

Gutachten

vom 12.06.2020

Auftraggeber: EMF-Protect
Kanalstraße 18½
D-83052 Bruckmühl

Messobjekt: *EMF-TURTAL-Abschirmfarbe PLV 2,5*
Einlagig, zweilagig und dreilagig aufgetragen auf drei
verschiedenen Pappelholzplatten (50cm x 50cm x 0,4 cm)
Nach Trocknung der Farbaufträge lagen, umgerechnet für
jeweils einen Quadratmeter, folgende Trockenfarbbelege
auf den Prüfmustern vor:
Für den einlagigen Anstrich: 100 g/m²
Für den zweilagigen Anstrich: 208 g/m²
Für den dreilagigen Anstrich: 316 g/m²

Auftrag: Ermittlung der Schirmdämpfung gegenüber elektromagne-
tischen Wellen im Frequenzbereich von 40 MHz – 40GHz

Prüfungsgrundlage: ASTM D-4935-18 und in Anlehnung an IEEE 299-06

Datum d. Messungen: 10.06.2020

Umfang: 5 Seiten Text, 3 Messprotokolle als Anlagen

Messablauf: Die Prüfmuster mit der Abschirmfarbe *EMF-Turtal PLV 2,5* wurden im Frequenzbereich von 40 MHz – 8GHz bei der Messung nach ASTM mit elektromagnetischen Wellen mit Polarisation in allen Richtungen untersucht. Die Messresultate haben auch für linear vertikale und horizontale Polarisation Gültigkeit. Von 10GHz bis 40GHz wurden die Messungen in Anlehnung an IEEE 299 mit linearer vertikaler Polarisation durchgeführt. Auch hier gelten – aufgrund der Homogenität des Farbauftrags – die Resultate für Wellen mit horizontaler oder beliebig schräger Polarisation gleichermaßen.

Die gemessenen Schirmdämpfungswerte sind aus der Tabelle auf Seite 5 und aus den in den Anlagen beigefügten Messkurven zu entnehmen.

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):

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

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

Tabelle 1: Umrechnung von dB-Werten in Prozentwerte

2. Messaufbauten für die Schirmdämpfungsmessung

2.1 nach ASTM D 4935-2018 von 500 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 einer gleich-dicken, nicht schirmenden 4mm-Pappelholzplatte zwischen den Messköpfen für die Transmissionsmessung auf „0 dB“ geeicht.

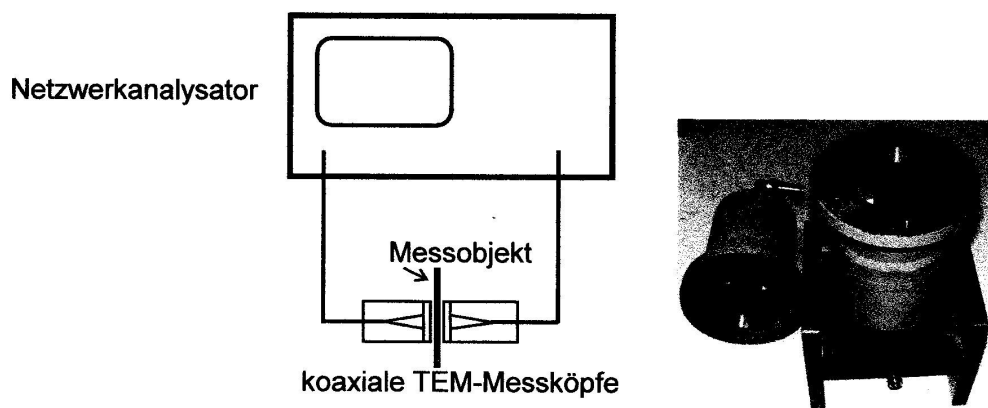


Bild 1 Messanordnung zur Ermittlung der Schirmdämpfung mit TEM-Messköpfen

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:

Vektorieller Netzwerkanalysator Typ ZVCE (30 kHz – 8 GHz) Rohde & Schwarz
Koaxiale TEM-Mess-Sonden, (1 MHz – 8 GHz), Fa. Wandel & Goltermann (S. Foto)

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 Polarisierung machen. Andererseits bekommt man die wichtige Information, wie sich das Messobjekt gegenüber Polarisierungen von beliebigen Richtungen verhalten wird. **Da in der Praxis die Lage der einfallenden elektrischen Feldstärken in der Regel undefiniert ist, sind diese Messresultate, gemessen nach ASTM für Platten mit homogenen Farbaufträgen sehr realitätsnah.**

2.2 Schirmdämpfungsmessung in Anlehnung an IEEE 299-2006 von 10 GHz bis 40 GHz

Diese Messungen wurden in Anlehnung an den IEEE-Standard 299-2006 am 12.06.2020 im Frequenzbereich von 10 GHz bis 40 GHz mit linear polarisierten Wellen durchgeführt. Normalerweise werden die Prüfmuster - wie in untenstehendem Bild skizziert - vor der 40cm x 40cm großen Öffnung einer Metallwand (Fläche 210cm x 200cm) platziert.

