

Reduzierung hochfrequenter Strahlung

Baustoffe und Abschirmmaterialien

2. komplett überarbeitete und
deutlich erweiterte Auflage
2003

Peter Pauli und Dietrich Moldan

Vorwort zur 2. Auflage

Im Mai 2000 erschien die erste Auflage und fand große Zustimmung bei Industrie und Gewerbe sowie bei der öffentlichen Hand, aber auch bei Architekten, Planern, Messtechnikern, Ärzten und nicht zuletzt auch bei Besitzern und Mietern von Wohnungen sowie bei betroffenen Bürgern. Sie avancierte rasch zum Standardwerk über Abschirmungen nicht nur im deutschsprachigen Bereich sondern in ihrer englischen Übersetzung auch in anderen Ländern weltweit.

Die Autoren erhielten zahlreiche Anfragen und Vorschläge, die in der zweiten Auflage berücksichtigt wurden und zu einer kompletten Überarbeitung und deutlichen Erweiterung führten.

Die Industrie hat bei der Entwicklung neuer Produkte die Anforderungen und Wünsche des Marktes zum Schutz vor hochfrequenter Strahlung berücksichtigt und inzwischen einige neue Lösungen bis zur Marktreife gebracht. Zahlreiche neue Produkte und umfangreiche Informationen machen die 2. Auflage somit zu einem universellen Nachschlagewerk.

Beachten Sie bitte, dass das Lesen dieser Broschüre weder eine qualifizierte Messung noch die Beratung durch einen Spezialisten ersetzen kann.

Die Autoren, Januar 2003

Impressum

Die Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Peter Pauli
HF- und Mikrowellentechnik
Universität der Bundeswehr
D-85577 Neubiberg
Tel 0 89 / 60 04 – 36 90
Fax 0 89 / 60 04 – 36 90

Dr.-Ing. Dietrich Moldan
Ingenieurbüro für Umweltanalytik
Am Henkelsee 13
D-97346 Iphofen
0 93 23 / 87 08 10
0 93 23 / 87 08 11

Die Messungen wurden im Labor für Radartechnik an der Universität der Bundeswehr in Neubiberg durchgeführt.

Die Bezugsmöglichkeit

Sie erhalten die Dokumentation gegen Vorkasse von 20 Euro pro Exemplar inkl. Versandkosten bei Herrn Dr. Moldan, zahlbar mit Banknote, Scheck (nur innerhalb Deutschlands) oder Überweisung (Bankverbindung auf Anfrage).

Die Ergebnisse sind urheberrechtlich geschützt. Ohne schriftliche Genehmigung der Verfasser dürfen keine Nachdrucke – auch auszugsweise, Kopien, Mikrofilme oder Einspielungen in elektronische Medien angefertigt und / oder verbreitet bzw. die Ergebnisse zu Werbemaßnahmen verwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Allgemeines zur Hochfrequenz	6
3.	Maßeinheiten, Leistungsflussdichten und ihre Entfernungsabhängigkeit	7
4.	Hinweise zur Wellenausbreitung und Abschirmung	9
5.	Messgeräte, Messaufbau und Durchführung der Messungen	10
6.	Ergebnisse	12
7.	Zusammenfassung	13
8.	Massive Baustoffe	14
9.	Lehmbaustoffe und Erde	18
10.	Holzkonstruktionen	22
11.	Fenster und Zubehör	26
12.	Fensterrahmen	30
13.	Spaltbreiten	34
14.	Wandbeschichtungen innen	38
15.	Fassade und Dämmstoffe	42
16.	Dach	46
17.	Textilien	50
18.	Frequenzen und Funkdienste	54
19.	Umrechnungen von dB in %	56
20.	Anbieterübersicht	57
21.	Bezugsadressen	58
22.	Hinweise zur Benützung der Folie	60

