

EMV-Themen des VDB
ElektroMagnetische Verträglichkeit

**Reduzierung
hochfrequenter Strahlung
im Bauwesen:
Baustoffe und
Abschirmmaterialien**

Autoren: Peter Pauli und Dietrich Moldan



Inhaltsverzeichnis

	Vorwort zur 3. Auflage	5
1	Einleitung	7
2	Allgemeines zum Thema Hochfrequenz	9
3	HF-Messgrößen und Maßeinheiten	11
4	Wellenausbreitung und Abschirmung	14
4.1	Wellenausbreitung	14
4.2	Dämpfungsverhalten eines Materials	14
5	Frequenzen und Funkdienste	16
6	Funkdienste im Überblick	17
6.1	Einleitung	17
6.2	Öffentlicher Rundfunk (Ton- und Fernseh Rundfunk)	18
6.3	Mobilfunk	22
6.4	Inhouse Sprach- und Datenübertragung (DECT, Bluetooth, WLAN, dLAN)	29
6.5	Radar	35
7	Mobilfunksendeanlagen – Charakteristika und Standorte	36
8	Was Sie vor der Durchführung von Abschirmungen beachten sollten	39
9	Von der Messung bis zur Abschirmung – Vorgehensweise	41
9.1	Art des Objektes	41
9.2	Messung niederfrequenter Felder	42
9.3	Messtechnik für Hochfrequenz	44
9.4	Messung hochfrequenter Felder und Erarbeitung eines Sanierungsziels	45
9.5	Auswahl von Abschirmmaterialien	46
9.6	Durchführung eines NF- und HF-Sanierungskonzeptes	46
9.7	Bewertung von Immissionen	48
10	Erdung von Abschirmmaterialien	48
10.1	Netzsysteme/Netzformen	48
10.2	Potentialausgleich	49
10.3	Querschnitt Anschlussleiter	49
10.4	Anschluss	50
10.5	Blitzschutz	50
10.6	Fehlerstrom(FI)-Schutzschalter [<i>Residual Current Protective Device (RCD)</i>]	50
10.7	Haftung	51
11	Erdung von Abschirmungen: Schleifenbildung und Vielfacherdungen vermeiden	51
11.1	Einleitung	51
11.2	Problemkreis „Schleifenbildung durch Erdungsleitungen“	52
11.3	Problemkreis „Vielfacherdungen in der Fläche“	57
11.4	Abschlussbemerkung	61
12	Umrechnung der Dämpfung von dB in Dämpfungsfaktor und Schirmwirkungsgrad	62
13	Messung der HF-Dämpfung unter Laborbedingungen	63
13.1	Prüfaufbau für fertige Produkte in Neubiberg	63
13.2	Prüfaufbau für fertige Produkte im akkreditierten EMV-Labor	64

13.3	Prüfaufbau für Dünnschichtprodukte in Neubiberg	65
13.4	Angaben zur Dämpfung	66
14	Darstellungsformen der Laborergebnisse	66
15	HF-Dämpfung der untersuchten Baustoffe und Abschirmmaterialien	67
15.1	Massive Baustoffe	68
15.2	Lehmbaustoffe	72
15.3	Holzkonstruktionen	76
15.4	Fenster	80
15.5	Fenster- und Türelemente	84
15.6	Fenster und Zubehör	88
15.7	Spaltbreiten	92
15.8	Innenwände und Trockenbau	96
15.9	Wandbeschichtungen innen	100
15.10	Farben	104
15.11	Gewebe und Gitter	108
15.12	Böden, Terrassen und Flachdächer	112
15.13	Fassade und Dämmstoffe	116
15.14	Dächer	120
15.15	Textilien	124
15.16	Produkte für Spezialanwendungen	128
16	Übersicht zu Produkten, Einsatzbereichen und Anbietern	132
17	Bezugsadressen	141
18	Literatur	144
19	Links	146

Vorwort zur 3. Auflage

Im Mai 2000 erschien die erste Auflage dieser Zusammenstellung 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 gegen hochfrequente elektromagnetische Wellen 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 2003 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 weitere Lösungen bis Marktreife gebracht. Dabei gilt der Schutz zum einen dem Menschen und zum anderen den elektronischen Geräten.

