

**Professeur Dipl. Ing. Peter Pauli**  
Professeur pour les hautes  
fréquences, micro-ondes et  
technologie radar  
Universität der Bundeswehr  
München  
85577 Neubiberg

**Bureau d'ingénierie pour la  
technologie haute fréquence,  
micro-ondes et radar**  
Alter Bahnhofplatz 26  
83646 Bad Tölz  
E-Mail : prof.peter.pauli@t-online.de

Page 1

## Expertise du 07.04.2022

**Donneur d'ordre :** **BEECK'sche Farbwerke GmbH**  
Gottlieb-Daimler-Straße 4  
D-89150 Laichingen

**Objets à mesurer :** 3 panneaux durs (40cm x 40cm x 0,4cm) recouverts des  
quantités de peinture suivantes, spécifications du fabricant :  
Panneau 1 : Peinture de blindage BEECK (304 g/m<sup>2</sup>)  
Panneau 2 : Peinture de blindage BEECK (513 g/m<sup>2</sup>)  
Panneau 3 : Peinture de blindage BEECK (705 g/m<sup>2</sup>)

**Mandat :** Détermination de l'atténuation de l'écran par rapport aux  
ondes électromagnétiques dans la gamme de fréquences  
100MHz -40GHz

**Bases d'audit :** ASTM D-4935-10, IEEE 299-06, NSA-94-106-Standard

**Date des mesures :** 07.04.2022

**Etendue :** 5 pages de texte, 3 rapports de mesure dans les 3 annexes

**Résultats :** Le tableau ci-dessous montre les valeurs d'atténuation de l'écran des  
trois échantillons en décibels, calculées pour différentes fréquences radioélectriques  
mobiles et radars :

		Atténuation de l'écran en dB		
		Plaque 1: 304 g/m <sup>2</sup>	Plaque 2: 513g/m <sup>2</sup>	Plaque 3: 705 g/m <sup>2</sup>
Radiocommunications				
réseau C, TETRA,	450 MHz	32 dB	35 dB	38 dB
réseau D, GSM900,	900 MHz	31 dB	34 dB	37 dB
réseau E, GSM1800,	1800 MHz	31 dB	34 dB	37 dB
Bluetooth, WLAN	2450 MHz	30 dB	34 dB	38 dB
5G (bande Sub 6GHz)	3,4 - 3,8 GHz	30 dB	34 dB	38 dB
Wi-Fi nouvelle génération	5,8 GHz	30 dB	34 dB	37 dB
Radar en bande X	10 GHz	30 dB	33 dB	37 dB
Radar en bande Ku	15 GHz	28 dB	32 dB	38 dB
	20 GHz	27 dB	32 dB	39 dB
Radar automobile	25 GHz	27 dB	32 dB	40 dB
Radar de trafic	30 GHz	30 dB	34 dB	42 dB
Future 5G	35 GHz	31 dB	39 dB	44 dB
Radar SAR	40 GHz	30 dB	39 dB	45 dB

Tableau 1 : valeurs d'atténuation de l'écran

### 1. Remarques préliminaires

Lors de la mesure de l'atténuation des ondes électromagnétiques par un matériau de blindage, l'échantillon est généralement irradié avec de l'énergie à haute fréquence d'une certaine densité de flux de puissance  $S_1$  ou avec une certaine puissance  $P_1$ . Derrière le matériau de blindage se trouve la densité de flux de puissance  $S_2$  et la puissance mesurée  $P_2$ . Le quotient logarithmique selon les équations suivantes donne la valeur d'affaiblissement de l'écran en décibels (dB):

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

(légende de traduction : Schirm = écran)

Pour interpréter les courbes de mesure et leurs valeurs, il est utile d'utiliser le tableau de conversion ci-contre.

Conversion de l'atténuation de dB en %			
dB	Débit de puissance en %	dB	Débit de puissance en %
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

Ce tableau permet de convertir les valeurs logarithmiques en dB en valeurs en pourcentage, la puissance ou la puissance surfacique pénétrant dans l'écran étant généralement utilisée pour évaluer l'effet d'écran, comme c'est le cas ici dans ce tableau.

Tableau 2 : conversion de dB en pourcentage

## 2. Configuration de mesure pour la mesure de l'amortissement d'écran

### 2.1 selon ASTM D 4935-2010 de 100 MHz - 8 GHz

Pour ces mesures, 2 cuves de mesure coaxiales TEM ont été connectées à l'analyseur de réseau comme antenne d'émission et de réception. Dans le cas d'un étalonnage  $S_{21}$ , La disposition a été calibrée à « 0 dB » sans l'objet de mesure, mais avec un objet de remplacement (*Messobjekt*) non blindé de la même épaisseur (= panneau dur non revêtu) entre les têtes de mesure pour la mesure de transmission.

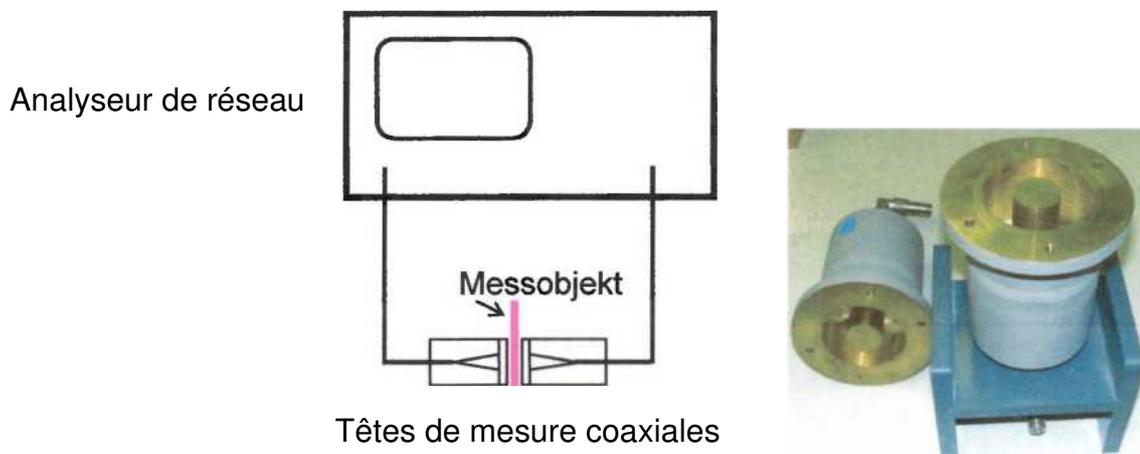


Figure 1 Dispositif de mesure pour la détermination de l'atténuation de l'écran avec des têtes de mesure TEM

Les instruments suivants ont été utilisés :

Analyseur de réseau vectoriel type ZVRE (30 kHz - 8 GHz) Rohde & Schwarz  
Sondes de mesure coaxiales TEM, (1 MHz - 8 GHz), Wandel & Goltermann (voir photo)

Lors de cette mesure, les intensités de champ électrique dans la configuration TEM - comme c'est le cas pour les lignes coaxiales - s'appliquent à l'objet à mesurer dans toutes les directions de polarisation. D'une part, on mesure le comportement de l'objet à mesurer par rapport à une polarisation linéaire spécifique. D'autre part, on obtient l'information importante sur le comportement de l'objet à mesurer par rapport aux polarisations de n'importe quelles directions. Cela se produit généralement dans la pratique, de sorte que les résultats de mesure sont très proches de la réalité.

## 2.2 Mesure de l'atténuation de l'écran selon IEEE 299-2006 de 8 GHz à 40 GHz

Ces mesures ont été effectuées selon la norme IEEE 299-2006 dans une salle de mesure du radar de l'UniBw München à Neubiberg le 07.04.2022 dans la plage de fréquences de 8 GHz à 40 GHz avec des ondes linéaires polarisées. Pour ce faire, l'objet mesuré a été placé - comme illustré dans l'image ci-dessous - devant l'ouverture de 40 x 40 cm d'une paroi métallique (surface 210 x 200 cm).