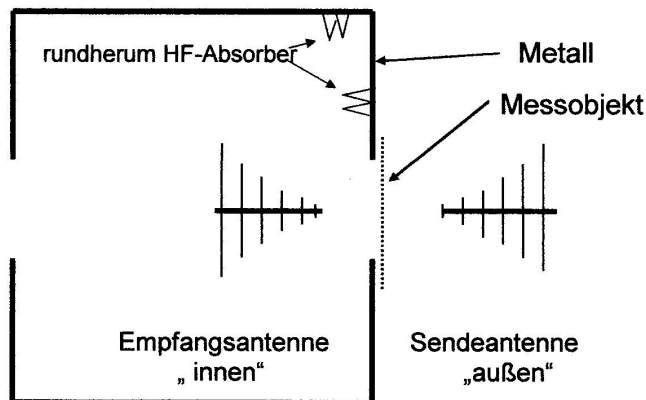


Bild 2
Messanordnung nach
IEEE 299-2006

Von der IEEE 299 wird im GHz-Bereich gefordert, dass die Sendeanenne 120 cm vor dem Prüfobjekt und Empfangsantenne 30 cm dahinter positioniert werden soll. Da die Messungen bis 40 GHz durchgeführt werden müssen und da die Prüfmuster Schirmdämpfungswerte bis über 60 dB aufweisen, würde sich bei 40GHz bei den erforderlichen Koaxialkabeln eine ungewöhnliche Zusatzdämpfung ergeben, so dass bei den vorhandenen Messgeräten die Messdynamik nicht mehr ausreicht, um Werte von über 60dB noch aus dem Rauschen heraus messen zu können. Deshalb wurden für diese Messungen die zu messenden Platten direkt zwischen Sende- und Empfangsantenne eingefügt. Zu Beginn wurde für die Kalibrierung mit der unbeschichteten 4mm-Pappelholzplatte der Null-dB-Wert ermittelt. Nach der Kalibrierung der Mess-Strecke wurden nacheinander die 3 Prüfmuster mit den definierten Farbaufträgen eingefügt und deren Schirmdämpfung gemessen.

Es wurden folgende Messgeräte und Antennen verwendet:

Programmable Sweep Generator Typ 6668B (10 MHz – 40 GHz), Wiltron

Scalar Networkanalyzer Typ 562 (10 MHz – 40 GHz), Wiltron

Mess-Antennen:

2 Doppel-Steg-Hornantennen, Typ HE 906 (1 GHz – 18 GHz), Rohde & Schwarz

2 Hohlleiter-Standard Gain Hornstrahler, (12 GHz – 22 GHz), Narda

2 Hohlleiter-Hornstrahler (22,5 GHz – 40 GHz), Qpar Angus Ltd.

3. Zusammenfassung der Resultate

In den Anlagen sind Messkurven für die die Schirmdämpfungswerte zwischen 500MHz und 8GHz beigefügt. Dort sind am rechten Rand oben die Schirmdämpfungswerte für einige wichtige Frequenzen in dB zahlenmäßig ausgedruckt. Die Messungen zwischen 10 GHz bis 40 GHz wurden alle 2,5 GHz punktuell durchgeführt. Alle Resultate sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst:

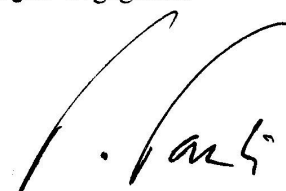
Abschirmfarbe EMF-Turtal PLV 2,5	Einlagig, mit Farb-Trockengewicht 100 g/m²	Zweilagig, mit Farb-Trockengewicht 208 g/m²	Dreilagig, mit Farb-Trockengewicht 316 g/m²
Funkdienst/Frequenz			
C-Netz, TETRA, 450 MHz	22 dB	29 dB	35 dB
D-Netz, GSM900, 900 MHz	21 dB	28 dB	34 dB
1 GHz	21 dB	28 dB	34 dB
E-Netz, GSM1800, 1800 MHz	20 dB	27 dB	33 dB
Blue-Tooth, WLAN 2450 MHz	20 dB	27 dB	33 dB
5G (Sub 6GHz-Band) 3,4 – 3,8GHz	22 dB	30 dB	36 dB
W-LAN neue Generation 5,8 GHz	20 dB	27 dB	34 dB
7,5 GHz	20 dB	28 dB	36 dB
10,0 GHz	20 dB	27 dB	34 dB
12,5 GHz	21 dB	29 dB	34 dB
15,0 GHz	24 dB	30 dB	36 dB
17,5 GHz	28 dB	32 dB	38 dB
20,0 GHz	30 dB	36 dB	43 dB
22,5 GHz	28 dB	38 dB	45 dB
25,0 GHz	29 dB	41 dB	48 dB
27,5 GHz	34 dB	47 dB	54 dB
30,0 GHz	35 dB	50 dB	58 dB
32,5 GHz	37 dB	50 dB	55 dB
35,0 GHz	38 dB	54 dB	62 dB
37,5 GHz	38 dB	54 dB	62 dB
40,0 GHz	36 dB	58 dB	65 dB

Tabelle 2: Schirmdämpfungswerte bei verschiedenen Frequenzen

Die Messungen ab 7,5 GHz wurden in 3 Frequenzteilabschnitten mit 3 unterschiedlichen Antennenpaaren durchgeführt. An den Frequenzrändern der 3 Messabschnitte wurden frequenzüberlappende Messungen durchgeführt. Bei den aufgelisteten Messresultaten wurden deshalb dort, wo Mehrfachresultate vorlagen, Mittelwerte gebildet und in die Tabelle eingefügt.

Die auf den Platten verbliebene, getrocknete Farbmasse, die präzise gewogen werden konnte, wurde für o.a. Tabelle auf 1 Quadratmeter umgerechnet und ist deshalb in g/m² angegeben.

Neubiberg/Bad Tölz, 12.06.2020


Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli