

Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli
Professor für HF-, Mikrowellen- und
Radartechnik an der
Universität der Bundeswehr München

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

Seite 1

Gutachten

vom 17.06.2021

Auftraggeber: *EUKATEC Europe GmbH*

Messobjekte: Polyamid 6 (PA6), Materialstärke 4mm
Muster A: Kupferbeschichtung (CuNiCr), Schichtdicke ca. 2,5µm
Muster B: Aluminiumbeschichtung (Al), Schichtdicke ca. 2,5µm

Messauftrag: Messung der Schirmwirkung gegenüber elektromagnetischen
Wellen im Frequenzbereich von 100 MHz – 4 GHz

**Prüfungs-
rundlagen:** ASTM D-4935-2010

**Datum der
Messungen:** 17.06.2021

Umfang: 4 Seiten Text und 2 Messkurven in den Anlagen

Resultate: Einen ersten Überblick über die Schirmwirkung der beiden Prüfmuster
bei verschiedenen Mobilfunkfrequenzen gibt diese Tabelle:

Frequenzen:	450 MHz	900 MHz	1800 MHz	2450 MHz	3,2 -3,8GHz
Polyamid 6	TETRA	GSM900	GSM1800	W-LAN	5G
Muster A: CuNiCr 2,5µm	68 dB	66 dB	67 dB	66 dB	56 dB
Muster B: Al 2,5µm	64 dB	63 dB	63 dB	(57) 61 dB	58 dB

Tabelle 1: Schirmdämpfungswerte für einige markante Mobilfunkfrequenzen

Anmerkung: Die Messresultate in Klammern mussten wegen unvermeidbarer Messgefäßresonanzen „nach oben“ korrigiert werden. Details sind aus den Messkurven ersichtlich.

1. Vorbemerkungen

Um die Wirksamkeit der Prüfmuster 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 - die durch den Schirm hindurchdringende **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 2:
Umrechnung von dB in % der hindurchdringenden Leistung

Die Berechnung der Schirmdämpfung in dB aus der Leistung P_1 oder aus der elektrischen Feldstärke E_1 vor dem Schirm und P_2 bzw. E_2 hinter dem Schirm geschieht mit folgenden Gleichungen:

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

2. Schirmdämpfungsmessung nach ASTM D-4935-2010 von 100MHz – 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 Transmissionsdämpfung auf „0 dB“ geeicht.

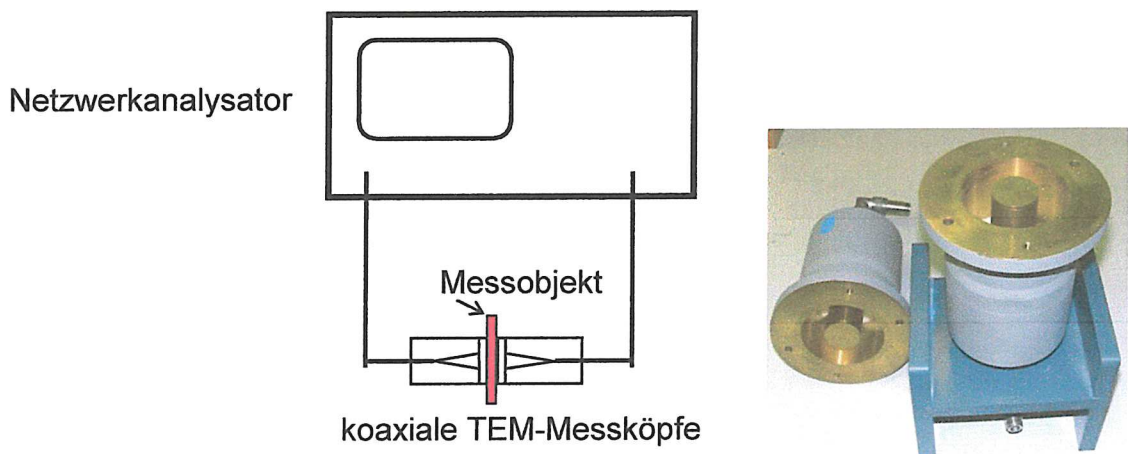


Bild 1 Messanordnung zur Ermittlung der Schirmdämpfung mit TEM-Messköpfen

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:

Vektorieller Netzwerkanalysator Typ ZVRE (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 (= omnidirektionale oder 360⁰-Polarisation). Damit kann man zwar keine diskrete Aussage über das Verhalten des Messobjektes gegenüber einer bestimmten linearen Polarisation machen. Andererseits bekommt man einen realistischen Eindruck, wie sich das Messobjekt gegenüber Polarisationen von beliebigen Richtungen verhalten wird.

Schirmt ein Messobjekt bei dieser Messung besonders gut, dann wird es auch gegenüber den beiden linearen vertikalen und horizontalen Polarisationen mindestens entsprechend gut schirmen!

3. Zusammenfassung und Bewertung der Resultate

In den Anlagen ist die Schirmdämpfung der Prüfmuster in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Rechts oben findet man genauere dB-Angaben für bestimmte Mobilfunkfrequenzen. Sie entsprechen den Markern auf den Messkurven.