Waren in der 2. Auflage rund 100 Produkte mit ihren Dämpfungskurven vorgestellt worden, so sind es nunmehr rund 150 Produkte, über die die Hälfte davon ist neu. Einige Produkte sind in den vergangenen Jahren vom Markt genommen worden, andere wurden durch Nachfolgeprodukte abgelöst und wiederum andere sind Neuentwicklungen. So bietet sich ein breites Spektrum an unterschiedlichsten Lösungsmöglichkeiten, um das Eindringen von hochfrequenter Strahlung in Räume zu reduzieren oder elektronische Geräte zu schützen.

Die Autoren freuen sich, wenn diese komplett überarbeitete und deutlich erweiterte Auflage erneut zu einem universellen Nachschlagewerk für Fachleute und interessierte Laien wird.

Beachten Sie bitte, dass das Lesen dieses Buches weder eine qualifizierte Messung noch die Beratung durch einen Spezialisten ersetzen kann. Es kann Ihnen aber helfen, sich als Betroffener im Vorfeld mit der Thematik auseinander zu setzen oder als Messtechniker ein umfassendes Nachschlagewerk in Händen zu haben.

Besonders bedanken möchten wir uns bei Caren und Dr. Martin H. Virnich für die Beiträge über verschiedene Funksysteme (Kap. 6) und die Hinweise zur Vermeidung von Schleifenbildung und Vielfacherdungen bei der Durchführung von Abschirmmaßnahmen (Kap. 11), bei Gerd Welsch für die Informationen zur Erdung von Abschirmmaterialien (Kap. 10) und bei Wolfgang Kessel für die Darstellung von Spezialprodukten und Produktdetails bei hohen Anforderungen an die Hochfrequenz-Schirmdämpfung (Kap. 15.16).

Die Autoren, April 2015

Prof. Peter Pauli

Ingenieurbüro für HF-, Mikrowellen- und Radartechnik
Alter Bahnhofplatz 26
D-83646 Bad Tölz
Tel. +49 (0)8041 – 792 74 47
Fax +49 (0)80 41 – 792 99 99
prof.peter.pauli@t-online.de

Dr.-Ing. Dietrich Moldan

Dr. Moldan Umweltanalytik
Am Henkelsee 13
D-97346 Iphofen
Tel.: +49 (0)9323 – 87 08-10
Fax: +49 (0)9323 – 87 08-11
info@drmoldan.de
www.drmodaln.de

Wolfgang Kessel, Umweltanalytik Kessel, Bargteheide, Tel. +49 (0)4532 – 59 34,
umweltanalytik.kessel@t-online.de, www.cuprotect.de

Dr.-Ing. Martin H. Virnich und Dipl.-Ing. (FH) Architektin Caren Virnich, ibu – Ingenieurbüro für Baubiologie und Umweltmesstechnik, Mönchengladbach, Tel. +49 (0)2161 – 87 65 74, virnich.martin@t-online.de,
www.baubiologie-virnich.de

Gerd Welsch, Aidlingen, Tel. +49 (0)7034 – 41 39, gh.welsch@t-online.de

1 Einleitung

Das Zeitalter der Kommunikation führt zu dem immer stärkeren Wunsch der Techniker und Anwender, Nachrichtenübertragungen möglichst komplex und an jedem Ort der Welt durchführen zu können.

1958 wurde das erste Mobilfunknetz in Deutschland, bekannt unter dem Namen A-Netz, in Betrieb genommen.

1972 wurde durch die Installation des B-Netzes erstmals Telefonieren ohne Vermittlungsstelle möglich.

