Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 28.03.2003
Werner-Heisenberg-Weg 39
Tel. + Fax. 089/6004-3690

Gutachten

Auftraggeber: MHM Massivholzmauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
87459 Pfronten-Weißbach

Messobjekt: Massivholzmauer von 34,5 cm Dicke
verbunden mit Aluminium Rillennägeln

Auftrag: Messung der Schirmdämpfung gegen elektromagnetische Wellen
im Frequenzbereich 200 MHz bis 10 GHz

Prüfungsgrundlage: IEEE-Standard 299-1997, Messaufbau identisch mit
MIL-Standard 285 und VG 95 370, Part 15, Methode KS 03 S

Datum d. Messungen: 24.03.2003

Umfang: 4 Seiten Text, 4 Messprotokolle in den 2 Anlagen sowie ein
Referenzprotokoll zur Ablesung der Frequenz an den Rasterlinien.

Resultat: Die Massivholzmauern mit einer Wandstärke von 34,5 cm wurde mit vertikal und horizontal polarisierten elektromagnetischen Wellen im Frequenzbereich zwischen 200 MHz und 10 GHz untersucht.
Dabei zeigte sich, dass bei dieser relativ dicken Holzwand, bei der die Brettlagen mit Aluminium-Rillennägeln zusammengefügt sind, keine Dämpfungsunterschiede zwischen vertikal und horizontal polarisierten Wellen feststellbar waren.

Die Aluminium-Rillennägel mit einer Länge von 55 mm haben keinen negativen Einfluss auf die Dämpfungseigenschaften der Massivholzmauer. Im Gegenteil: Wie durch früher durchgeführte Vergleichsmessungen mit einer holzverdübelten Wand festgestellt, wurde die Reflexion der Wellen durch die Metallnägel etwas verstärkt und die Schirmdämpfung somit etwas verbessert.
Im Frequenzbereich des D-Netzes (900 MHz) lag der Schirmdämpfungswert bei der 34,5cm-dicken Holzmauer bei ca. 7 dB. Das heißt, dass 80% der Strahlungsleistung weggedämpft werden, 20% dringen hindurch.
Beim E-Netz, DECT und UMTS (1800 – 2000 MHz) werden ca. 13 dB Schirmung erreicht, d.h. 95% der Leistungsflussdichte werden abgeschirmt, nur 5% dringen noch hindurch.

Neubiberg, 28.03.2003

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 28.03.2003
Werner-Heisenberg-Weg 39
Tel. + Fax. 089/6004-3690

1. Vorbemerkungen

Um die 34,5 cm dicke Massivholzmauer, verbunden durch Aluminium-Rillennägel, auf ihre Abschirmwirkung gegenüber elektromagnetische Wellen zu untersuchen, 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 Leistungs- bzw. Strahlungsflussdichte zur Bewertung der Schirmwirkung herangezogen wird.

Umrechnung der Dämpfung von dB in %			
dB	**Durchlass in %**	**dB**	**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

Die Berechnung der Schirmdämpfung in dB aus der Leistung P_1 vor dem Schirm und P_2 hinter dem Schirm geschieht mit folgender Gleichung:

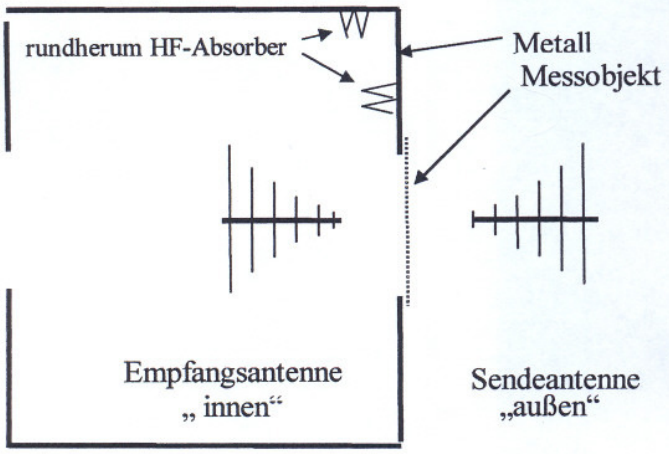
$$a_{Schirm} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 20 \cdot \log \frac{E_2}{E_1}$$

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 28.03.2003
Werner-Heisenberg-Weg 39
Tel. + Fax. 089/6004-3690

2. Messaufbau und Messablauf

Die Messungen wurden in Anlehnung an die IEEE-Standard 299-1997 (Messaufbau identisch mit MIL-Standard 285) am 24.03.2003 in einem Messraum der Radarhalle an der Universität der Bundeswehr München in Neubiberg im Frequenzbereich von 200 MHz bis 10 GHz mit linear polarisierten Wellen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde das zu prüfende Objekt, wie in untenstehendem Bild skizziert, vor der 80cm x 60cm grossen Öffnung einer Metallwand (Fläche 210cm x 200cm) platziert. Dabei wurde sichergestellt, dass die Materialprobe ganzflächig zu der Metallplatte des Messaufbaues Kontakt hatte. Fremdstörungen von außen sind nicht aufgetreten. Zur Messung der unterschiedlichen Polarisationen wurde die Massivholzmauer um 90^0 gedreht.



Messanordnung zur Bestimmung der Schirmdämpfung

Nach der Kalibrierung der Mess-Strecke (ohne Prüfling zur Festlegung des 0 dB-Transmissionswertes und mit einer Aluminium-Platte als Prüfling zur Feststellung der Dichtigkeit der Gesamtanordnung) wurde die Schirmdämpfung der Messobjekte - bedingt durch die Frequenzbänder der Messantennen - in zwei Frequenzbereichen durchgeführt:

Bereich I: 200 MHz bis 2.200 MHz
Bereich II: 1 GHz bis 10 GHz

Die Spitzen der logarithmisch-periodischen Messantennen wurden gemäß MIL-STD 285 jeweis 30 cm vor bzw. hinter dem Prüfling positioniert.

Es wurden folgende Messgeräte verwendet:
Vektorieller Netzwerkanalysator Typ 360, (40 MHz bis 18,6 GHz), Fa. Wiltron
Mess-Antennen: Bilog-Antennas , Typ CBL 6112A (30 MHz bis 2000 MHz), Fa. CHASE
Mess-Antennen: LogPer-Antennen Typ HL 025 (1 GHz bis 18 GHz) Fa. Rohde & Schwarz
Dokumentation: Laserjet 4, Fa. Hewlett & Packard

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli
Universität der Bundeswehr München
HF-, Mikrowellen- und Radartechnik

85577 Neubiberg, 28.03.2003
Werner-Heisenberg-Weg 39
Tel. + Fax. 089/6004-3690

3. Messergebnisse und ihre Bewertung

In den Anlagen mit den Messkurven sind die Schirmdämpfungen in Dezibel jeweils im oberen Diagramm für den Frequenzbereich 200 MHz bis 2.200 MHz und im darunterliegenden Diagramm für den Bereich 1 GHz bis 10 GHz dargestellt.

Die Messung für den besonders interessierenden Frequenzbereich zwischen 1000 MHz und 2200 MHz wurde somit zweimal mit unterschiedlichen Antennen und neuer Kalibrierung durchgeführt. Eine Übereinstimmung der Resultate in diesem Bereich zeigt, wie gut die Reproduzierbarkeit der Messung einzustufen ist.

Bei den Messungen in *Anlage 1* wurde die 34,5 cm dicke, mit Aluminium-Rillennägeln zusammengefügte Massivholzwand mit vertikal polarisierten Wellen untersucht. Das heißt, dass die elektrischen Feldstärken der Welle parallel zu den in der Regel senkrechtstehenden Fugen der Deckbretter liegen. *Anlage 2* zeigt die Resultate für Messungen mit horizontal polarisierten Wellen.

In Anlage 3 ist ein Kalibriermessprotokoll beigefügt, aus dem man die Frequenzlinien besser ablesen kann.

Man kann aus den Diagrammen folgende Schlussfolgerungen ziehen:

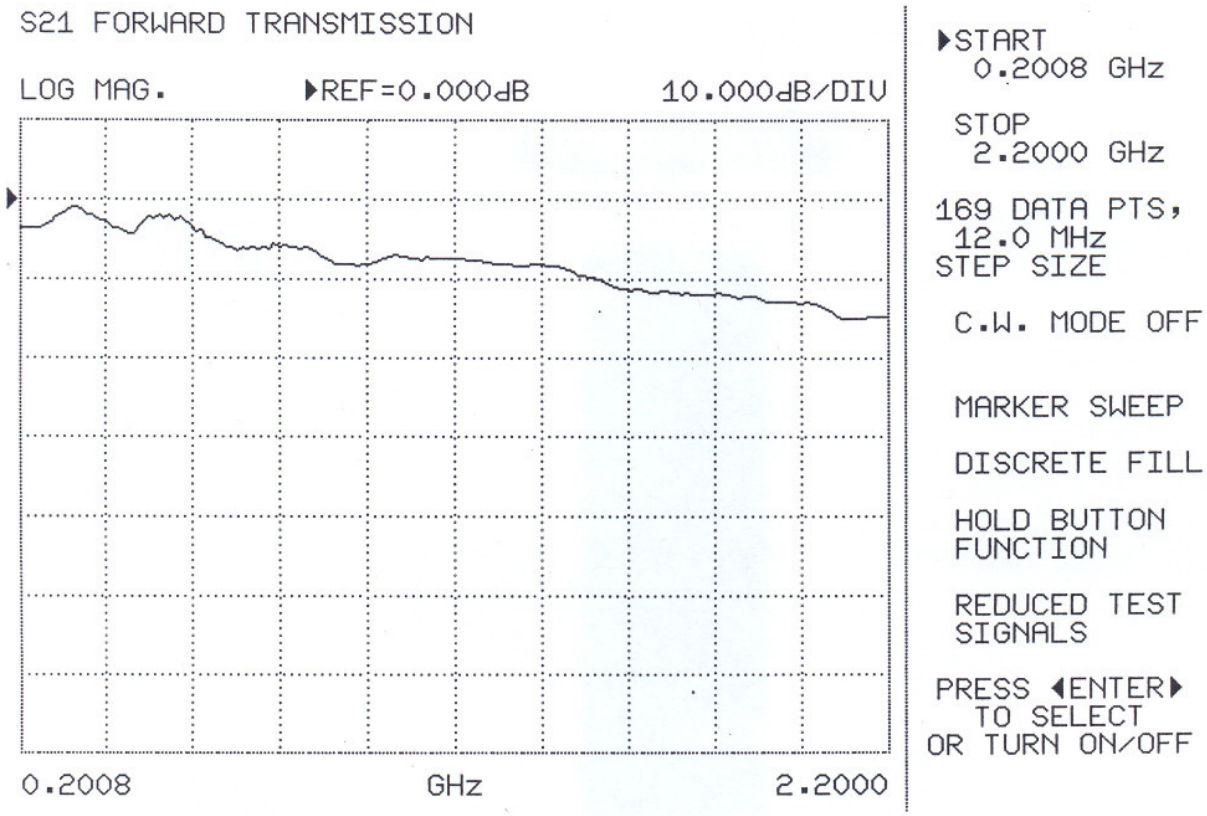
1. Die 34,5 cm dicke Massivholzwand weist keine Dämpfungsunterschiede gegenüber vertikal oder horizontal polarisierte Wellen auf.
2. Die Aluminium-Rillennägel haben überhaupt keinen negativen Einfluss auf die Dämpfung der Massivholzmauer. Es zeigen sich auch keine resonanzbedingten Einbrüche in der Schirmdämpfung;
4. Die Dämpfung dieser 34,5 cm Massivholzmauer liegt für den Mobilfunkfrequenzbereich des D-Netzes (ca. 900 MHz) bei ca. 7 dB liegt, d.h. 80% der elektromagnetischen Leistungsflussdichte werden abgeschirmt.
5. Die Dämpfung dieser Wand im Frequenzbereich zwischen 1800 MHz und 2000 MHz (E-Netz-, DECT-, UMTS-Bereich) liegt bei ca. 13 dB, d.h. 95 % der Leistung werden abgeschirmt.

