

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
<prof.peter.pauli@t-online.de>

Seite 1

Gutachten

vom 31.05.2019

Auftraggeber: **GEOVITAL**
Akademie für Geobiologie und Strahlenschutz
Unterwolfbühl 430
A-6934 Sulzberg

Messobjekt: Abschirmstoff **NOVA Baumwolle**
(einlagig und zweilagig gemessen)

Auftrag: Ermittlung der Schirmdämpfung gegenüber elektromagnetischen Wellen im Frequenzbereich von **100 MHz - 40 GHz**

Prüfungsgrundlage: ASTM D-4935-2010 und IEEE 299-2006

Datum d. Messungen: 28. Mai 2019

Umfang: 6 Seiten Text, 2 Messprotokolle in den 2 Anlagen

Resultate: Der Abschirmstoff **NOVA** aus Baumwolle wurde bei der Messung nach ASTM mit elektromagnetischen Wellen mit Polarisation in allen Richtungen untersucht. Da das Gewebe quadratische Maschen (ca. 4mm x 4mm) besitzt, haben die Messresultate auch für linearer vertikale und horizontale Polarisation Gültigkeit. Die nachstehende Tabelle zeigt die Schirmdämpfungswerte in Dezibel, ermittelt für verschiedene interessante Mobilfunkfrequenzen:

Abschirmstoff NOVA	Schirmdämpfung in dB	
	Einlagig gemessen	Zweilagig gemessen
Funkdienst		
C-Netz, TETRA, 450 MHz	23 dB	38 dB
D-Netz, GSM900, 900 MHz,	28 dB	42 dB
E-Netz, GSM1800, 1800 MHz	43 dB	56 dB
Blue-Tooth, WLAN 2450 MHz	36 dB	51 dB
5G (Sub 6GHz-Band) 3,4 – 3,8GHz	34 dB	39 dB
W-LAN neue Generation 5,8 GHz	20 dB	31 dB

Tabelle 1: Schirmdämpfungswerte bei verschiedenen Frequenzen

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):

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

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

Tabelle 2: Umrechnung von dB-Werten in Prozentwerte

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.

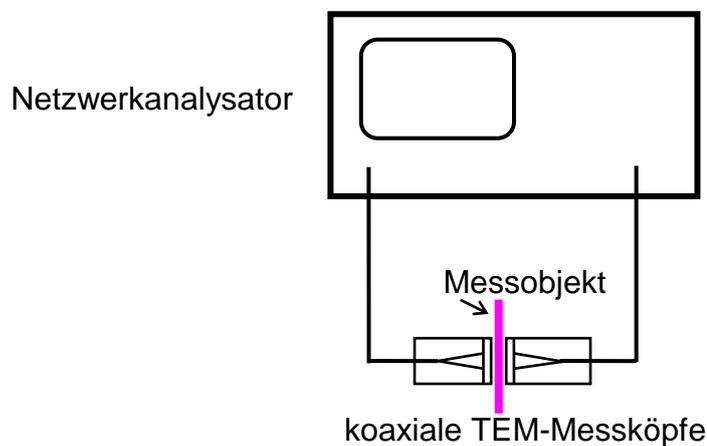


Bild 1 Messanordnung zur Ermittlung der Schirmdämpfung mit TEM-Messköpfen

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:

Vektorieller Netzwerkanalysator Typ ZVRC (30 kHz – 8 GHz) Rohde & Schwarz
Koaxiale TEM-Mess-Sonden, (1 MHz – 8 GHz), Fa. Wandel & Goltermann (s. Foto)
Dokumentation: OfficeJet 500, Fa. Hewlett & Packard

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. Dies kommt in der Praxis in der Regel vor, sodass die Messresultate sehr realitätsnah sind.