1985 wurde das C-Netz als erstes teilweise digitales Mobilfunknetz in Betrieb genommen.

1992 wurde mit dem GSM-Standard die zweite Mobilfunkgeneration (2G) eingeführt, die erstmals voll digital arbeitet. Es startete zunächst das D-Netz, das im GSM900-Frequenzbereich arbeitet. Im folgenden Jahr gab es bereits eine Million Mobilfunkteilnehmer. (GSM = Global System for Mobile Communications)

1994 startete das E-Netz im GSM1800-Frequenzbereich. Es folgte die Einführung des Short Message Service (SMS). Mit dem Ziel, mehr Kunden zu erzielen, die keine Vertragsbindung mit monatlichen Grundgebühren haben möchten, wurden in den folgenden Jahren Prepaid-Karten (Guthabekarten) eingeführt.

1998 betrug die Zahl der Mobilfunkteilnehmer in Deutschland bereits über zehn Millionen.

Im Jahr 2000 wurde mit UMTS die dritte Mobilfunkgeneration (3G) in der Öffentlichkeit durch die extrem hohen Erlöse für die Versteigerung der Lizenzen bekannt. Mit diesem Standard sollten Übertragungsgeschwindigkeiten von 384 kbit/s erzielt werden. Im Vergleich dazu konnte GSM nur bis zu 55 kbit/s aufweisen (UMTS = Universal Mobile Telecommunications System).

Der Siegeszug der Mobilfunktelefonie konnte nicht mehr gebremst werden. Bereits in 2006 gab es mit 85 Millionen Mobilfunkverträgen erstmals mehr Mobiltelefone als Einwohner in Deutschland.

Die Entwicklung und vor allem der Wunsch nach immer höheren Datenübertragungsraten und schnellem Internetzugriff führten zur Entwicklung des dritten, in Betrieb befindlichen Mobilfunksystems LTE (Long Term Evolution). Die Vorstellung des weltweit einheitlichen Standards erfolgte 2006 in Hongkong. Die Versteigerung der LTE-Lizenzen wurde in Deutschlands vier Jahre später durchgeführt. Das LTE-Netz soll Übertragungsgeschwindigkeiten von mehr als 50 Mbit/s ermöglichen.

Neben dem „Mobilfunk für jedermann“ wird seit vielen Jahren versucht, in Deutschland den TETRA-Standard (TETRA = *Terrestrial Trunked Radio*) für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) zu errichten. Anwendungsprobleme im Alltag und hohe Anschaffungskosten wirkten sich bisher als Bremse aus.

Je höher die geforderten Datenübertragungskapazitäten sind, desto enger muss das Netz der Mobilfunkbasisstationen sein. Hier entsteht nun ein neues Spannungsfeld: Der Benutzer eines Mobiltelefons möchte möglichst immer und überall erreichbar sein und gleichzeitig keine Mobilfunksendeanlage in seiner Nachbarschaft haben. Die Errichtung von Mobilfunksendeanlagen bis zu einer Höhe von 10 m unterliegt in der Regel nicht der bauaufsichtlichen Genehmigungspflicht.

Die von der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) empfohlenen Basisgrenzwerte wurden von der WHO übernommen und den Staaten zur Übernahme in die nationale Gesetzgebung empfohlen. Die aktuelle Rechtsprechung beruft sich auf die Grenzwerte der 26. Bundesimmissionschutzverordnung (26. BImSchV), die auf den Basisgrenzwerten der ICNIRP basiert. Bei Einhaltung dieser Werte kann es nach Ansicht der Mitglieder der ICNIRP, einem privaten Verein mit Sitz in München, nicht zu gesundheitlichen Auswirkungen kommen. Die ICNIRP definiert selbst in den „Grundlagen für die Begrenzung der Exposition“, dass „diese Richtlinien auf kurzfristigen, unmittelbaren gesundheitlichen Auswirkungen basieren.“ Sie berücksichtigen daher weder das Langzeitrisiko noch die Wirkung bestimmter Signalcharakteristika wie gepulster Strahlung im Niedrigdosisbereich.

Gleichzeitig mit der extrem schnell wachsenden Anzahl von Mobiltelefonen und Mobilfunkbasisstationen erfolgte die Durchdringung von Haushalten, Wohnungen und Büros mit schnurlosen Telefonen nach dem DECT-Standard. Im privaten Bereich werden sie teilweise durch die Abschaffung des Festnetzanschlusses und Benutzung von Mobiltelefonen wieder verdrängt (DECT = *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*).

Die Kommunikation zwischen verschiedenen IT-Geräten wie Computer, Notebook, Mobiltelefon, Drucker und Server führt zu einer rasanten Zunahme an Geräten, die über WLAN miteinander kommunizieren (WLAN = *Wireless Local Area Network*).

4 Wellenausbreitung und Abschirmung

4.1 Wellenausbreitung

Die von einem Sender, z.B. von einer Mobilfunk-Basisstation abgestrahlten hochfrequenten Wellen können über verschiedene Ausbreitungswege zum Mobiltelefon gelangen:

- ▶ Besteht Sichtverbindung, gelangt das stärkste Signal als direkter Strahl von der Sendeantenne zum Teilnehmer („Mobiles Telefon“) (Pfeil in magenta).
- ▶ Zusätzlich kann es über (ggf. mehrere) Reflexionen (Pfeile in grün) und/oder
- ▶ durch Beugung (Pfeil in blau) oder Streuung (Pfeil in orange) der Wellen an Hindernissen oder Kanten von Gebäuden zum Teilnehmer gelangen.