1. Einleitung

Das Zeitalter der Kommunikation führt zu dem immer stärkeren Wunsch der Techniker und Anwender, Daten- und Nachrichtenübertragungen möglichst komplex und an jedem Ort durchführen zu können. Man denke nur an die extrem starken Zuwachsraten im Mobilfunk, die Anfang des Jahres 1999 zu 15 Millionen Mobilfunkbenutzern in Deutschland und rund 100 Millionen Nutzern in Europa geführt haben. Im Jahr 2002 gab es bereits über 50 Millionen Handybesitzer allein in Deutschland. Die analogen schnurlosen Telefone werden heute nur noch in kleinsten Stückzahlen angeboten. In Europa haben die digitalen Standards DECT für schnurlose Telefone und GSM für Mobilfunk Einzug gehalten. Die Handys sind inzwischen internetfähig und die modernen Bürogeräte wie Laptop, Drucker, PC, Monitor, Scanner und Fax können ohne Kabel miteinander auf Entfernungen bis zu ca. 250 Meter kommunizieren – W-LAN und Bluetooth sind die Zauberwörter.

Für den Betrieb einer guten Funkverbindung wird man auf eine möglichst geringe Dämpfung der Strahlungsleistung zwischen Sender und Empfänger Wert legen. Im Gegensatz dazu wird im medizinischen Bereich, insbesondere auf Intensivstationen, eine möglichst geringe Einstrahlung von außen auf die lebenserhaltenden Geräte gefordert. In sensiblen Bereichen der elektronischen Datenverarbeitung sowie beim Militär steht die Abhörsicherheit an oberster Stelle. Des Weiteren werden hohe Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten gestellt (EMVG). Die Industrie hat hierauf mit einer Vielzahl von Abschirmmöglichkeiten für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle reagiert. Im biologischen Bereich fühlen sich Menschen und andere Lebewesen beeinträchtigt und gestört (EMVU); einige reagieren mit gesundheitlichen Beschwerden auf die immer stärker zunehmende Belastung unserer Umwelt mit hochfrequenten Wellen. In Deutschland gibt es über 40.000 Sendeanlagen für Mobilfunk und über 81.000 Amateurfunker. Von unzähligen Sendern werden Hunderte Hörfunk-Programme und Dutzende Fernsehkanäle abgestrahlt. Die 3. Mobilfunkgeneration UMTS soll noch einmal zigttausend neue Sendeanlagen benötigen.

Anfang des Jahres 1999 begannen die Autoren mit Untersuchungen zum Dämpfungsverhalten verschiedener Baustoffe und speziell von der Industrie hergestellter Abschirmmaterialien für den hochfrequenten Bereich. So wurden für die 1. Auflage dieser Broschüre an der Universität der Bundeswehr Neubiberg über 100 verschiedene Muster hinsichtlich ihrer Dämpfung für technisch erzeugte hochfrequente Wellen getestet. Viele Firmen haben freundlicherweise Materialien zur Verfügung gestellt. Weitere Prüfmuster wurden im freien Handel erworben. Über 85 ausgewählte Ergebnisse sind in der 1. Veröffentlichung aus dem Jahr 2000 dargestellt worden.

Seither gibt es viele spezielle Neuentwicklungen zur Reduzierung hochfrequenter Strahlung aber auch bereits vorhandene Produkte, deren Einsatzzweck bisher nicht der Hochfrequenzdämpfung diente. Sie alle wurden untersucht und eine große Auswahl finden Sie in dieser Neuauflage. Weitere Anregungen kamen von interessierten Lesern, für die die Autoren sich bedanken.

Von den 85 Darstellungen in der 1. Auflage wurden in der 2. Auflage über 50 wieder verwendet und rund 50 kamen neu hinzu – so sind es nunmehr über 100 Kurven aus über 300 Prüfmustern. Zusätzlich wurden die Ergebnisse für die Frequenzbereiche um 900 MHz (GSM 900 Mobilfunk) und um 1.900 MHz (GSM 1800 Mobilfunk, DECT und UMTS) in Säulendiagrammen zur schnelleren Beurteilung dargestellt.

