Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli

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

Gutachten

vom 17.06.2023

Auftraggeber: **Silver25**
Regina Lupzik
Kapellenberg 10
09120 Chemnitz

Messobjekte: ① Schirmstoff **schwarz** (gemessen am 7.6.2023)
② Schirmstoff **beige** (gemessen am 14.6.2023)
Beide Stoffe wurden einlagig und zweilagig gemessen

Auftrag: Ermittlung der Schirmdämpfung gegen elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von 10 MHz bis 4 GHz

Prüfungsgrundlage: ASTM D-4935-2018

Datum d. Messungen: 07.06.2023 und 14.06.2023

Umfang: 4 Seiten Text und 4 Messkurven in den 2 Anlagen

Erläuterung: Die Messungen an beiden Schirmstoffen wurden nach dem Standard ASTM D-4935-2018 (American Society of Testing and Materials) mit ungerichteter Polarisation durchgeführt. Der Messvorgang wird auf Seite 3 erläutert. In dem koaxialen Messadapter, in dem die Proben eingespannt wurden, haben elektrische Feldstärken in allen Richtungen radial zwischen Innenleiter und Außenleiter auf das Messobjekt eingewirkt (s. Bild 1).

Zur Kontrolle der Schirmwirkung gegenüber linearen vertikal und horizontal polarisierten Wellen wurden die Prüfmuster auch zwischen zwei Doppelsteg-Hornantennen im Frequenzbereich von 900 MHz – 8 GHz vermessen. Hier zeigte sich bei beiden Mustern kein auffälliger Unterschied in den beiden Polarisationsrichtungen.

1. Vorbemerkungen

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

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

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

Diese Tabelle ermöglicht die Umrechnung der ermittelten logarithmischen Werte in Prozentwerte, wobei in der Regel – wie hier in dieser Tabelle – die durch den Schirm hindurch dringende *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

Tabelle 1: Umrechnung von Dezibelwerten in Prozentwerte

2. Messmethode: Schirmdämpfungsmessung nach ASTM D 4935-18 von 10 MHz – 4 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.

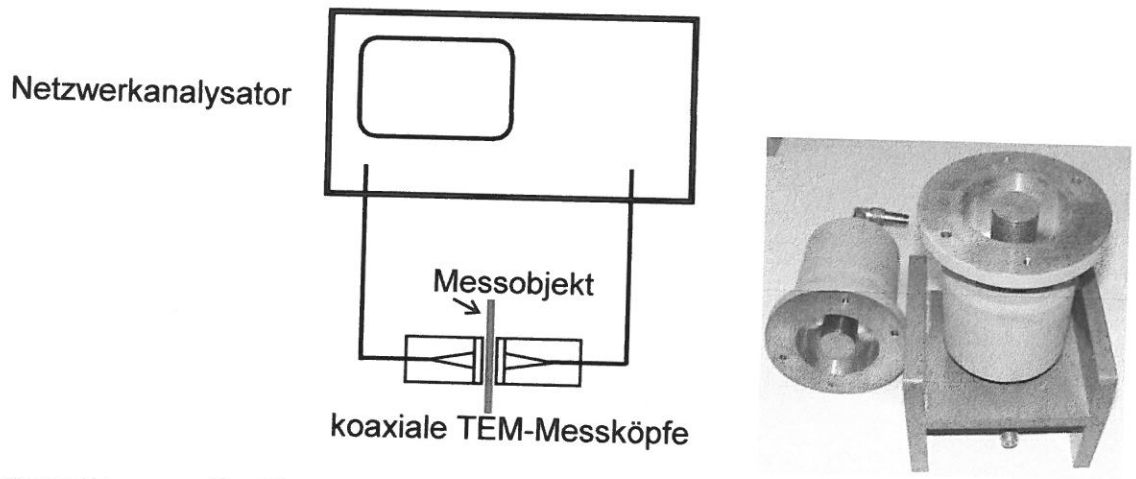


Bild 1 Messanordnung zur Ermittlung der Schirmdämpfung mit TEM-Messköpfen

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:

Vektorieller Netzwerkanalysator Typ ZVRC (30 kHz – 8 GHz) Rohde & Schwarz
Koaxiale TEM-Mess-Sonden, (1 MHz – 4 GHz), Fa. Wandel & Goltermann (s.o.)

