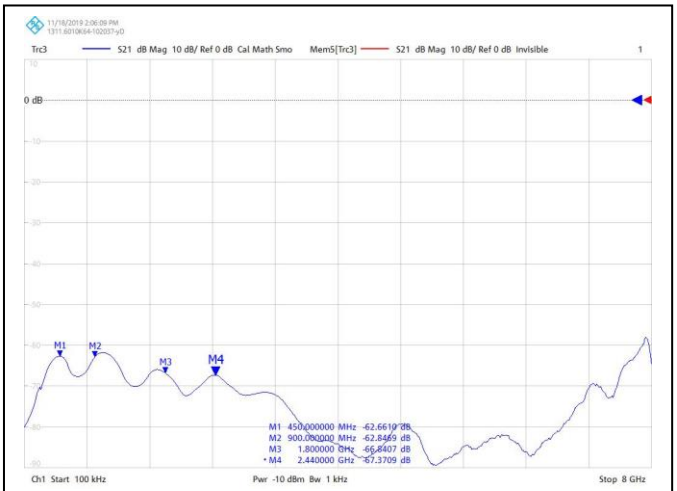
Fam Andrae 3-lagig



Fam Aumer 1-lagig



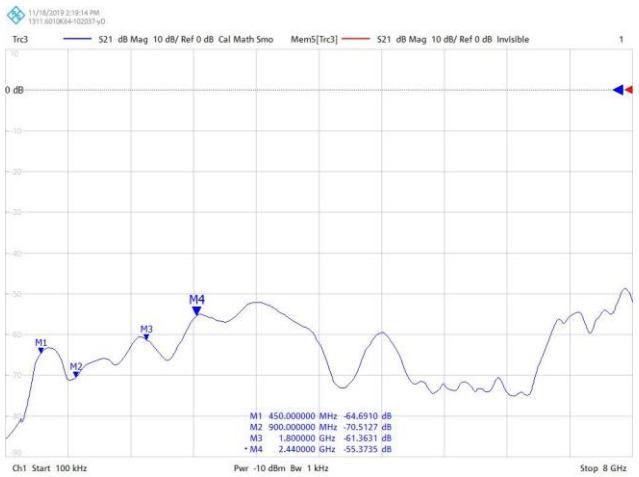
Fam Aumer 2-lagig



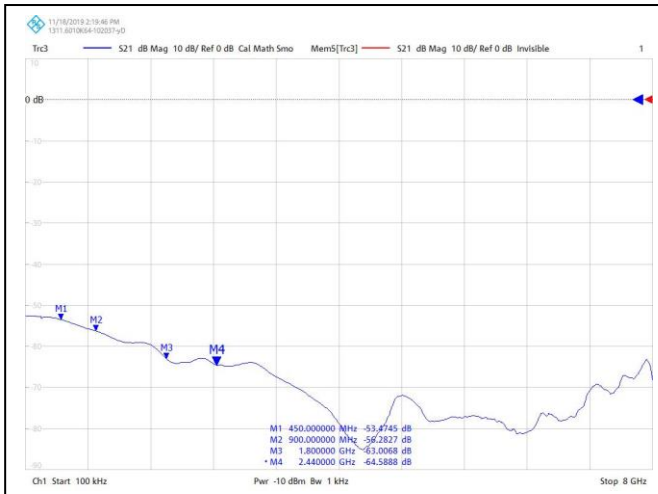
Fam Aumer 3-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

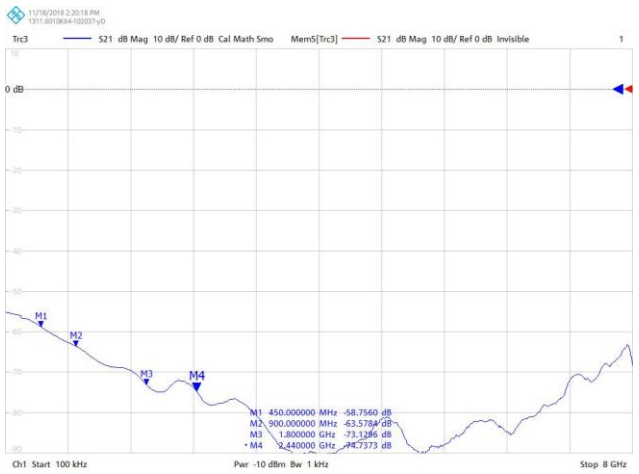
Anlage 3 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