Die Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Untersuchungen sind in den folgenden Abbildungen wiedergegeben. Sie sollen dem Bauherren, Planer und Architekten sowie Benützer der drahtlosen Kommunikation aber auch betroffenen Hausbewohnern, Ärzten und Messtechnikern einen Überblick ermöglichen.

Es gibt keine Verlierer oder Gewinner, denn jedes Material hat seine charakteristischen Eigenschaften. Oft ermöglichen es erst Kombinationen aus verschiedenen Materialien, die gewünschten Eigenschaften zu erzielen: Wärmedämmung, Brandschutz, Schalldämmung, Diffusionsfähigkeit, Statik, Ästhetik und nicht zuletzt auch Dämpfung hochfrequenter Strahlung. Die Darstellungen sollen somit eine Übersicht geben und nicht zu einem Wettbewerbsvergleich von Materialien führen.

.....

An gut leitenden metallischen Blechen oder geschlossenen metallischen Gehäusen werden elektromagnetische Wellen total reflektiert. Bei anderen Materialien, die nicht unendlich gut leitfähig sind und die wie in der Abbildung eine gewisse Dicke aufweisen, muss der Schirmungsvorgang etwas detaillierter analysiert werden.

.....

Vorgänge bei der Schirmung einer elektromagnetischen Welle durch eine Hauswand (nach Schelkunoff)

Wie erkennbar ist, tragen also 2 Vorgänge zur Reduzierung hochfrequenter elektromagnetischer Leistung bei: Reflexion und Absorption. Beide Effekte müssen bei der Konzeption und Optimierung einer schirmenden Wand beachtet werden.

5. Messgeräte, Messaufbau und Durchführung der Messungen

Zur richtigen Beurteilung der Leistungsflussdichte bestimmter Signale ist der Einsatz eines Spektrumanalysators oder eines kalibrierten selektiven Feldstärkemessgerätes unverzichtbar. Da die Geräte einen fünfstelligen Eurobetrag kosten, lohnt sich die Anschaffung für eine einzelne Messung nicht. Wenden Sie sich bitte an Spezialisten, die mit Spektrumanalysatoren arbeiten, richtig messen und Sie bei der Wahl der geeigneten Dämpfungsmaßnahmen fachlich beraten können.

Genauso wichtig ist es, dass der Lieferant von speziellen Abschirmmaterialien ausführliche Unterlagen zu seinen Produkten (technische Datenblätter mit Angabe der spezifischen Eigenschaften, Hinweise zu Inhaltsstoffen, Montage-/Verlegeanleitung, Anschlussmöglichkeiten an den Erdleiter für den Potenzialausgleich) zur Verfügung stellt.

Entscheidend für die Auswahl eines Produktes sollten Qualität, erreichbare Abschirmwirkung, einfache Anwendung und letztlich der Preis sein. Es hängt also viel vom Einsatzort, dem gewünschten Effekt und den realisierbaren Möglichkeiten ab. Dabei ist nicht immer das teuerste Produkt das beste.

8. Massive Baustoffe

Die Baustoffe wurden in unverputztem Zustand untersucht.

Im Bereich der **Kalksandsteine** (KS) sind zwei Extreme feststellbar:

Einerseits lassen konventionell hergestellte KS (Nr. 12 und 13) die Hochfrequenz weitestgehend ungehindert durch. Dies kann in einigen Anwendungsfällen sogar erwünscht sein. Auf Grund der

Andererseits gibt es eine Spezialentwicklung der Firma KS-Werk Wemding: *KS-protect*. Der hier geprüfte Lochstein mit 24 cm (Nr. 1) weist ab ca. 600 MHz mit über 50 dB (99,999 %) extrem hohe

Leichtbeton mit 30 cm Wandstärke (Nr. 3) zeigt im Bereich der Mobilfunknetze eine Dämpfung von über 20 dB (99 %).