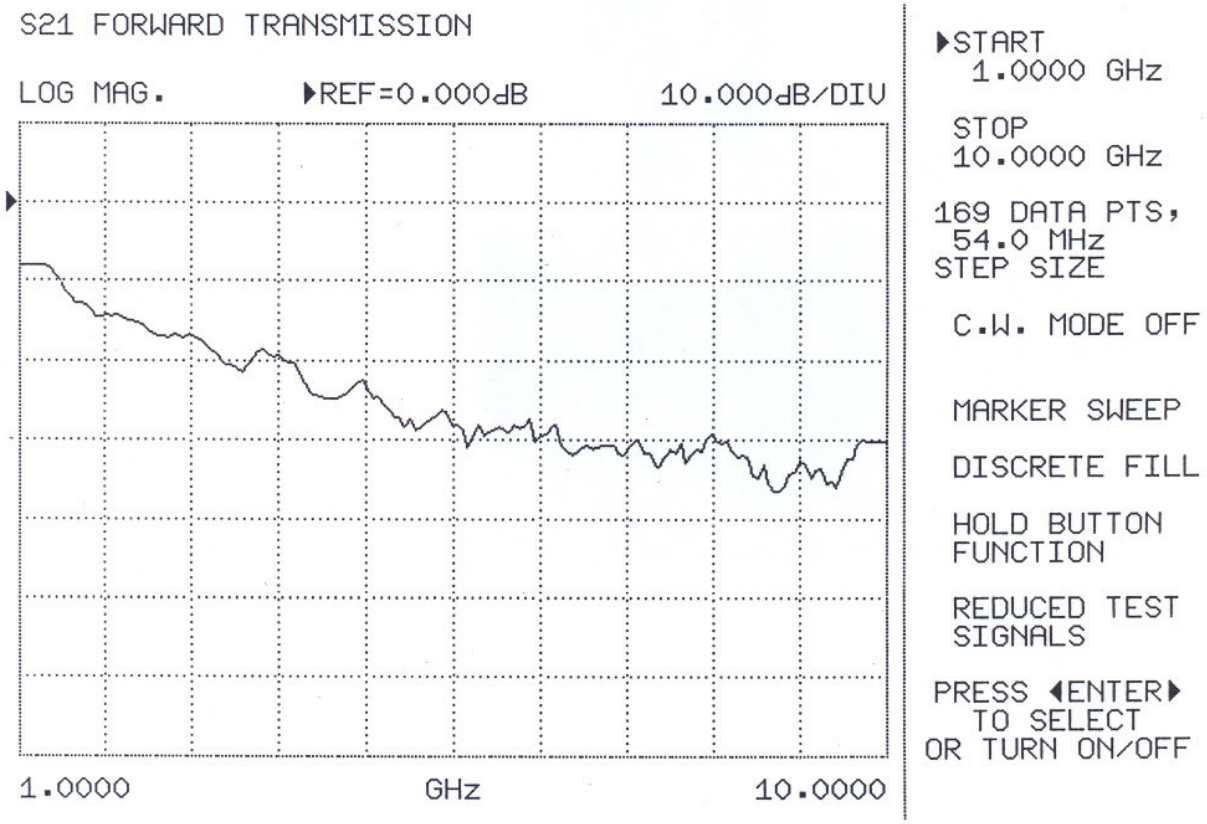
Bekommt diese Massivholzmauer später nochmal einen normalen Außenputz, kann man in beiden Mobilfunkfrequenzbereichen mit einem Dämpfungszuwachs von ca. 3 dB rechnen. Dann werden beim D-Netz 90% und beim E-Netz 97,5% der Leistung abgeschirmt.

Neubiberg, 28.03.2003

Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

MHM – Massivholzmauer, 34,5 cm, mit Aluminium-Rillennägeln
(oben MHz-Messung, unten: GHz-Messungen)