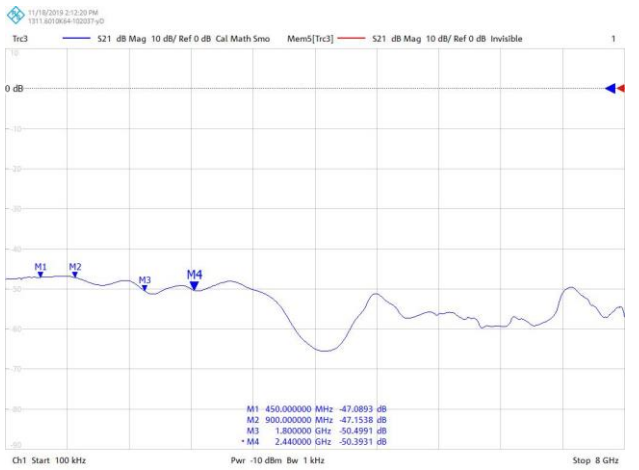
Fam Bauer 1-lagig



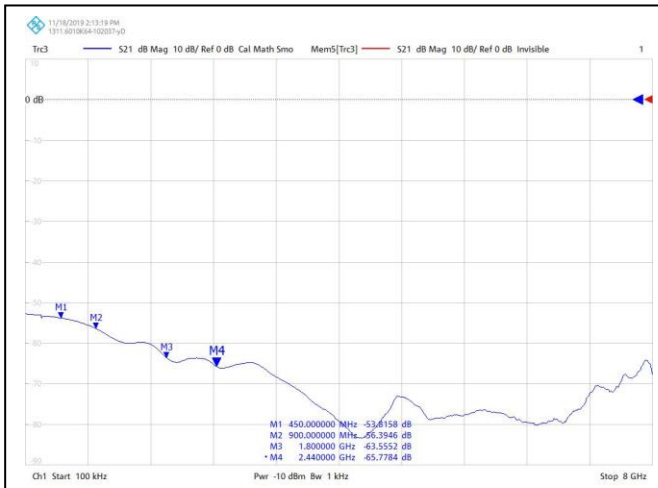
Fam Bauer 2-lagig



Fam Bauer 3-lagig



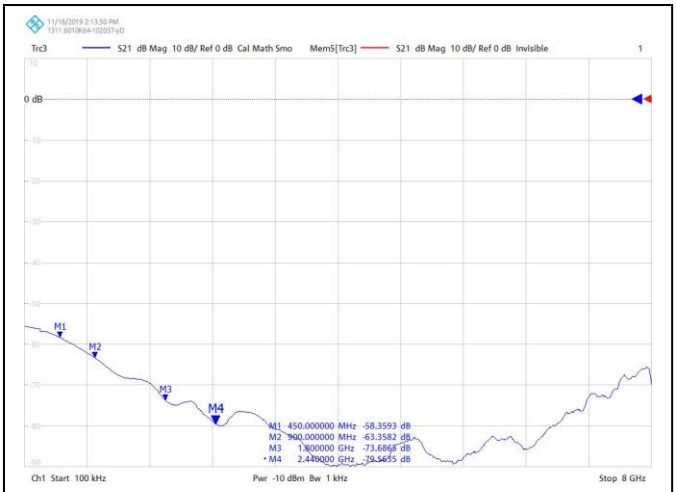
Fam Berger 1-lagig



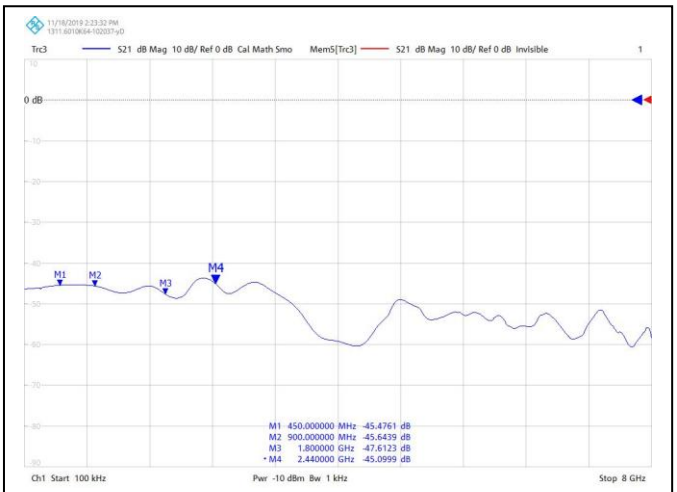
Fam Berger 2-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

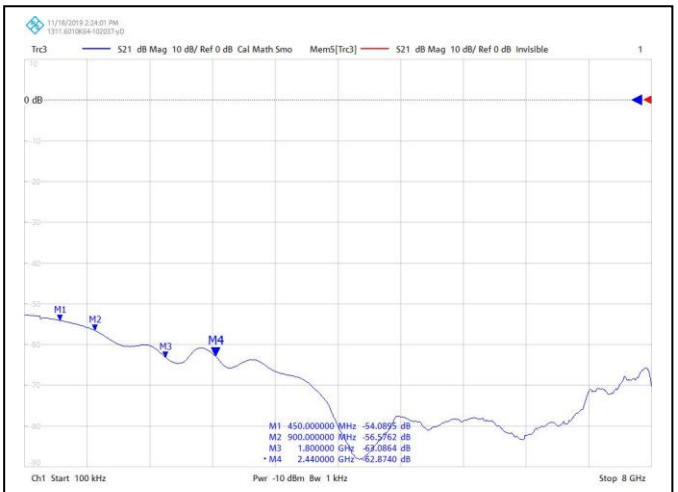
Anlage 4 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



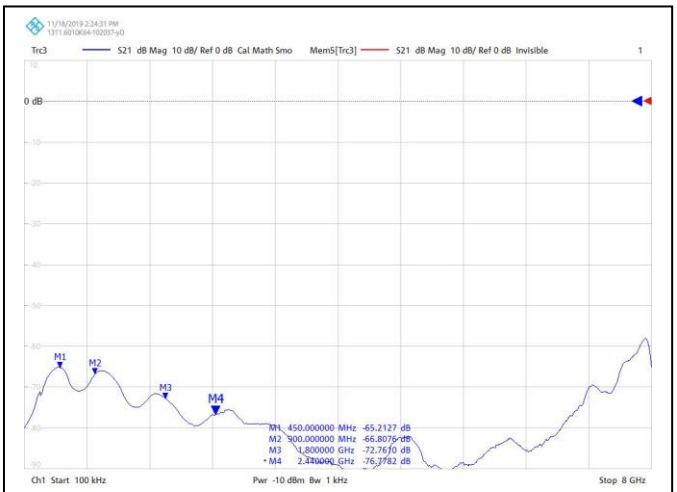
Fam Berger 3-lagig



Fam Heeb 1-lagig



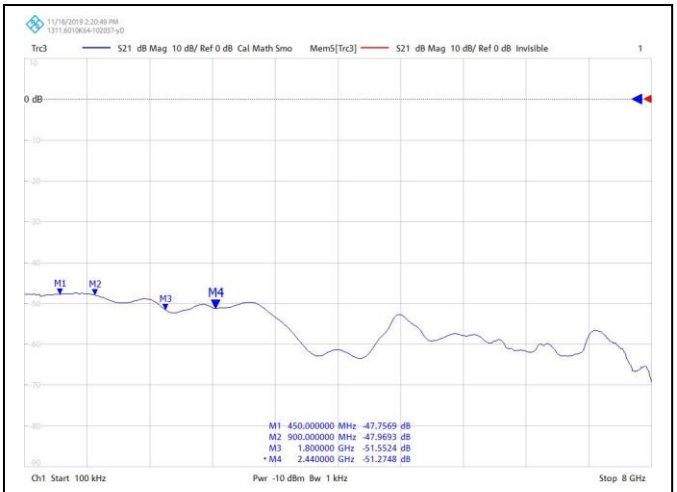
Fam Heeb 2-lagig



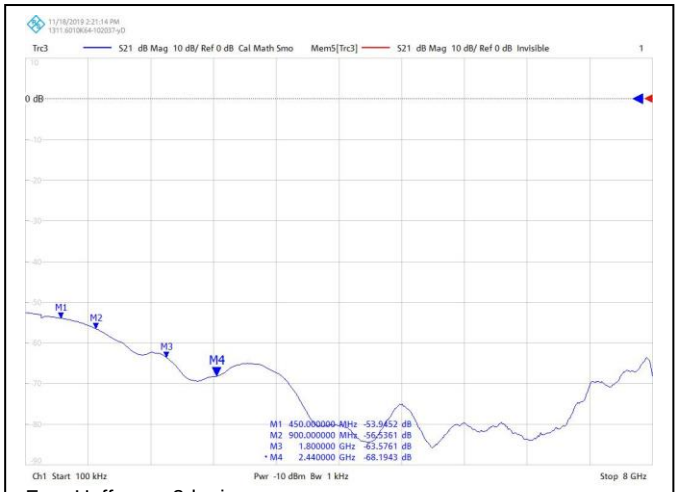
Fam Heeb 3-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

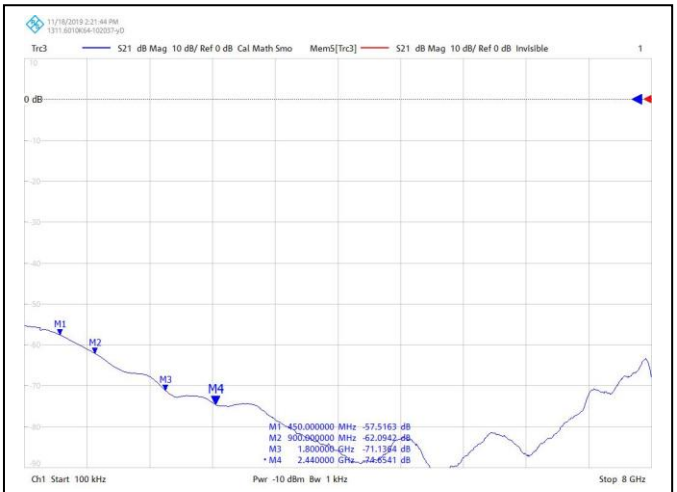
Anlage 5 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