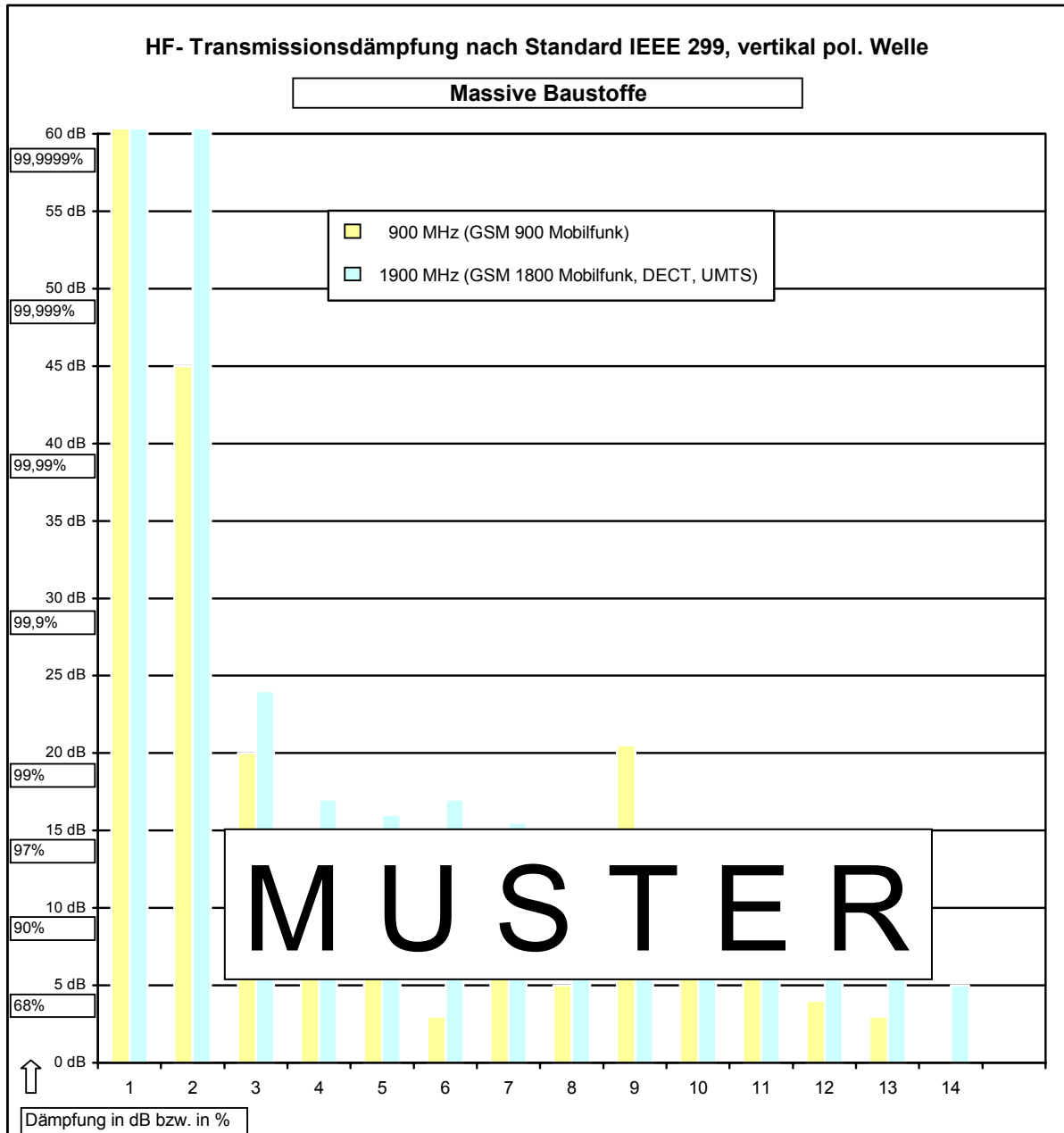
Nach anfänglich niedrigen Werten steigt die Dämpfung von **Porenbeton** mit einer Schichtdicke von

