

Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli
Professor für Hochfrequenz-,
Mikrowellen- u. Radartechnik an der
Universität der Bundeswehr München
85577 Neubiberg

**Ingenieurbüro für Hochfrequenz-,
Mikrowellen- und Radartechnik**
Alter Bahnhofplatz 26
83646 Bad Tölz
E-Mail: prof.peter.pauli@t-online.de
Seite 1

Gutachten

vom 11.12.2023

Auftraggeber: **dormiente GmbH**
Dormiente Platz
Auf dem langen Furt 14 – 16
35452 Heuchelheim

Messobjekt: ***Dormiente Abschirmgewebe***
Baumwollzwirn mit Kupferdraht

Auftrag: Messung der Schirmdämpfung gegenüber elektromagnetischen Wellen

Prüfungsgrundlagen: **ASTM D- 4935-18** (American Society Testing & Materials)
Frequenzbereich von 10 MHz – 4,5 GHz
360°-Polarisation

Datum d. Messungen: 11. Dezember 2023

Umfang: 4 Seiten Text, 1 Messkurve in der Anlage

Kommentar: Bei einer Messungen mit linearen Polarisationen wurde festgestellt, dass das untersuchte Prüfmuster im oberen GHz-Bereich gegenüber elektromagnetischen Wellen mit vertikaler und horizontaler Polarisation um 2dB – 3dB unterschiedliche Schirmdämpfungswerte aufwies. Dies liegt daran, dass der Kupferfäden in Kettrichtung etwas anders eingearbeitet wurde als in Schuss-Richtung. Das nur zur Information.

Die Messung nach ASTM, bei der die E-Feldlinien in allen radialen Richtungen auf das Messobjekt eingestrahlt wurden, liefert einen praxisnahen Mittelwert, da man nie weiß, mit welcher Polarisation die elektromagnetische Welle auf das Schirmgewebe auftreffen wird.

Die Schirmdämpfungswerte sind für die gängigen Mobil- und Datenfunkfrequenzen in Tabelle 2 aufgelistet.

1. Vorbemerkungen

Um die Wirksamkeit des Prüfmusters bei der Abschirmung von elektromagnetischen Wellen zu ermitteln, wurden die unter Ziff. 2 beschriebenen Messungen durchgeführt.

Zur Interpretation der Messkurven ist es hilfreich, untenstehende Umrechnungstabelle zu verwenden:

Dabei wurde die Schirmwirkung, d.h. die Dämpfung *der elektromagnetischen Welle* durch den Schirm, in **Dezibel (= dB)** ermittelt. (Siehe Messkurven)

Dieser dB-Wert gibt an, wie stark der Pegel der Welle abgeschwächt wurde, während sie den Schirm durchlaufen hat.

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

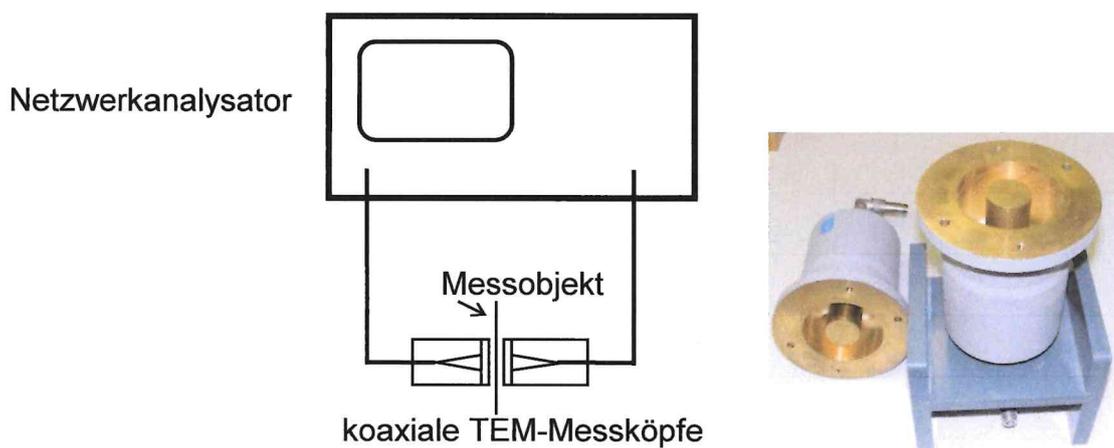
Umrechnung der Dämpfung von dB in %			
dB	Leistungs-Durchlass in %	dB	Leistungs-Durchlass in %
0	100,00		
1	81,00	21	0,78
2	62,80	22	0,63
3	50,00	23	0,50
4	40,00	24	0,39
5	31,60	25	0,31
6	25,00	26	0,25
7	20,00	27	0,20
8	16,00	28	0,18
9	12,50	29	0,12
10	10,00	30	0,10
11	7,90	31	0,08
12	6,25	32	0,06
13	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

Die Berechnung der Schirmdämpfung in dB aus der Leistung P_1 vor dem Schirm und P_2 hinter dem Schirm oder aus den entsprechenden Feldstärken geschieht mit folgenden Gleichungen:

$$a_{Schirm} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 20 \cdot \log \frac{E_2}{E_1}$$

2. Schirmdämpfungsmessung nach ASTM D 4935-2018 von 10 MHz – 4,5 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 für die 0-dB-Eichung ein neutrales, nichtschirmendes Material zwischen die Messköpfe für die Transmissionsdämpfung eingefügt.