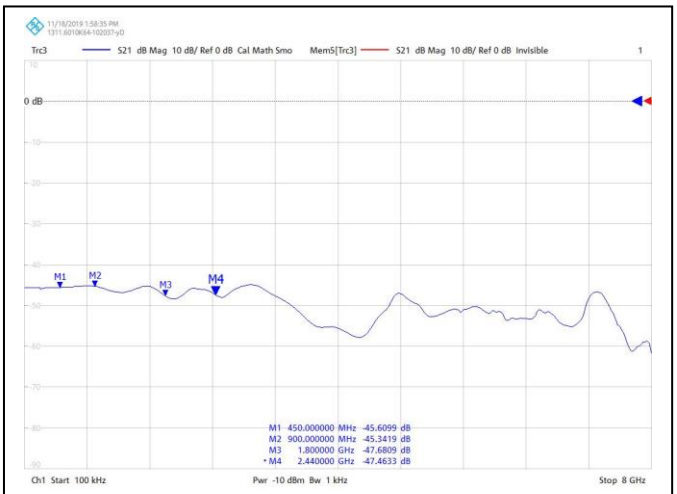
Fam Hoffmann 1-lagig



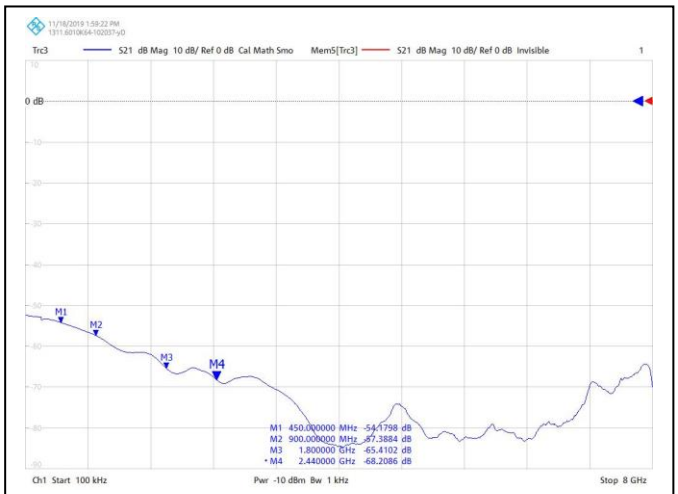
Fam Hoffmann 2-lagig



Fam Hoffmann 3-lagig



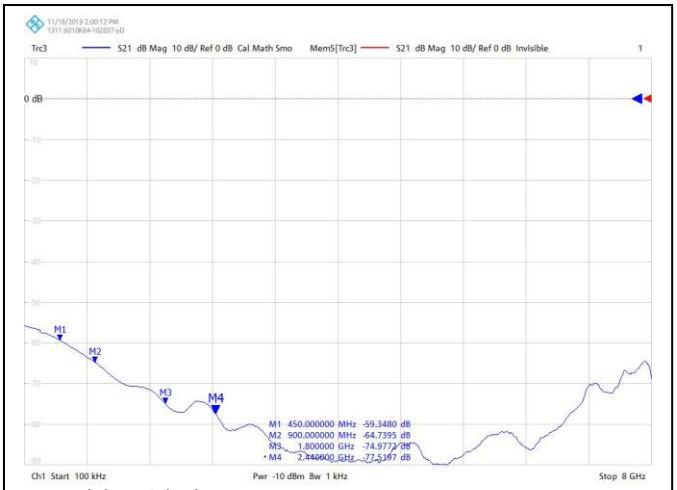
Fam Klebert 1-lagig



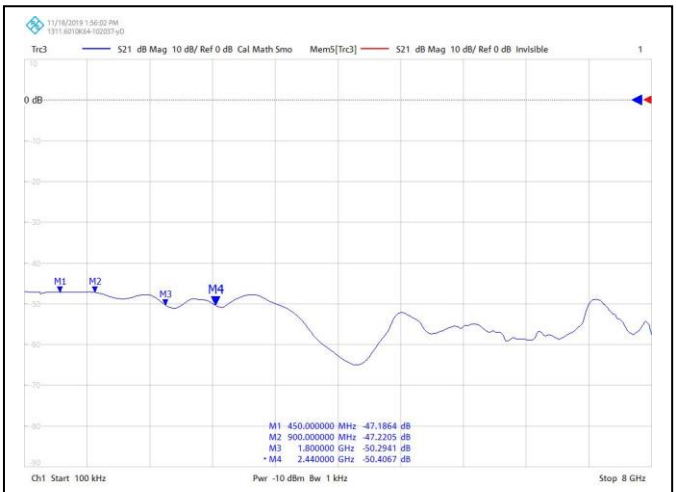
Fam Klebert 2-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