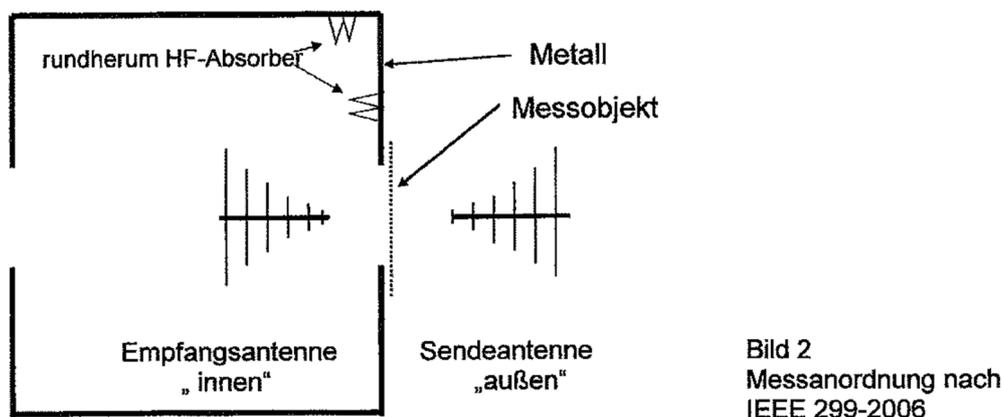


Figure 2 Dispositif de mesure selon IEEE 299-2006

Légende de traduction :

- Runderhum HF-Absorber : absorbeur HF tout autour
- Empfangsantenne « innen » : antenne de réception « intérieure »
- Sendeantenne « aussen » : antenne d'émission « extérieure »
- Metall : métal
- Messobjekt : objet mesuré

Après étalonnage de la section de mesure (avec un panneau dur non revêtu pour déterminer la valeur de transmission 0 dB), l'atténuation de l'écran de l'échantillon d'essai a été mesurée.

En raison de la taille de l'objet à mesurer, la distance entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception a été réduite par rapport à IEEE 299 pour un éclairage optimal de la surface de mesure. La norme NSA 94-106 le permet également.

Les appareils de mesure et antennes suivants ont été utilisés :

Analyseur de réseau scalaire type 562+6669B (10 MHz - 40 GHz) de marque Wiltron

Antennes de mesure :

2 antennes cornet à double pont HF 906 (1 GHz - 18 GHz) R&S

2 antennes corne de gain standard par Narda WR-62 (12 GHz - 20 GHz)

2 antennes corne de gain standard par Narda WR-42 (18 GHz - 26 GHz)

2 antennes corne de gain standard par Narda WR-28 (26 GHz - 40 GHz)

### 3. Résumé des résultats

L'atténuation de l'écran des 3 échantillons par rapport aux ondes électromagnétiques en fonction de la fréquence est représentée dans les annexes. Les valeurs d'atténuation de l'écran pour certaines fréquences de téléphonie mobile importantes sont imprimées en décibels sur le bord supérieur droit.

Pour un aperçu général, les valeurs d'atténuation de l'écran pour les fréquences radio les plus intéressantes et pour certaines fréquences radar sont énumérées dans le tableau ci-dessous.

	Atténuation de l'écran en dB		
	Plaque 1 : 304 g/m <sup>2</sup>	Plaque 2 : 513 g/m <sup>2</sup>	Plaque 3 : 705 g/m <sup>2</sup>
Radiocommunications			
réseau C, TETRA, 450 MHz	32 dB	35 dB	38 dB
réseau D, GSM900, 900 MHz	31 dB	34 dB	37 dB
rés. électrique, GSM1800, 1800 MHz	31 dB	34 dB	37 dB
Bluetooth, WLAN 2450 MHz	30 dB	34 dB	38 dB
5G (bande Sub 6GHz) 3,4-3,8 GHz	30 dB	34 dB	38 dB
Wi-Fi nouvelle génération 5,8 GHz	30 dB	34 dB	37 dB
Radar en bande X 10 GHz	30 dB	33 dB	37 dB
Radar en bande Ku 15 GHz	28 dB	32 dB	38 dB
20 GHz	27 dB	32 dB	39 dB
Radar automobile 25 GHz	27 dB	32 dB	40 dB
Radar de trafic 30 GHz	30 dB	34 dB	42 dB
Future 5G 35 GHz	31 dB	39 dB	44 dB
Radar SAR 40 GHz	30 dB	39 dB	45 dB

Tableau 3 : Valeurs d'atténuation de l'écran pour différentes fréquences de téléphonie mobile et de radar

### 4. Évaluation finale :

En raison des différentes quantités de couleur appliquées, les 3 échantillons d'essai présentent des valeurs d'atténuation de l'écran différentes.