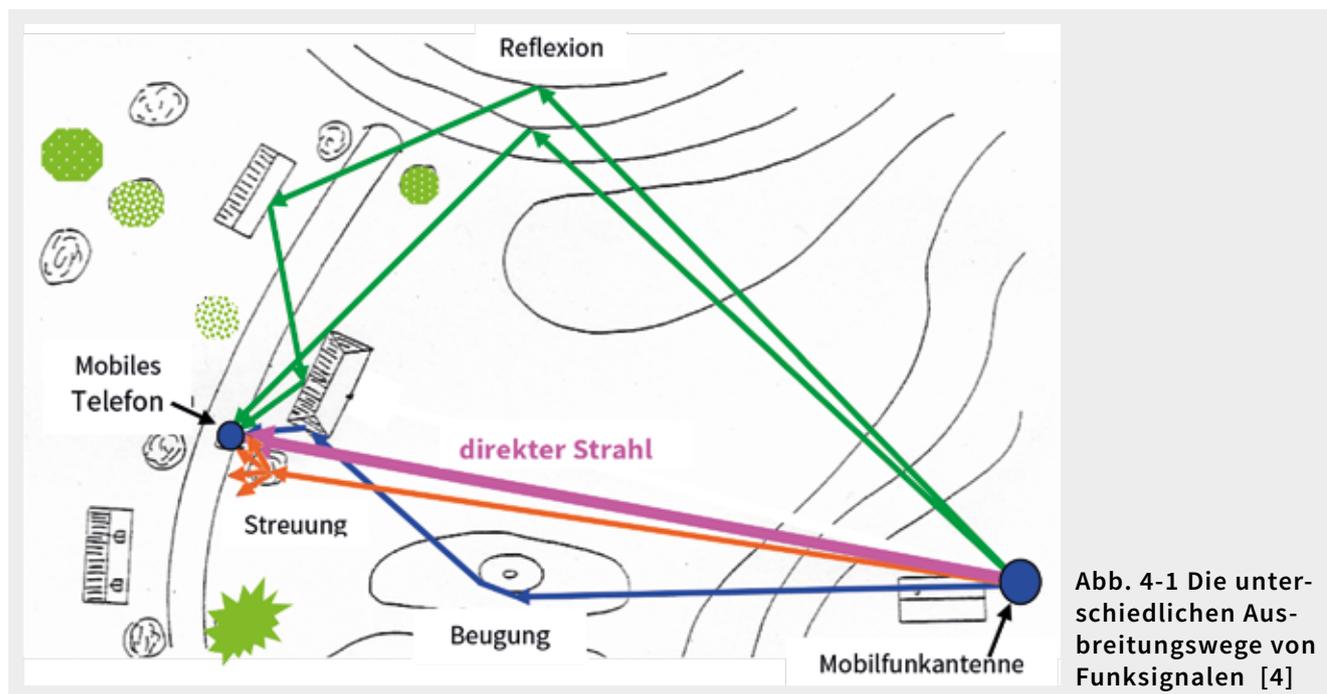


Abb. 4-1 Die unterschiedlichen Ausbreitungswege von Funksignalen [4]

Auf solch unterschiedlichen Wegen kann das Signal den Empfangsort erreichen. Der stärkste Immissionsanteil liegt im direkten Strahl der Sichtverbindung. Die in Abb. 4-1 dargestellte Mehrwegeausbreitung mit Beugung, Streuung und Reflexionen darf bei der Konzeption von Abschirmmaßnahmen nicht außer Acht gelassen werden. In vielen Fällen ist es möglich, durch die Abschirmung der dem Sender zugewandten Wände – inklusive Fenstern und Türen – sowie der zugehörigen Deckenbereiche eine ausreichend hohe Dämpfung zu erzielen, manchmal aber auch erst durch umfassendere Maßnahmen.

4.2 Dämpfungsverhalten eines Materials

Bei elektromagnetischen Wellen sind das elektrische und das magnetische Feld nicht mehr voneinander getrennt. Wie schon in Kapitel 3 erwähnt, stehen im Fernfeld die elektrische Feldstärke E und die magnetische Feldstärke H in einem festen Verhältnis zueinander, das in Luft und im Vakuum durch den Feldwellenwiderstand des freien Raumes $Z_0 = 377 \Omega$ bestimmt wird. Trifft die Welle auf ein dämpfendes Element auf, wie z.B. eine Wand, so ist ihre Intensität hinter der Wand geringer geworden. Die Dämpfung kann zwei Ursachen haben:

- ▶ ein Teil der Welle wurde vom Schirm reflektiert oder/und
- ▶ ein Teil der Welle wurde im Schirm absorbiert, also in Wärme umgewandelt.

Tab. 5-1: Übersicht über den Frequenzbereich von 0 bis 300 GHz, Wellenlängen und Bezeichnungen nach IEC

Frequenz	Wellenlänge	Bezeichnung nach IEC		Anmerkungen
> 3 Hz – 30 Hz	10 ⁵ km – 10 ⁴ km	Extremely Low Frequencies	NF	
30 Hz – 300 Hz	10 ⁴ km – 10 ³ km	Super Low Frequencies	NF	
300 Hz – 3 kHz	10 ³ km – 100 km	Ultra Low (Voice) Frequencies	NF	Sprachfrequenz
3 kHz – 30 kHz	100 km – 10 km	Very Low Frequencies	NF	Längswellen
30 kHz – 300 kHz	10 km – 1 km	Low Frequencies	HF	Langwellen (LW)
300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	Medium Frequencies	HF	Mittelwellen (MW)
3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m	High Frequencies	HF	Kurzwellen (KW)
30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m	Very High Frequencies	HF	Ultrakurzwellen (UKW)
300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	Ultra High Frequencies	HF	Dezimeter-Wellen
3 GHz – 30 GHz	10 cm – 1 cm	Super High Frequencies	HF	Zentimeter-Wellen
30 GHz – 300 GHz	1 cm – 1 mm	Extremely High Frequencies	HF	Millimeter-Wellen