Messanordnung z. Ermittlung d. Schirmdämpfung mit TEM-Messköpfen nach ASTM D-4935-2018

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:

Vektorieller Netzwerkanalysator Typ ZVRE (20 kHz – 8 GHz) Fa. Rohde & Schwarz
Koaxiale TEM-Mess-Sonden, (1 MHz – 4/8 GHz), Fa. Wandel & Goltermann
(s. Foto)

Bei dieser Messung treffen in der TEM-Anordnung - wie bei koaxialen Leitungen üblich - die elektrischen Feldstärken in allen Polarisationsrichtungen auf das Messobjekt (sogenannte 360° -Polarisation).

Damit kann man zwar keine diskrete Aussage über das Verhalten des Messobjektes gegenüber einer bestimmten linearen Polarisation machen. Andererseits bekommt man einen Eindruck, wie sich das Messobjekt gegenüber Polarisierungen von beliebigen Richtungen verhalten wird.

Generell kann man feststellen, dass ein Messobjekt, welches bei diesen Messungen mit der 360° -Polarisation gut schirmt, auch gegenüber den beiden linearen vertikalen und horizontalen Polarisierungen mindestens entsprechend gut schirmen wird. Hiermit erhält man sehr realitätsnahe Schirmdämpfungswerte.

3. Erläuterungen zu den Messergebnissen

In dieser Tabelle sind die Schirmdämpfungswerte des **Dormiente Abschirmgewebes** Baumwollzwirn mit Kupferdraht für diverse Funk- bzw. Mobilfunkfrequenzen aufgelistet.

Funkfrequenzbereiche:		ASTM-Messung mit 360°- Polarisation
RFID-Frequenz	15 MHz	14 dB
UKW-Rundfunk	100 MHz	15 dB
DAB-T Digitalradio	210 MHz	15 dB
Behördenfunk TETRA u.ä.	450 MHz	17 dB
LTE (unteres Band)	800 MHz	21 dB
D-Netz, GSM 900,	900 MHz	22 dB
GPS, Gallileo Nav.-Satellit	1500 MHz	(30 dB) 23 dB *
E-Netz, GSM 1800,	1800 MHz	(36 dB) 24 dB *
Blue-Tooth, WLAN	2450 MHz	(30 dB) 25 dB *
LTE (oberes Band)	2600 MHz	(31 dB) 25 dB *
5G (3,2 – 3,8 GHz)	3500 MHz	26 dB

Tabelle 2: Schirmdämpfung bei verschiedenen Funkfrequenzen

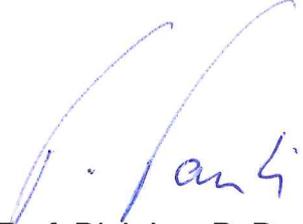
*) In der beiliegenden Messkurve sieht man zwischen den Frequenzen 1,5 GHz und ca. 2,5 GHz eine auffällige „Mulde“ im Kurvenverlauf. Diese entsteht durch einen eigentlich unerwünschten „Resonanz-effekt“ zwischen Prüfmuster und Messgefäß und täuscht dort eine erhöhte Schirmdämpfung vor. Das kommt bei diesem Stoffmuster in der Realität nicht vor und deshalb zeigt die gestrichelte Linie die realitätsnahen Werte, die man im Datenblatt oder bei der Einschätzung des Prüfmusters verwenden sollte.

Die Bedeutung der dB-Werte sei an diesen beiden Beispielen erläutert:

Bei einer gemessenen Schirmdämpfung von **17 dB** werden nur **2%** der auftreffenden Leistung durch das Schirmmaterial hindurchgelassen. **98%** werden durch Reflexion „beseitigt“.

Bei einer Schirmdämpfung von **23 dB** werden **99,5%** der eintreffenden Leistung abgeschirmt und nur **0,5%** der Leistung werden hindurchgelassen.

Neubiberg, 11.12.2023



Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

Messobjekt: Dormiente Abschirmgewebe Baumwollzwirn mit Kupferdraht
Frequenzbereich: 10 MHz – 4,5 GHz