Le modèle 1 atténue en moyenne les ondes électromagnétiques à environ **30 dB**, où seulement 0,1% de la puissance entrante passe à travers la peinture.

Sur le modèle 2, la valeur moyenne dans le domaine des communications mobiles est d'environ **34 dB**, c'est-à-dire que seulement 0,04% de la puissance passe à travers la couche de peinture.

Dans le cas du modèle 3, la valeur d'atténuation moyenne est d'environ **37 dB**, où 0,02% de la puissance passe encore; 99,98% de la puissance entrante est blindée.

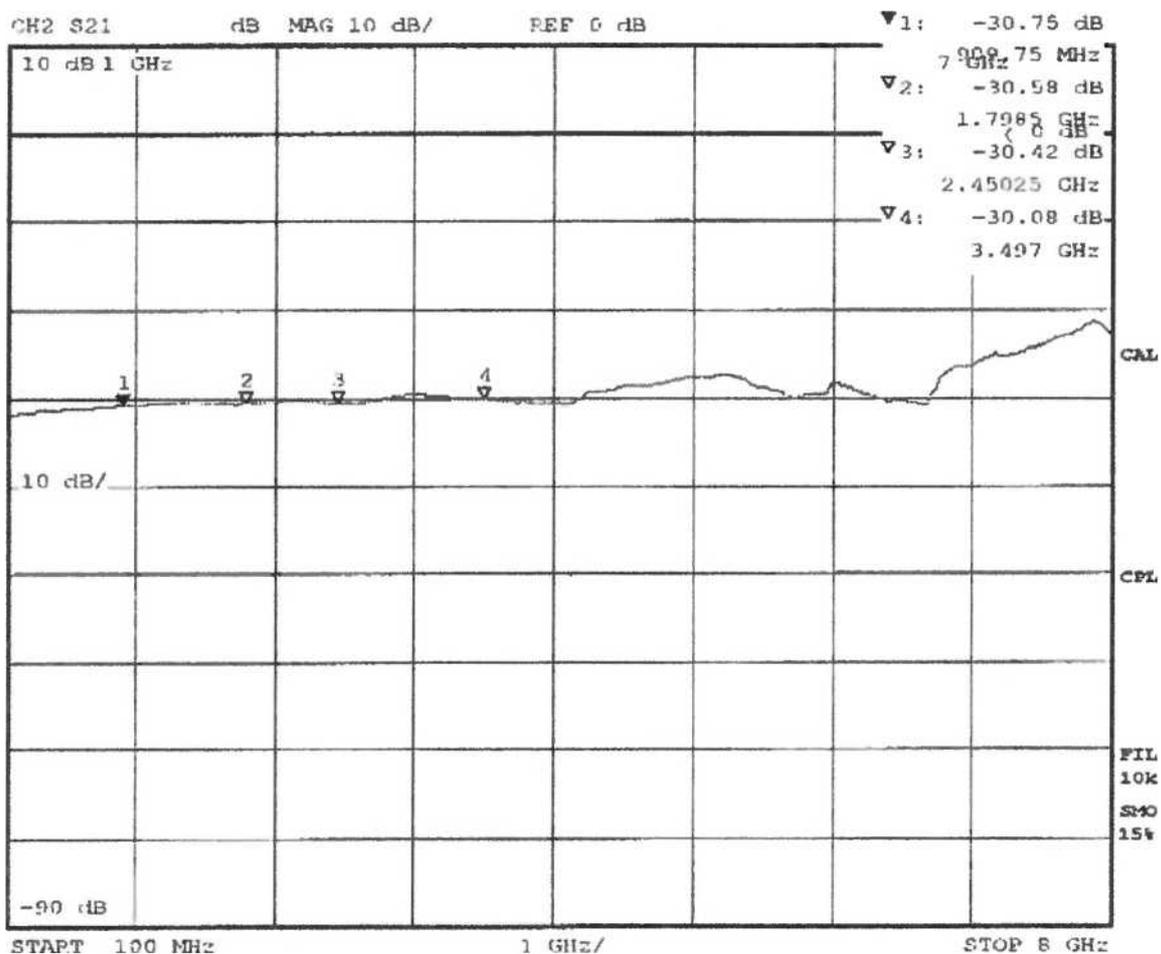
En résumé, on peut dire que les 3 échantillons de peinture de blindage, protection contre les ondes électromagnétiques de la gamme MHz et de la gamme des micro-ondes jusqu'à 40GHz (et au-delà) sont très bien adaptés à excellents.