Bei dieser Messung treffen in der TEM-Anordnung die elektrischen Feldstärken - wie bei koaxialen Leitungen üblich - in allen Polarisationsrichtungen 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. Diesen Zustand findet man in der Praxis in der Regel vor, sodass die Resultate sehr realitätsnah sind.

3. Messergebnisse

In den Messprotokollen in den Anlagen sind rechts oben für mehrere interessierende Mobil-Funk-Frequenzen sogenannte Frequenzmarken eingeblendet, bei denen man die gemessene Schirmdämpfung sehr exakt ablesen kann. Zur schnelleren Übersicht sind in Tabelle 2 diese Messwerte für mehrere interessierende Mobilfunkfrequenzen zusammengefasst:

	Messungen nach ASTM mit 360°-Polarisation			
	① Schirmstoff **schwarz** (gemessen am 7.6.2023)		② Schirmstoff **beige** (gemessen am 14.06.2023)	
	Einlagig	Zweilagig	Einlagig	Zweilagig
450 MHz/Tetra, Tetrapol C-Netz, Chekker-Netze	**27dB 0,2%**	**34dB 0,04%**	**28dB 0,16%**	**36dB 0,025%**
900MHz/ D-Netz GSM 900 u. LTE-Kanäle	**24dB 0,4%**	**33dB 0,05%**	**25dB 0,32%**	**35dB 0,032%**
1800 MHz/ E-Netz GSM 1800	**20dB 1,0%**	**31dB 0,08%**	**21dB 0,8%**	**32dB 0,06%**
2450 MHz/ W-LAN, Blue Tooth, Mikrowellenherd und LTE-Kanäle	**18dB 1,6%**	**29dB 0,12%**	**18dB 1,6%**	**30dB 0,1%**
3,2 – 3,8 GHz, **5G-Netze**	**17dB 2,0%**	**28dB 0,18%**	**17dB 2,0%**	**28dB 0,18%**

Tabelle 2 Schirmdämpfungswerte in dB und Restdurchlasswerte für die Leistung in Prozent

Man sieht, dass beide Stoffmuster etwa gleich gute Abschirmwerte zeigen.

Werden die Stoffe doppellagig verarbeitet, erzielt man natürlich noch bessere Schirmdämpfungswerte. Bei einer Schirmdämpfung von 30dB wird nur 0,1% der eintreffenden Leistung hindurchgelassen. 99,9% der Leistung wird „weggeschirmt", was bei der Anwendung dieser Schirmstoffe eine bemerkenswerte Entlastung von elektromagnetischer Bestrahlung bedeutet.