Die Wandstärken können einen deutlichen Einfluss auf die Dämpfung ausüben: je dicker das Material desto größer die Dämpfung. Exemplarisch sei auf den **Hochlochziegel** mit 11,5 cm (Nr. 14) und mit 24 cm (Nr. 6) verwiesen. Ferner sinkt in der Regel mit abnehmender Rohdichte auch die Fähigkeit zur Dämpfung hochfrequenter Wellen. Der Hochlochziegel mit 36,5 cm (Nr. 5) weist mit 800 kg/m³ eine rund 33 % niedrigere Dichte als die Hochlochziegel Nr. 6 und 14 mit 1.200 kg/m³ auf. Mit weiter abnehmenden Rohdichten, die zur Erzielung von besseren Wärmedämmeigenschaften eingesetzt

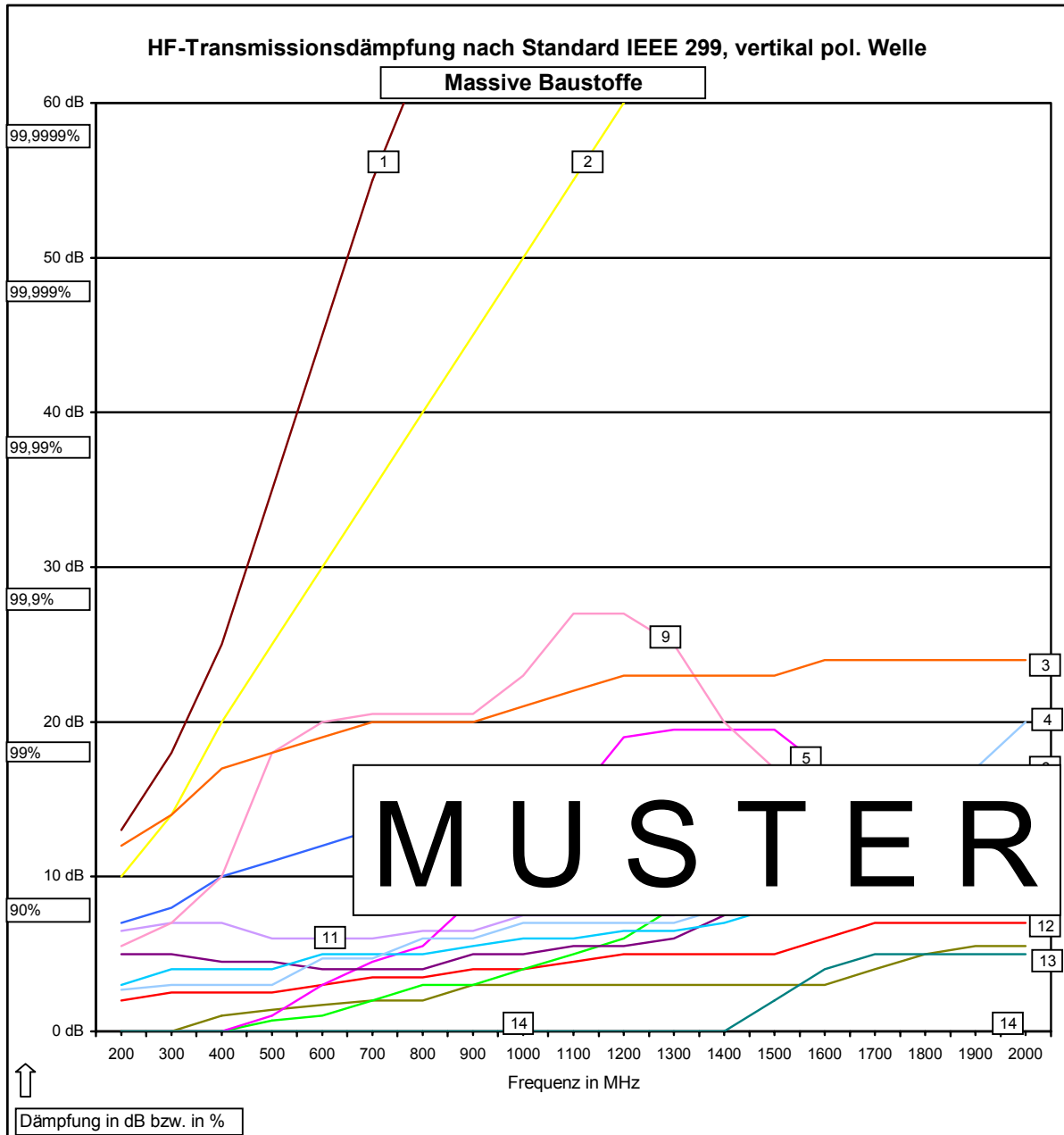
Der Einfluss von Feuchte auf die Dämpfung hochfrequenter Strahlung kann am Beispiel eines Musters aus **Stahlbeton** insbesondere im GHz-Bereich deutlich dargestellt werden: das noch feuchte Material (Nr. 7) dämpft im Mobilfunkbereich zwischen 13 und 16 dB (95 – 97 %) während der trockene Beton (Nr. 11) mit ca. 6 dB weniger zwischen 7 und 10 dB (80 – 90 %) aufweist. Oder anders ausgedrückt,