Die Schirmdämpfungs-Werte für diese Tabelle wurden aus den Messkurven in den nachfolgenden Anlagen bei verschiedenen wichtigen Mobilfunkfrequenzen entnommen:

Frequenzen:	450 MHz	900 MHz	1800 MHz	2450 MHz	3,2 -3,8GHz
Polyamid 6	TETRA	GSM900	GSM1800	W-LAN	5G
Muster A: CuNiCr 2,5µm	68 dB	66 dB	67 dB	66 dB	56 dB
Muster B: Al 2,5µm	64 dB	63 dB	63 dB	(57) 61 dB	58 dB

Tabelle 3: Schirmdämpfungswerte für einige markante Mobilfunkfrequenzen

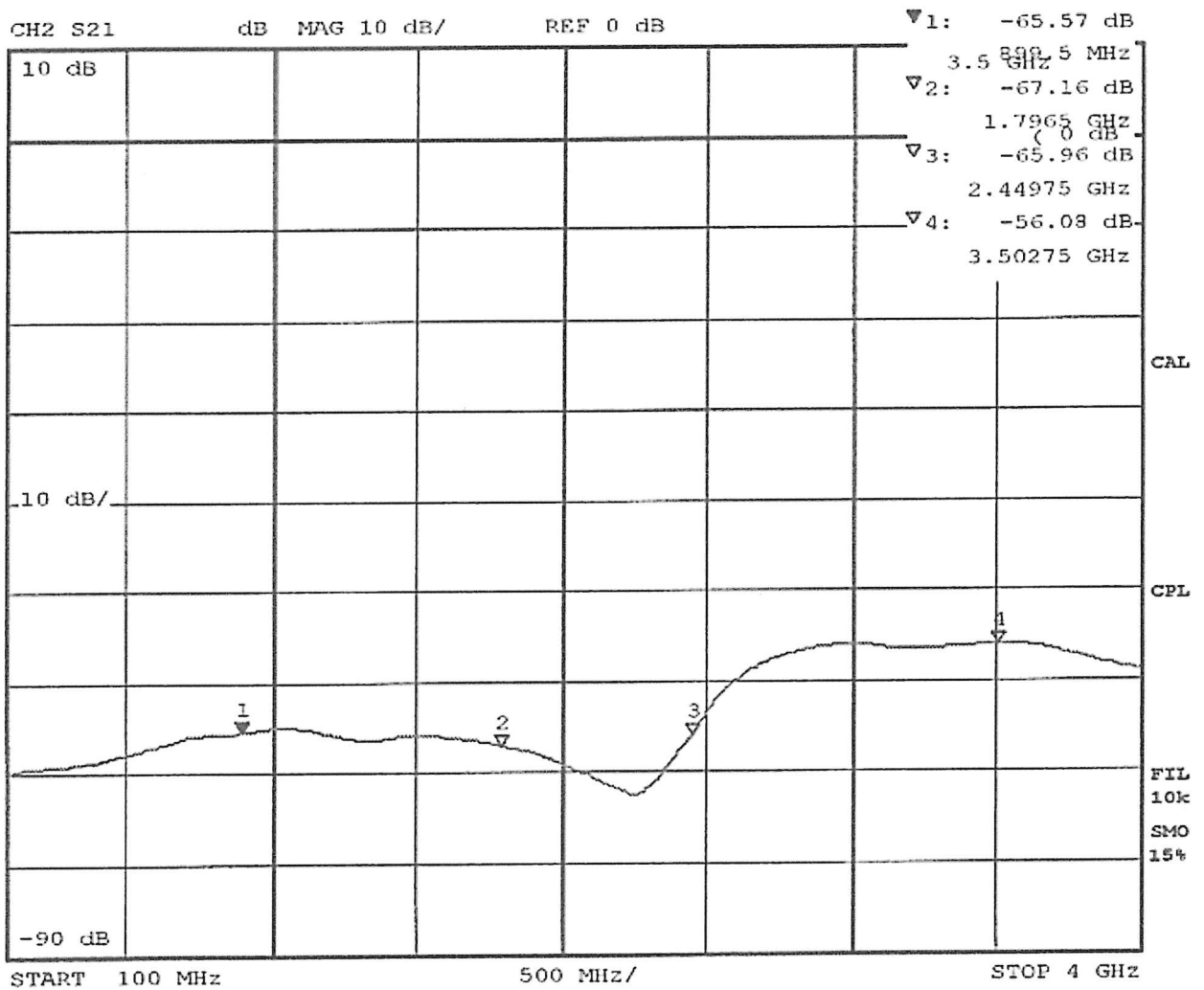
Anmerkung: Die Messresultate in Klammern mussten wegen unvermeidbarer Messgefäßresonanzen „nach oben“ korrigiert werden. Sie ergeben sich als Zusammenspiel zwischen der Größe des Hohlraum-Volumens Messgefäß und der Güte der Beschaffenheit und der Schirmungsqualität der Zink-Schicht. Details sind aus den Messkurven ersichtlich.

Mit Hilfe der Tabelle 2 kann man folgende Interpretation der besonders hervorragenden Schirmdämpfungswerte vornehmen.

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich, wird bei einer Schirmdämpfung von **67 dB** nur noch **0,00002%** der auftreffenden Leistung hinter dem Schirm nachweisbar sein. Bei **63dB** sind es nur **0,00005%** der eintreffenden Leistung, die den Weg durch das Schirmmaterial finden. Folglich werden hier 99,99995% Der eintreffenden Leistung durch den Schirm beseitigt.

Je nach Anwendungszweck sind diese Werte als extrem hoch zu bezeichnen.

Messobjekt A: PA6 mit Kupferbeschichtung (CuNiCr) Schichtdicke ca. 2,5 µm
Frequenzbereich: 100 MHz – 4 GHz



Messobjekt B: PA6 mit Aluminiumbeschichtung (Al) Schichtdicke ca. 2,5 µm
Frequenzbereich: 100 MHz – 4 GHz