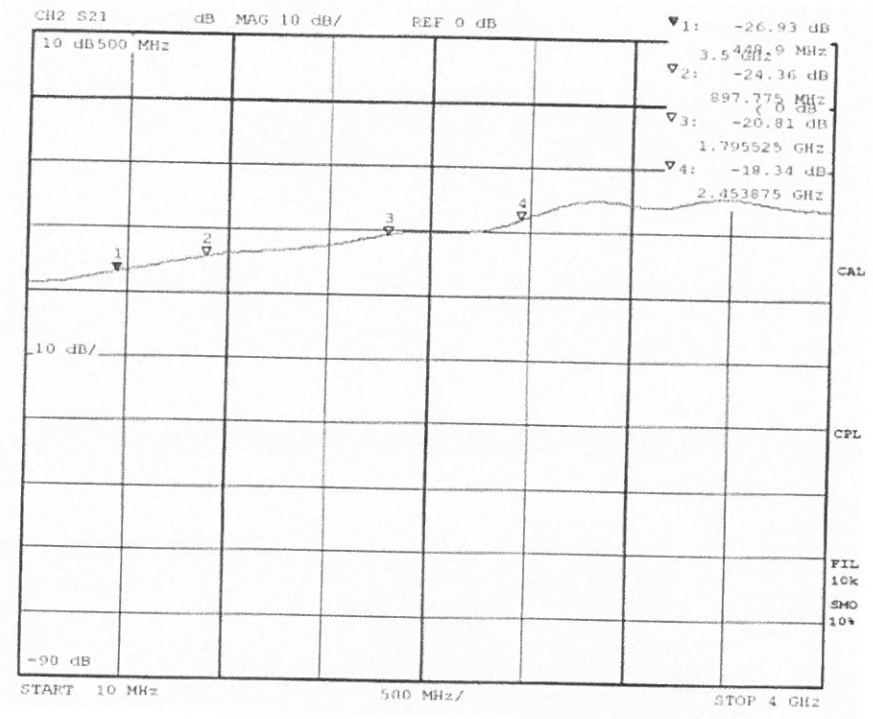
Neubiberg, 17.06.2023

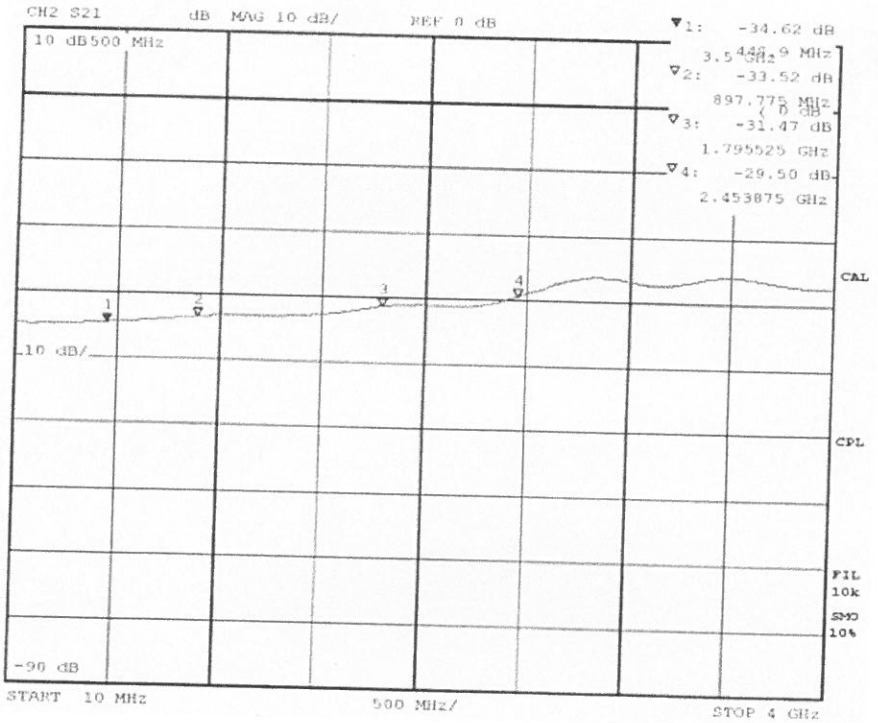
Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli

Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli

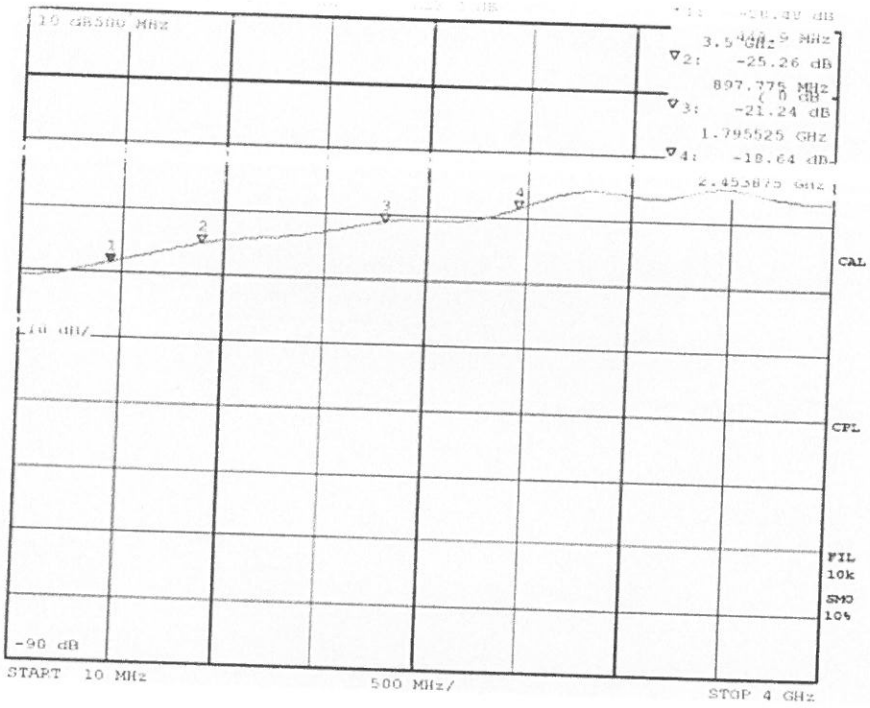
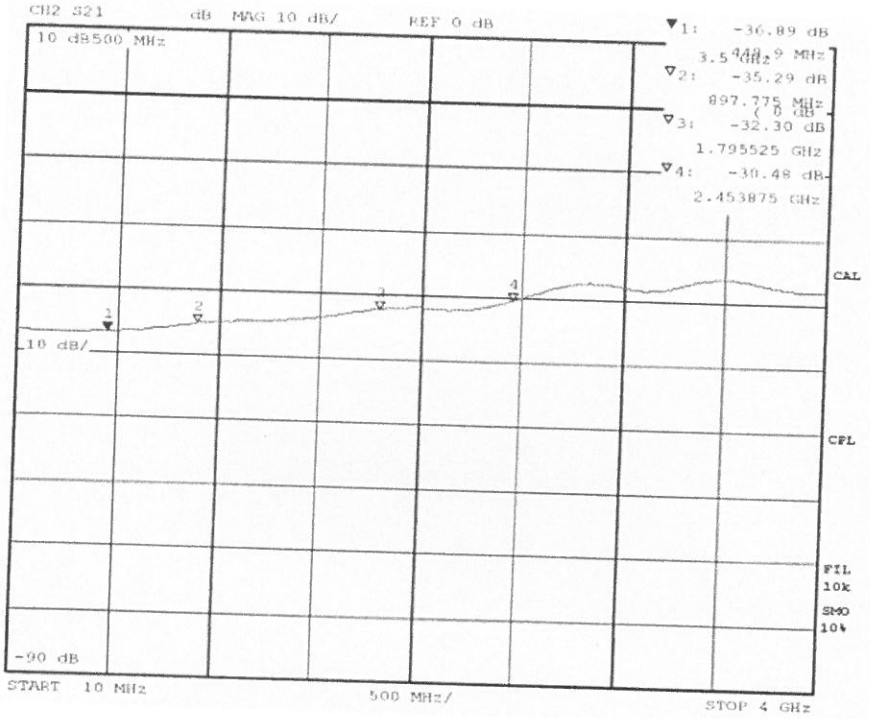
Anlage 1 zum Gutachten vom 17.06.2023
Messung nach ASTM D-4935-18
mit 360°-Polarisation

Messobjekt: ① Schirmstoff schwarz
Obere Kurve: Einlagig gemessen; untere Kurve: Doppellagig gemessen
Frequenzbereich: 10 MHz – 4 GHz





Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli

Anlage 2 zum Gutachten vom 17.06.2023
Messung nach ASTM-D-4935-18
mit 360°-Polarisation

Messobjekt: ② Schirmstoff beige
Obere Kurve: Einlagig gemessen; untere Kurve: Doppellagig gemessen
Frequenzbereich: 10 MHz – 4 GHz