Die Fähigkeit eines Baustoffes zur Reduzierung der Leistungsflussdichte ist abhängig von der Art des Materials und von der Schichtdicke sowie ggf. von den zusätzlich in den Baustoff eingebrachten

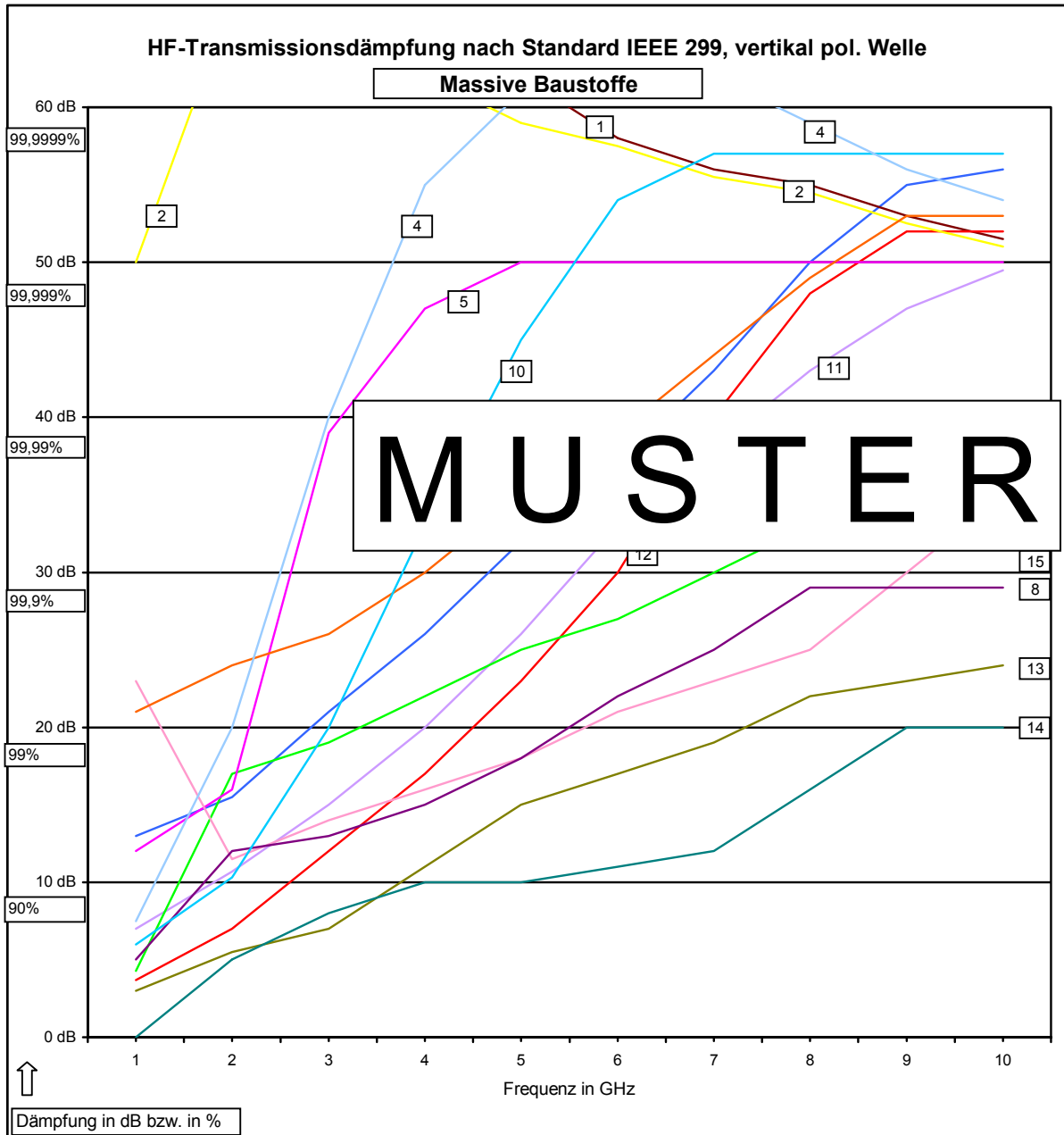
Bei allen hier gelisteten massiven Baustoffen ist mit steigender Frequenz eine deutliche Zunahme der Schirmdämpfung festgestellt worden. Grund: wachsende dielektrische Verluste der Materialien.