2.1 Schirmdämpfungsmessung nach IEEE 299-2006 von 6 GHz bis 40 GHz

Diese Messungen wurden nach dem IEEE-Standard 299-2006 in einem Messraum der Radarhalle der UniBw München in Neubiberg am 28.5.2019 im Frequenzbereich von 6 GHz bis 18 GHz mit linear polarisierten Wellen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Prüfmuster - wie in untenstehendem Bild skizziert - vor der 40cm x 40cm großen Öffnung einer Metallwand (Fläche 210cm x 200cm) platziert.

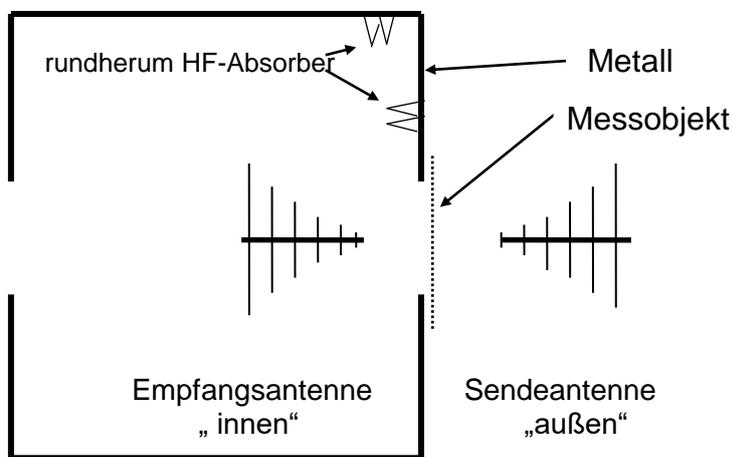


Bild 1
Messanordnung nach
IEEE 299-2006

Nach der Kalibrierung der Mess-Strecke (ohne Prüfling zur Festlegung des 0 dB-Transmissionswertes) wurde die Schirmdämpfung der Prüfmuster gemessen. Um ein Überstrahlen der Messsignale an den Seiten der Prüfmuster zu vermeiden, wurde es direkt zwischen den beiden Doppelsteg-Hornantennen befestigt.

Es wurden folgende Messgeräte und Antennen verwendet:

Skalarer Netzwerkanalysator Typ 562+6669B (10 MHz – 40 GHz) Fa. Wiltron
Mess-Antennen: 2 Doppel-Steg-Hornantennen HL 906 (1 GHz – 18 GHz) R & S

Skalarer Netzwerkanalysator Typ 562+6669B (10 MHz – 40 GHz) Fa. Wiltron
Mess-Antennen: 2 Exponential L-Band-Horn Antennen (20GHz – 40GHz) Fa. Narda

3. Zusammenfassung der Resultate

In den Anlagen ist die Schirmdämpfung des Abschirmstoffes **NOVA** aus Baumwolle gegenüber elektromagnetischen Wellen in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Dort sind am rechten Rand die Schirmdämpfungswerte für einige wichtige Mobilfunkfrequenzen in Dezibel zahlenmäßig ausgedruckt. Zur schnelleren Übersicht sind diese Werte in der untenstehenden Tabelle aufgelistet.

Funkdienst	Schirmdämpfung in dB	
	Einlagig gemessen	Zweilagig gemessen
Abschirmstoff NOVA		
C-Netz, TETRA, 450 MHz	23 dB	38 dB
D-Netz, GSM900, 900 MHz,	28 dB	42 dB
E-Netz, GSM1800, 1800 MHz	43 dB	56 dB
Blue-Tooth, WLAN 2450 MHz	36 dB	51 dB
5G (Sub 6GHz-Band) 3,4 – 3,8GHz	34 dB	39 dB
W-LAN neue Generation 5,8 GHz	24 dB	38 dB

Tabelle 3: Schirmdämpfungswerte bei verschiedenen Frequenzen

Zusatzmessungen bis 40 GHz nach IEEE 299-2006

Verwendete Messgeräte: Skalärer Netzwerkanalysator, Typ 562+6669B ,
 Fa. Wiltron, **10 GHz – 40 GHz**

Messobjekt: Abschirmstoff **NOVA** (einlagig und zweilagig gemessen)

Datum der Messungen: 28.05.2019

Abschirmstoff NOVA	Schirmdämpfung in dB	
	Einlagig gemessen	Zweilagig gemessen
Frequenz		
10 GHz	21 dB	38 dB
12 GHz	20 dB	36 dB
16 GHz	14 dB	35 dB
18 GHz	14 dB	27 dB
25 GHz	6 dB	18 dB
30 GHz	6 dB	16 dB
35 GHz	5 dB	14 dB
40 GHz	4 dB	13 dB

Tabelle 3: Schirmdämpfungswerte bei verschiedenen Frequenzen

4. Abschließende Bewertung:

Der untersuchte Abschirmstoff **NOVA** aus Baumwolle zeigt im meist interessierenden Mobilfunkfrequenzbereich des **D-Netzes (GSM 900) einlagig** gemessen eine Abschirmwirkung von ca. **28 dB**. Das bedeutet, dass nur noch ca. **1,5%** der auftreffenden Leistung durch den Stoff hindurchtritt. 98,5% werden durch Reflexion beseitigt. Bei **zweilagiger** Anwendung beträgt die Abschirmung sogar **42 dB**. Jetzt werden nur noch 0,006% hindurch gelassen. 99,994% der eintreffenden Leistung werden abgeschirmt.

Bei den derzeit eingeführten **5G-Mobilfunkdiensten bei 3,4 GHz – 3,8 GHz** zeigt der Abschirmstoff **NOVA einlagig** eine Abschirmwirkung von **34dB**. Hier werden **99,97%** der eintreffenden Leistung beseitigt. **Zweilagig** erhöht sich die Abschirmwirkung auf **39 dB**, d.h. **99,99%** der eintreffenden Leistung werden durch Reflexion beseitigt.

Bei **10 GHz** ($\lambda = 3\text{cm}$) zeigt sich eine Abschirmwirkung von ca. **21 dB**. Das bedeutet, dass nur **0,8 %** der auftreffenden Leistung durch den Schirm hindurchtritt. 99,2% werden durch Reflexion beseitigt.

Bei der zweilagigen Messung erhöht sich die Abschirmung sogar auf **38 dB**. Jetzt werden nur noch 0,02% hindurch gelassen, 99,98% werden abgeschirmt.

Bei **25 GHz** ($\lambda = 1,5\text{cm}$) einlagig gemessen eine Abschirmwirkung von ca. **6 dB**. Das bedeutet, dass **25 %** der auftreffenden Leistung durch den Schirm hindurchtritt. 75% werden durch Reflexion beseitigt.

Bei der zweilagigen Messung erhöht sich die Abschirmung sogar auf **18 dB**. Jetzt werden nur noch 1,5% der eintreffenden Leistung hindurch gelassen. 98,5% der Leistung wird durch Reflexion „beseitigt“.

Die Frequenzen um **38 GHz** ($\lambda = 0,79\text{ cm}$) werden bei künftigen **5G-Diensten** verwendet. Bei ihnen lässt das einlagige **Stoffmuster NOVA** bei 5 dB Schirmung 31% und die zweilagige Variante bei 13 dB Schirmung nur 5% der eintreffenden Leistung hindurch.