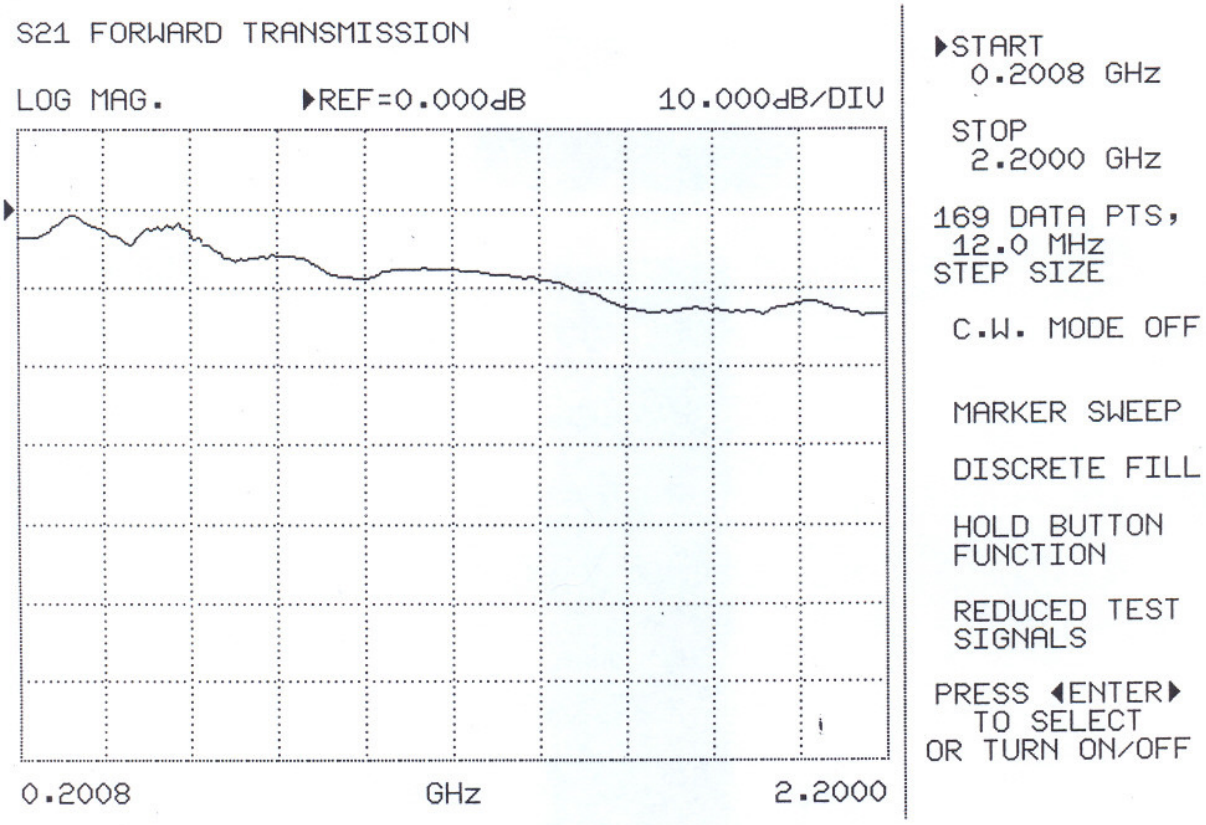


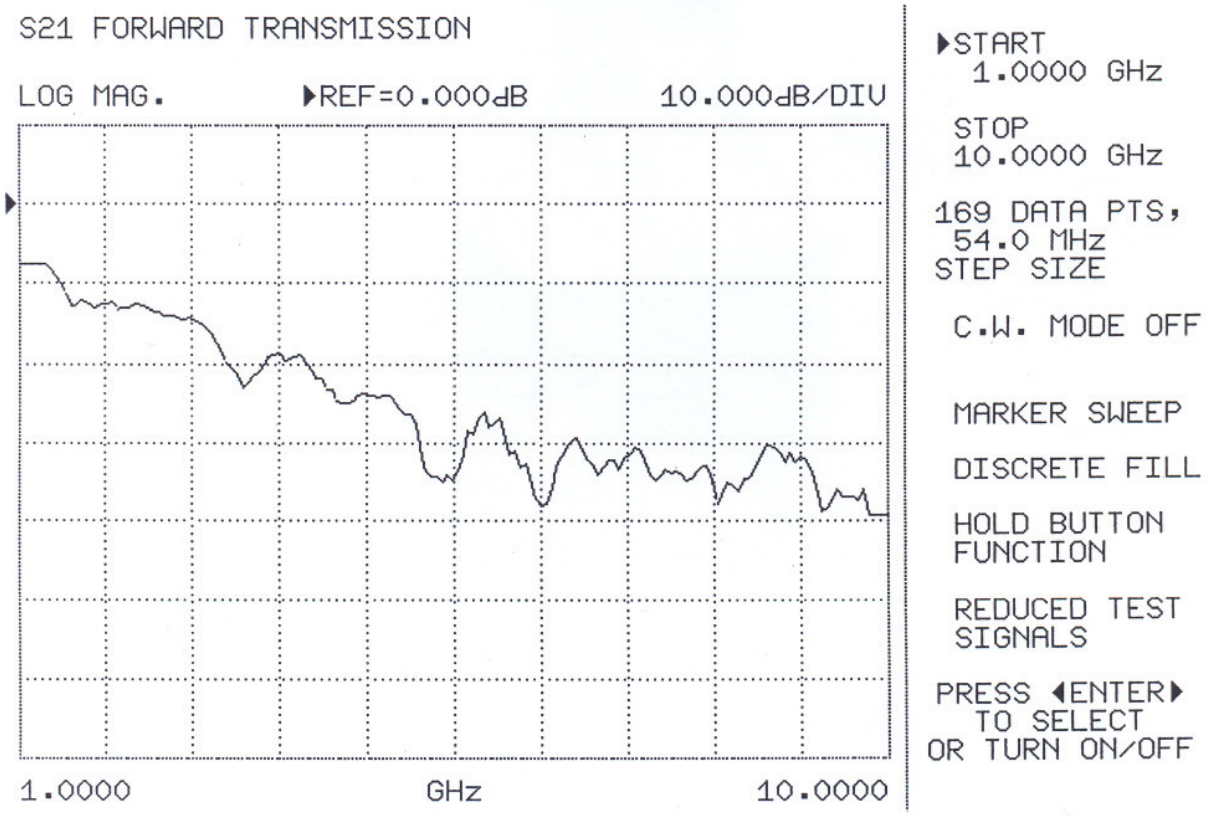


Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

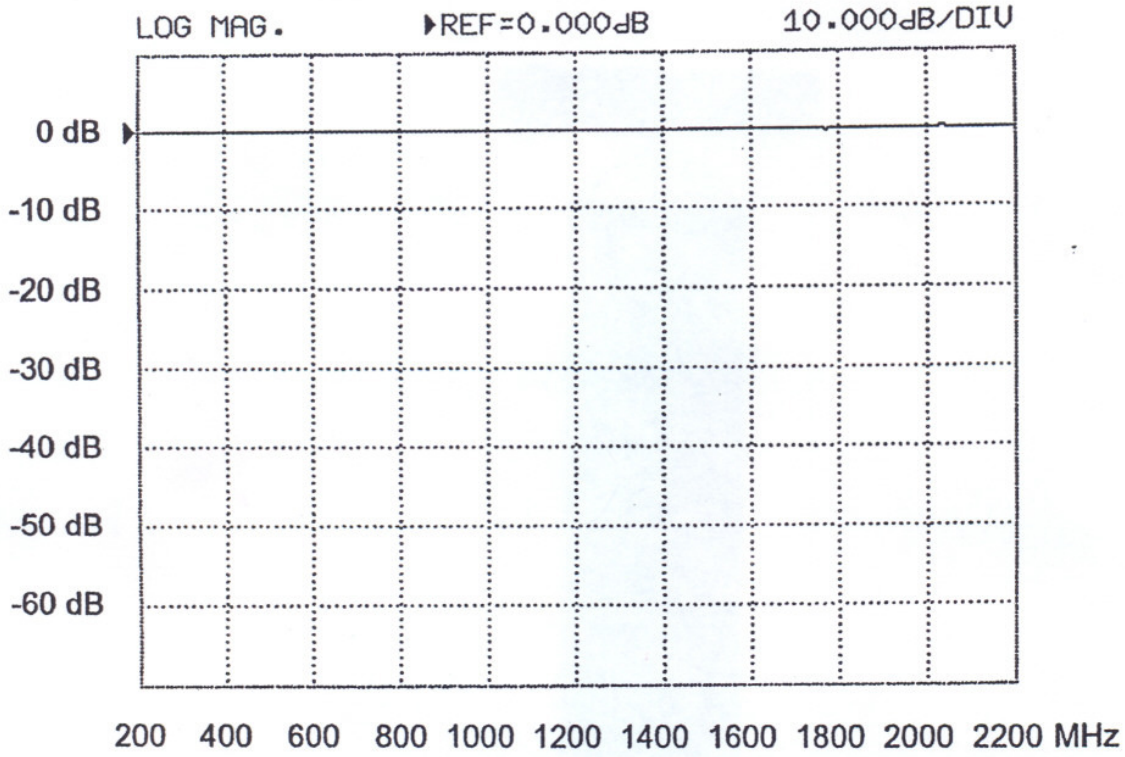
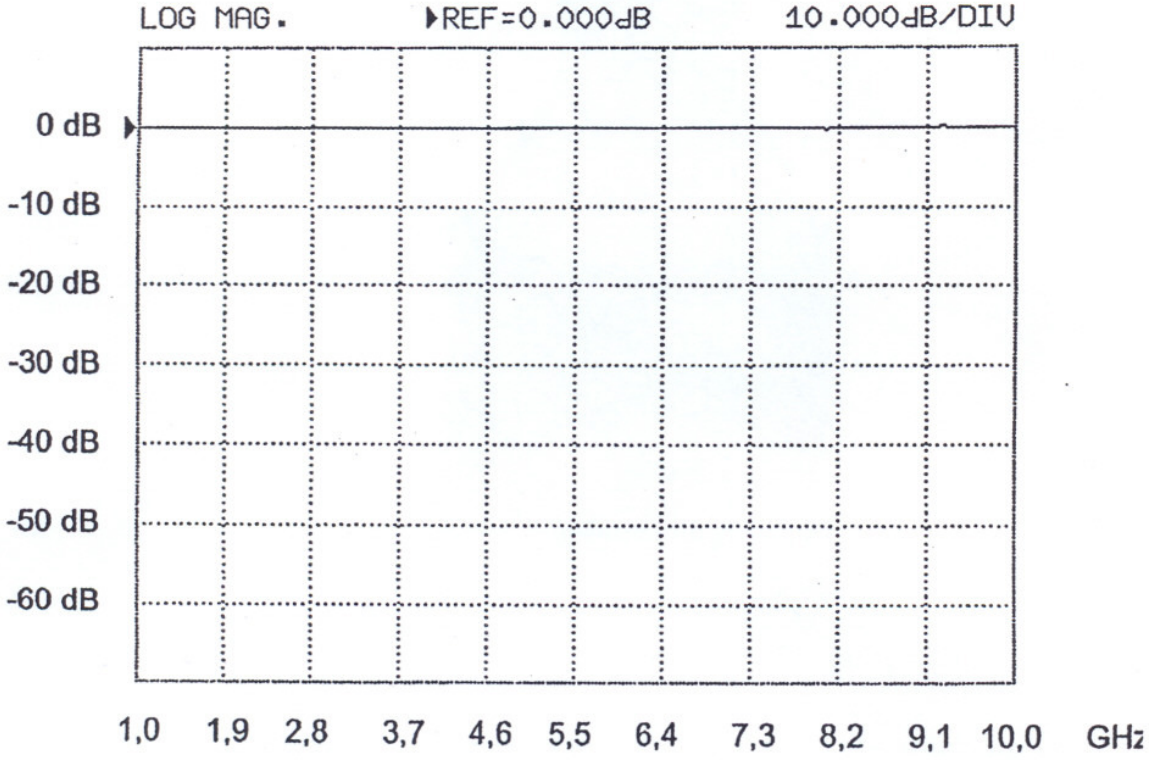
Anlage 2 zum Gutachten vom 28.03.2003
Polarisation **horizontal**

MHM – Massivholzmauer, 34,5 cm, mit Aluminium-Rillennägeln
(oben MHz-Messung, unten: GHz-Messungen)





Prof. Dipl.-Ing. P. Pauli

Anlage 3 zum Gutachten vom 28.03.2003
Kalibriermesskurven mit Frequenzangaben
für den MHz- und GHz-Bereich

Diese Kurven (0 dB) wurden erfasst, während sich kein Messobjekt in der Mess-Öffnung befand. Sie dienen also zur Kalibrierung des 0 dB-Wertes. Gleichzeitig sind zu den Koordinaten-Linien die aktuellen Frequenzwerte angegeben.