Nr.	Bezeichnung	Typ und Anmerkungen
1	KS-protect 24 cm	(2.200 kg/m ³) Lochstein [KS-Wemding]
2	KS-protect 17,5 cm	(2.200 kg/m ³) Lochstein [KS-Wemding]
3	Leichtbeton 30 cm	(600 kg/m ³)
4	Porenbeton 36,5 cm	(400 kg/m ³) [Ytong]
5	Hochlochziegel 36,5 cm	(800 kg/m ³)
6	Hochlochziegel 24 cm	(1.200 kg/m ³)
7	Stahlbeton 16 cm	(2.400 kg/m ³); Beton feucht (1 Monat alt)
8	Leichtbeton 11,5 cm	(1.200 kg/m ³)
9	ThermoPlan AS 36,5 cm (vertikal)	(600 kg/m ³) Plan-Hochlochziegel mit 2 Reihen Alustreifen [JUWÖ]
10	Porenbeton 17,5 cm	(500 kg/m ³) [Ytong]
11	Stahlbeton 16 cm	(2.400 kg/m ³); Beton trocken (9 Monate alt)
12	Kalksandstein 24 cm	(1.800 kg/m ³)
13	Kalksandstein 17,5 cm	(1.800 kg/m ³)
14	Hochlochziegel 11,5 cm	(1.200 kg/m ³)



Nr.	Bezeichnung	Typ und Anmerkungen
1	KS-protect 24 cm	(2.200 kg/m ³) Lochstein [KS-Wemding]
2	KS-protect 17,5 cm	(2.200 kg/m ³) Lochstein [KS-Wemding]
3	Leichtbeton 30 cm	(600 kg/m ³)
4	Porenbeton 36,5 cm	(400 kg/m ³) [Ytong]
5	Hochlochziegel 36,5 cm	(800 kg/m ³)
6	Hochlochziegel 24 cm	(1.200 kg/m ³)
7	Stahlbeton 16 cm	(2.400 kg/m ³); Beton feucht (1 Monat alt)
8	Leichtbeton 11,5 cm	(1.200 kg/m ³)
9	ThermoPlan AS 36,5 cm (vertikal)	(600 kg/m ³) Plan-Hochlochziegel mit 2 Reihen Alustreifen [JUWÖ]
10	Porenbeton 17,5 cm	(500 kg/m ³) [Ytong]
11	Stahlbeton 16 cm	(2.400 kg/m ³); Beton trocken (9 Monate alt)
12	Kalksandstein 24 cm	(1.800 kg/m ³)
13	Kalksandstein 17,5 cm	(1.800 kg/m ³)
14	Hochlochziegel 11,5 cm	(1.200 kg/m ³)