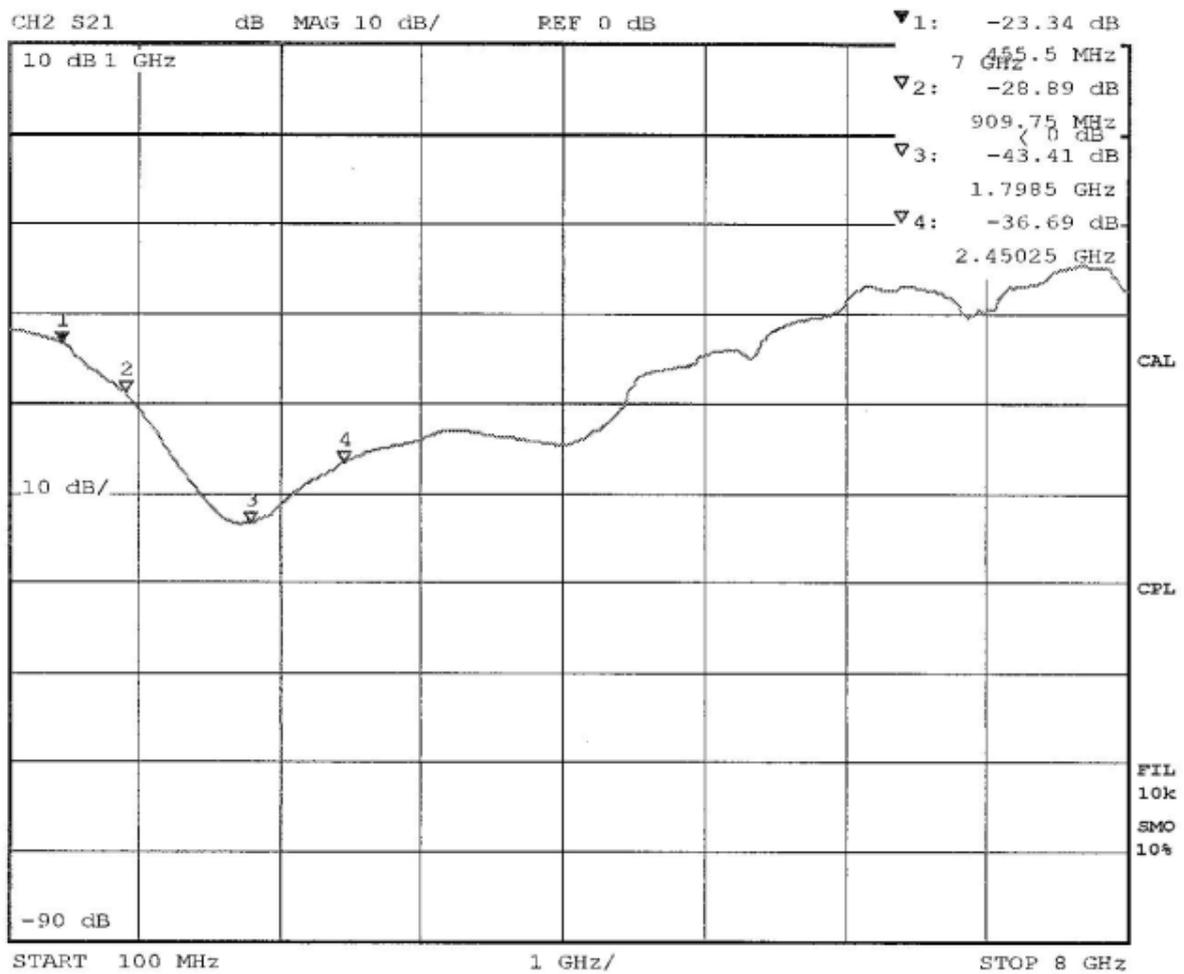
Auch in diesen Frequenzbereichen eignet der Abschirmstoff **NOVA** aus Baumwolle mit den o.a. Werten sehr gut zur Abschirmung elektromagnetischer Wellen.

Somit eignet sich der Abschirmstoff NOVA äußerst effektiv für die Abschirmung von elektromagnetischen Wellen im gesamten Mobilfunkfrequenzbereich.



Messobjekt: Abschirmstoff NOVA einlagig gemessen

Frequenzbereich: 100 MHz – 8 GHz



Messobjekt: Abschirmstoff NOVA zweilagig gemessen
Frequenzbereich: 100 MHz – 8 GHz