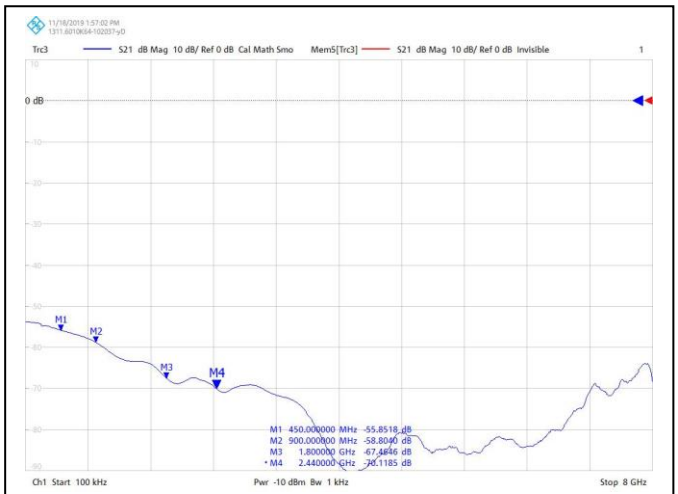
Anlage 6 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



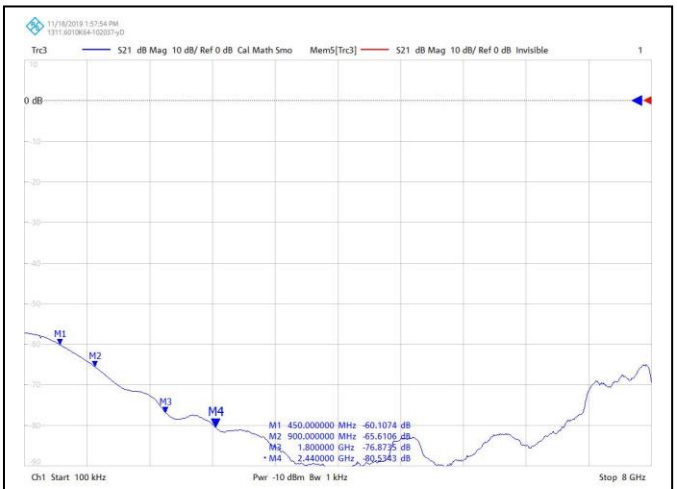
Fam Klebert 3-lagig



Fam Martin 1-lagig



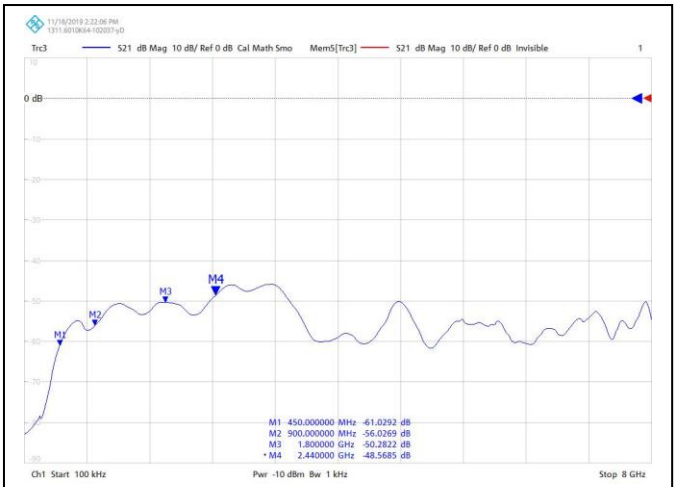
Fam Martin 2-lagig



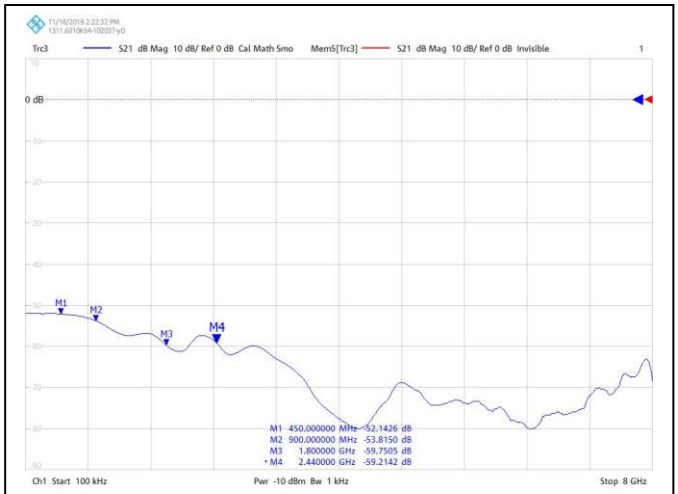
Fam Martin 3-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

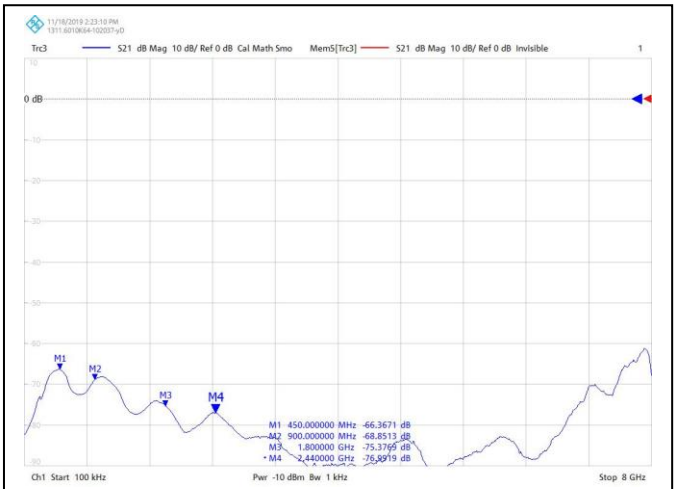
Anlage 7 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



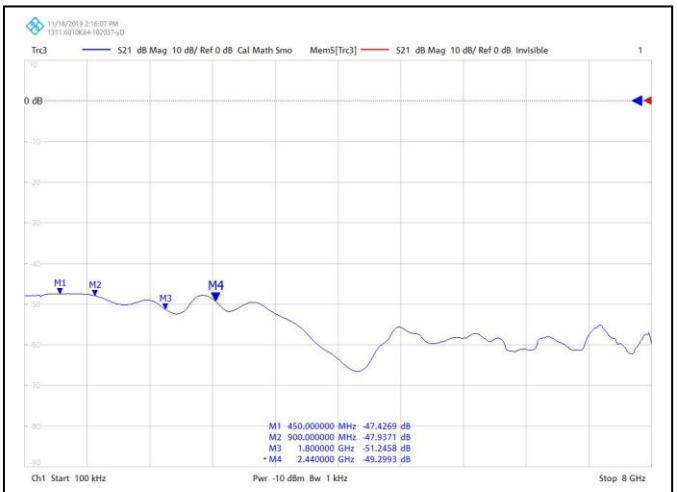
Fam Pacher 1-lagig



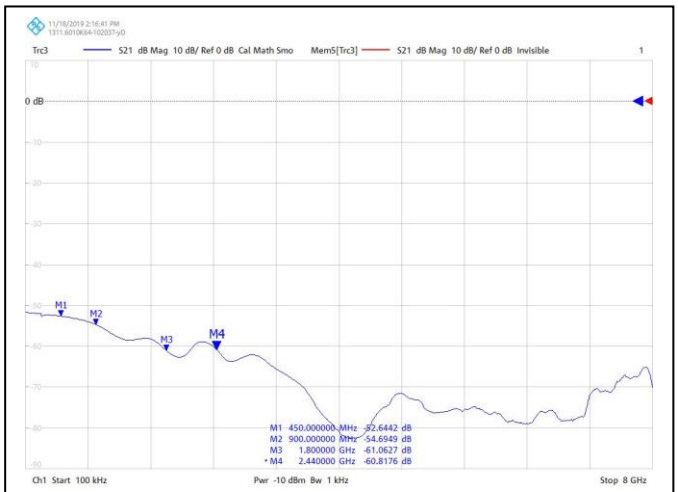
Fam Pacher 2-lagig



Fam Pacher 3-lagig



Fam Schuler 1-lagig

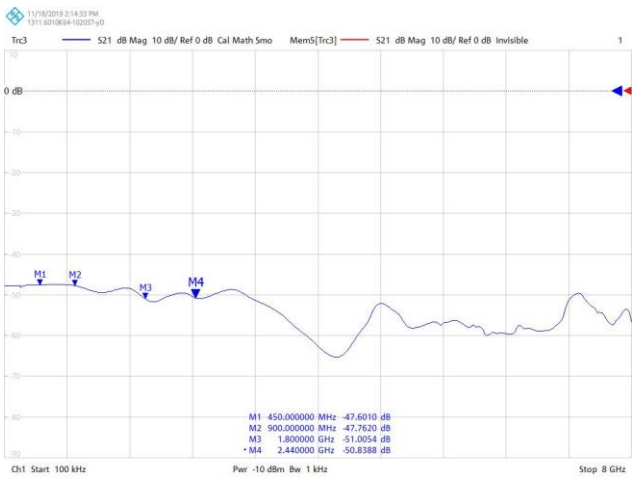


Fam Schuler 2-lagig

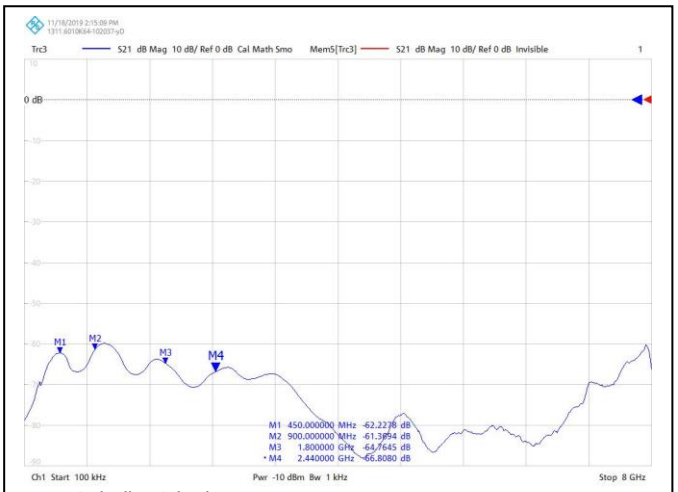
Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

Anlage 8 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation

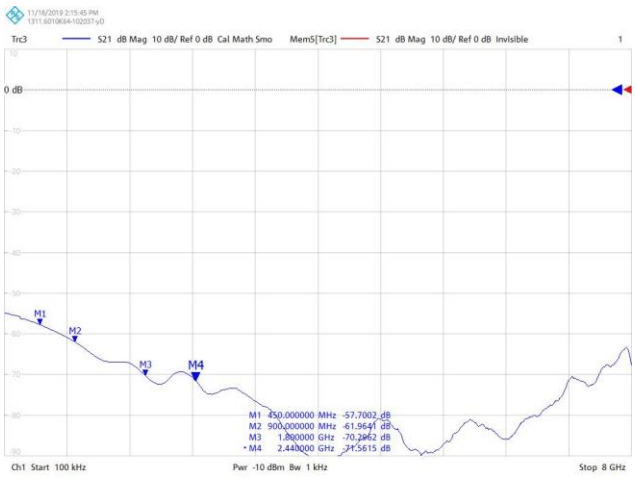
Fam Schuler 3-lagig



Fam Spindler 1-lagig



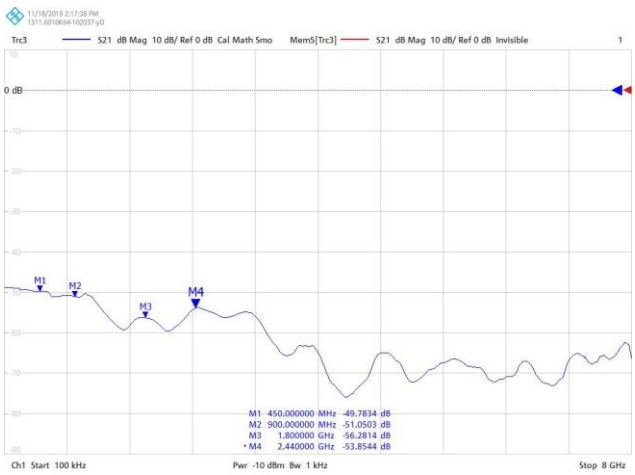
Fam Spindler 2-lagig



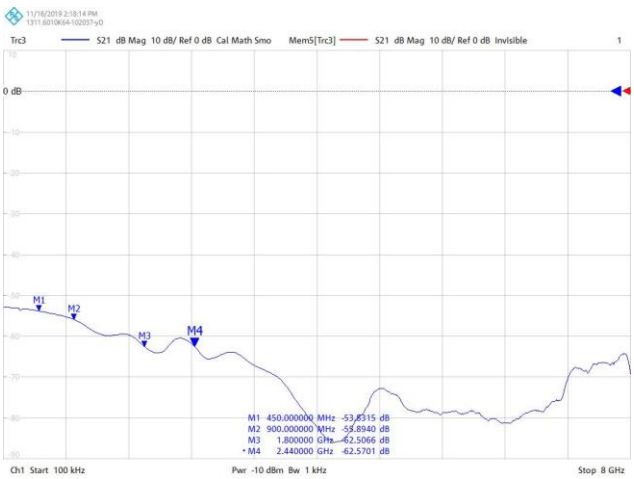
Fam Spindler 3-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

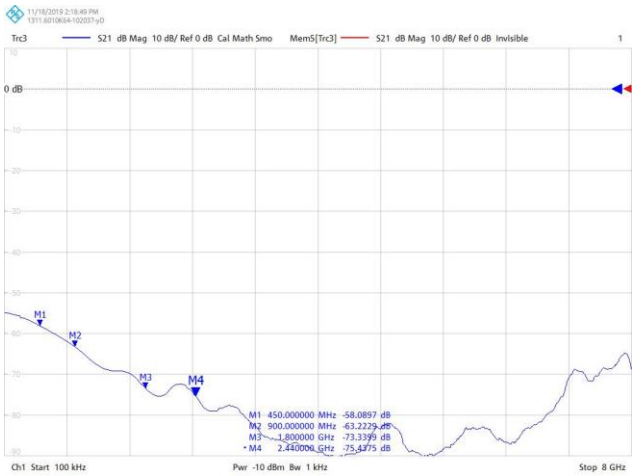
Anlage 9 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