Neubiberg, 07.04.2022

Pr Pauli, ingénieur

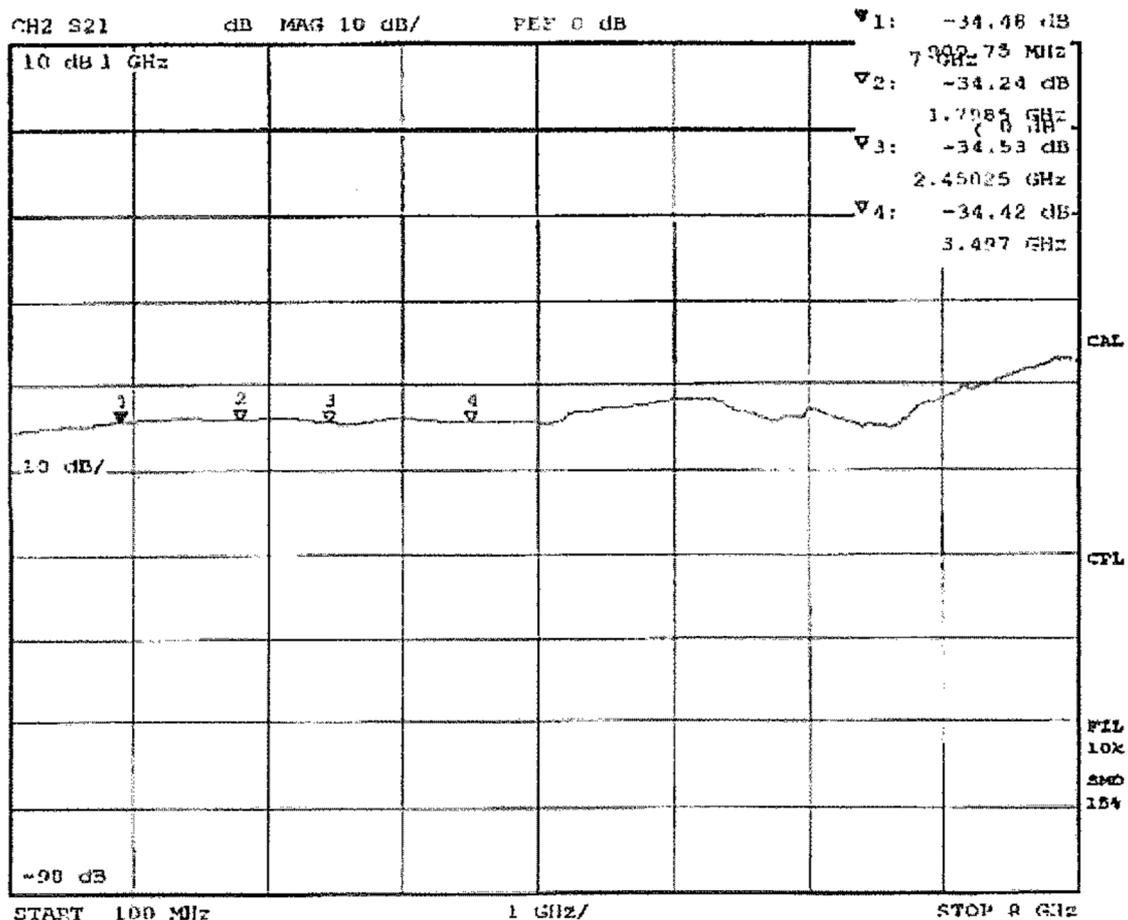
**Objet mesuré:** plaque 1 avec la **Peinture de blindage BEECK, quantité d'application : 304 g/m<sup>2</sup>**

Plage de fréquence : 100 MHz - 8 GHz



**Objet mesuré :** plaque 2 avec la **Peinture de blindage BEECK**, quantité  
**d'application : 513 g/m<sup>2</sup>**

Réponse en fréquence : 100 MHz - 8 GHz



**Objet mesuré :** plaque 3 avec la **Peinture de blindage BEECK, Quantité d'application : 705 g/m<sup>2</sup>**

Réponse en fréquence : 100 MHz - 8 GHz