Nr.	Bezeichnung	Typ und Anmerkungen
1	KS-protect 24 cm	(2.200 kg/m ³) Lochstein [KS-Wemding]
2	KS-protect 17,5 cm	(2.200 kg/m ³) Lochstein [KS-Wemding]
3	Leichtbeton 30 cm	(600 kg/m ³)
4	Porenbeton 36,5 cm	(400 kg/m ³) [Ytong]
5	Hochlochziegel 36,5 cm	(800 kg/m ³)
6	Hochlochziegel 24 cm	(1.200 kg/m ³)
7	Stahlbeton 16 cm	(2.400 kg/m ³); Beton feucht (1 Monat alt)
8	Leichtbeton 11,5 cm	(1.200 kg/m ³)
9	ThermoPlan AS 36,5 cm (vertikal)	(600 kg/m ³) Plan-Hochlochziegel mit 2 Reihen Alustreifen [JUWÖ]
10	Porenbeton 17,5 cm	(500 kg/m ³) [Ytong]
11	Stahlbeton 16 cm	(2.400 kg/m ³); Beton trocken (9 Monate alt)
12	Kalksandstein 24 cm	(1.800 kg/m ³)
13	Kalksandstein 17,5 cm	(1.800 kg/m ³)
14	Hochlochziegel 11,5 cm	(1.200 kg/m ³)

19. Umrechnung von dB in %

Bei der Messung der Schirmdämpfung wird ermittelt, wie stark die Leistung der elektromagnetischen Welle durch das Prüfmuster gedämpft wird. Die Angabe erfolgt in Dezibel dB. Zwischen der **Dämpfung in dB und der Dämpfung in %** besteht folgender Zusammenhang:

Dämpfung		Leistungs- durchlass	Dämpfung		Leistungs- durchlass
dB	%	%	dB	%	%
0	0,00	100,00	30	99,90	0,10
1	19,00	81,00	31	99,92	0,08
2	37,20	62,80	32	99,94	0,06
3	50,00	50,00	33	99,95	0,05
4	60,00	40,00	34	99,96	0,04
5	68,40	31,60	35	99,97	0,03
6	75,00	25,00	36	99,98	0,02
7	80,00	20,00	37	99,98	0,02
8	84,00	16,00	38	99,98	0,02
9	87,50	12,50	39	99,98	0,02
10	90,00	10,00	40	99,99	0,01
M U S T E R					
27	99,80	0,20	57	99,9998	0,0002
28	99,82	0,18	58	99,9998	0,0002
29	99,88	0,12	59	99,9999	0,0001
30	99,90	0,10	60	99,9999	0,0001

Die wichtigsten Werte, wie sie in den Diagrammen verwendet wurden, noch einmal im Überblick:

5 dB

68 %

35 dB

99,97 %

20. Anbieterübersicht

Eine Übersicht der Anbieterfirmen der in diesem Buch gelisteten Produkte zeigt die folgende Tabelle. Die Auflistung der Anwendungsbereiche ist aber nicht vollständig, da verschiedene Firmen darüber hinaus weitere Anwendungsmöglichkeiten anbieten. Informationen erhalten Sie beim Anbieter.

Kapitel Firma	Massivbaustoffe	Lehmbaustoffe	Holzbaustoffe	Fenster & Zubehör	Wandbeschichtungen innen	Fassade und Dämmstoffe	Dach	Textilien
	8	9	10	11, 12	14	15	16	17
Ampack					X		X	
Baufritz			X				X	
Bauder							X	
Biologa				X	X		X	X
Claytec		X						
Dörken							X	
Fo...		X						
Ge...								X
Ju...								
BV...								
KS...								
Ka...								
Ke...								
Kr...								
Kr...								
Kd...								
FV...								
Le...								
Ne...								
PP...								
Pr...								
RO...								
Sc...								
Sa...								
St...								
Swiss Smeru								X
Thoma			X					
WERU				X				
Ytong	X							
Zementindustrie	X							
AG Mauerziegel	X							
Ziegelmeier				X				

M U S T E R