NF = Niederfrequenzbereich, HF = Hochfrequenzbereich, IEC = International Electrotechnical Commission

6 Funkdienste im Überblick

Autor: Dr.-Ing. Martin H. Virnich

6.1 Einleitung

Es ist gar nicht so einfach, heutzutage den Überblick über die Vielzahl der in Betrieb befindlichen Funkdienste zu behalten. Neben den schon seit fast einhundert Jahren bekannten öffentlichen Rundfunkdiensten – zunächst rein analog, jetzt überwiegend digital – hat sich in den letzten ca. 20 Jahren der Mobilfunk als derjenige Funkdienst mit den meisten Senderstandorten etabliert. Geradezu eine explosionsartige Verbreitung hat es auch im Bereich der Schnurlostelefone (DECT) und drahtlosen Netzwerke (WLAN, Bluetooth) gegeben. Dazu eine Vielzahl von funkbasierten Geräten für alle möglichen Anwendungsbereiche in der Wohnung, im Kraftfahrzeug und am Arbeitsplatz.

Der folgende Überblick stellt die wichtigsten heute relevanten Funkdienste mit ihren charakteristischen technischen Eigenschaften vor. Gegliedert ist die Zusammenstellung in die Kapitel

- ▶ Öffentlicher Rundfunk (Ton- und Fernseh Rundfunk)
- ▶ Mobilfunk
- ▶ Inhouse Sprach- und Datenübertragung (DECT, Bluetooth, WLAN, dLAN)
- ▶ Radar.

In den folgenden Diagrammen sind mit einem Spektrumanalysator aufgenommene Spektren (horizontale Achse = Frequenzachse) und Zeitverläufe der Signal-Hüllkurve (horizontale Achse = Zeitachse, Betriebsart „Zero Span“) dargestellt. Im Zero Span ist der Spektrumanalysator fest auf die Mittenfrequenz des Funksignals abgestimmt und macht die zeitlichen Vorgänge auf dieser Frequenz ähnlich wie ein Oszilloskop sichtbar.

Die Analyseinstellungen wurden so vorgenommen, dass die charakteristischen Eigenschaften der Signale möglichst gut zu erkennen sind. Diese Einstellungen sind in vielen Fällen nicht identisch mit denjenigen Einstellungen, die man für eine korrekte Immissionsmessung der Feldstärke wählen würde.

Eine ausführliche Darstellung der hier aufgeführten Funkdienste wird vom Autor in [5] gegeben. Hier sind auch Spektrogramme der Signal-Hüllkurven enthalten, die anschaulich Auskunft über die Signalcharakteristiken geben. Die Signal-Hüllkurven kann man auch einer akustischen Analyse unterziehen, wobei die funkdienst-typischen Geräuschmuster von Amplitudenmodulationen hörbar werden. Eine DVD mit den entsprechenden Audiodateien ist unter [6] erschienen. Umfassende Hintergrundinformationen zu EMF (elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder) und ihrer Messung sind in [7] zu finden.

9.3 Messtechnik für Hochfrequenz

Zur Messung von hochfrequenten Signalen gibt es Hochfrequenz-Spektrumanalysatoren sowie Hochfrequenz-Breitbandmessgeräte. Sie unterscheiden sich einmal in den Anschaffungskosten, wo HF-Spektrumanalysatoren mit Antennen ab ca. 12.000 Euro und gute Breitbandmessgeräte etwa 2.000 Euro (Neugeräte, jeweils incl. MwSt.) erhältlich sind. Mit HF-Spektrumanalysatoren lassen sich nicht nur die unterschiedlichen HF-Signale eindeutig zuordnen und auch korrekt bewerten, sondern sowohl die Grundlasten als auch Volllasten von Funksystemen unabhängig von der Tageszeit und Auslastung ermitteln. Im Gegensatz dazu können mit HF-Breitbandmessgeräten nur die aktuelle Situation der Strahlungsdichten/Feldstärken orientierend ermittelt und Funkdienste in gewissen Grenzen bestimmt werden – schon wenige Minuten später können die Intensitäten viel höher oder niedriger sein. Die neuen, immer breitbandigeren Signale von z.B. DVB-T, UMTS, LTE und WLAN stellen im Gegensatz zu z.B. GSM große Anforderungen an die Messgeräte und Messtechniker.