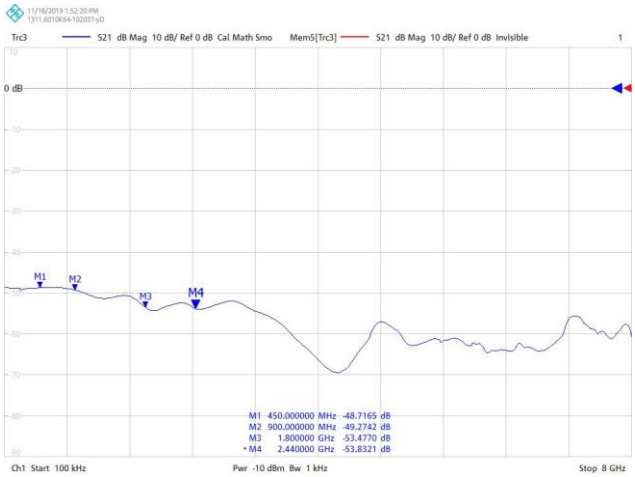
Fam Teubner 1-lagig



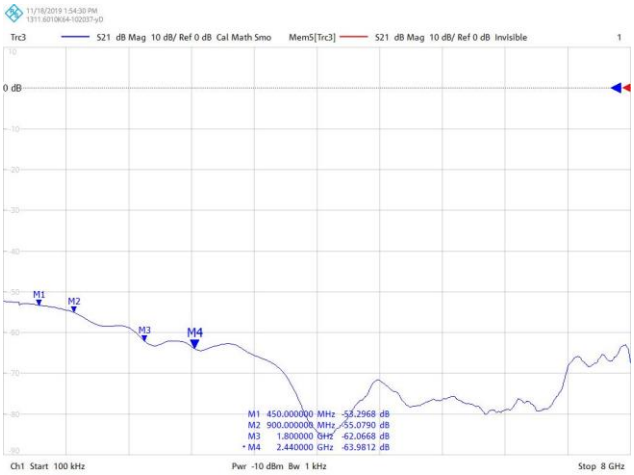
Fam Teubner 2-lagig



Fam Teubner 3-lagig



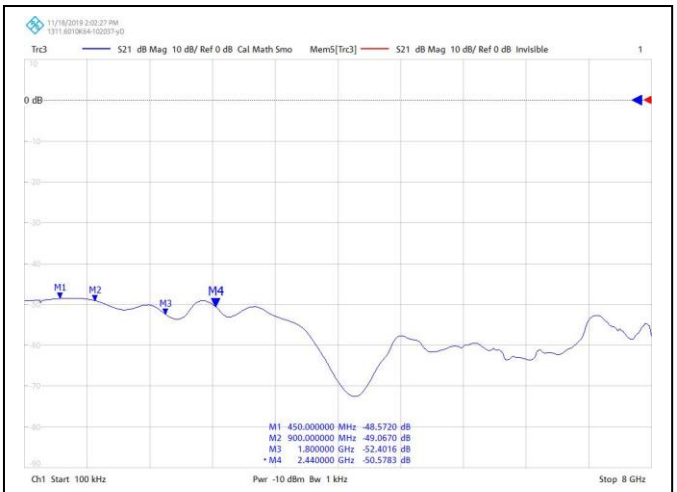
Fam Thiel 1-lagig



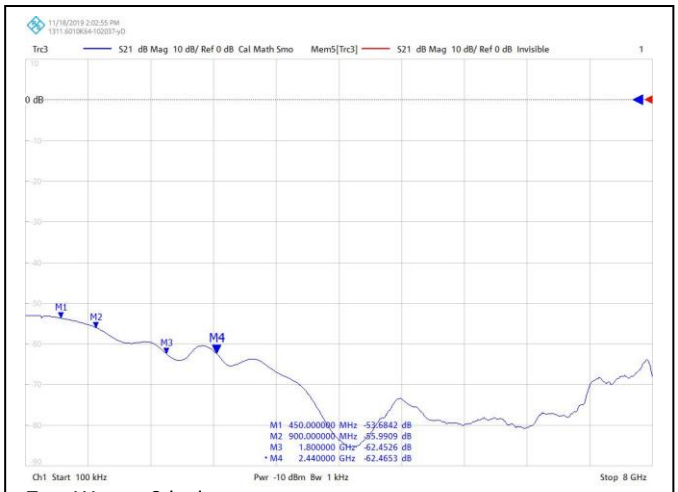
Fam Thiel 2-lagig

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

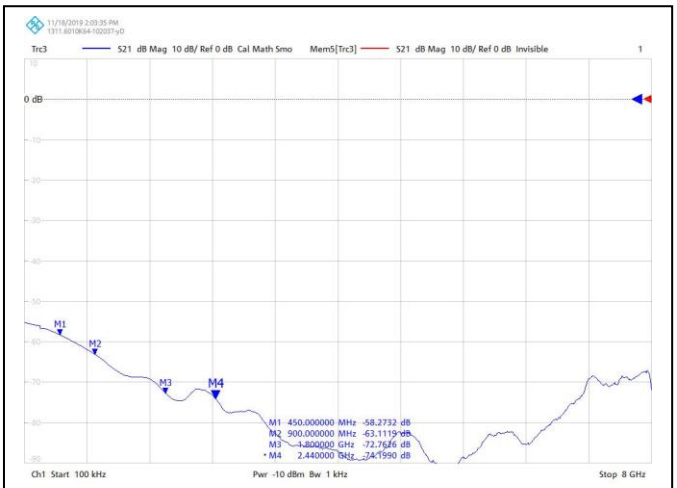
Anlage 10 zum Gutachten vom 21.11. 2019
Messung nach ASTM-Standard D- 4935-2010
mit ungerichteter Polarisation



Fam Werner 1-lagig



Fam Werner 2-lagig



Fam Werner 3-lagig