Hochfrequenz-Breitbandmessgeräte haben den Vorteil, dass man schnell einen orientierenden Überblick über die aktuelle Immissionsituation erhält. Ihr Nachteil ist, dass es keine Frequenzfilter gibt, die alle unterschiedlichen Funkdienste sauber unterscheiden können. LTE wird in mehreren Frequenzbereichen eingesetzt; u.a. auch im ursprünglichen GSM1800-Frequenzband, gemischt mit GSM-Mobilfunk und bei 800 MHz im Bereich des früheren UHF-Fernsehens. Des Weiteren besteht die Gefahr der Unterbewertung von breitbandigen Signalen.

Die Einsatzmöglichkeiten und Beschränkungen der verschiedenen Messgeräte sind in den Tabellen 9-1 und 9-2 gegenübergestellt.

1. Fall: Das Empfangssignal ist in seiner Stärke konstant, wie es z.B. bei UKW, DVBT, DECT und WLAN sein kann. Achtung: WLAN-Geräte können gegebenenfalls leistungsabhängig geregelt sein.

Tab. 9-1: Einsatz- und Bewertungsmöglichkeiten von HF-Breitbandmessgeräten und HF-Spektrumanalysatoren bei annähernd konstanten Funksignalen		
	HF-Spektrumanalysator für frequenzselektive Messungen	Breitbandmessgerät mit funkdienstspezifischer Filterbank
Aussage über Strahlungsdichte ist	möglich	möglich, aber ggf. Unterbewertung
Messung ist geeignet, um Aussagen über die Abschirmwirkung von Gebäudeteilen zu tätigen	ja	bedingt
Messung ist geeignet, um zuverlässige Abschirmkonzepte zu erstellen	ja	nein

Das Empfangssignal ist in seiner Stärke **nicht** konstant, wie es z.B. bei GSM, UMTS, LTE und Radar der Fall ist. Achtung: DECT und WLAN Geräte können gegebenenfalls leistungsabhängig geregelt sein.

Tab. 9-2: Einsatz- und Bewertungsmöglichkeiten von HF-Breitbandmessgeräten und HF-Spektrumanalysatoren bei zeitlich schwankenden Intensitäten von Funksignalen		
	HF-Spektrumanalysator für frequenzselektive Messungen	Breitbandmessgerät mit funkdienstspezifischer Filterbank
Aussage über Strahlungsdichte ist	sehr gut möglich	nur orientierend möglich, da zeitliche Schwankungen. Keine Aussage, wenn LTE in gemischten Frequenzbändern arbeitet.
Messung ist geeignet, um Aussagen über die Abschirmwirkung von Gebäudeteilen zu tätigen	ja	nur bedingt
Messung ist geeignet, um zuverlässige Abschirmkonzepte zu erstellen	ja	nein
Ermittlung der Grundlast und Hochrechnung auf Volllast ist möglich	ja	nein

11 Erdung von Abschirmungen: Schleifenbildung und Vielfacherdungen vermeiden

Autoren: Dr.-Ing. Martin H. Virnich und Dipl.-Ing. (FH) Architektin Caren Virnich

11.1 Einleitung

Als Maßnahmen des Immissionsschutzes gegen

- ▶ niederfrequente elektrische Wechselfelder einerseits und
- ▶ hochfrequente elektromagnetische Wellen (HF) andererseits

werden Abschirmungen an Gebäuden oder Gebäudeteilen vorgenommen (s. [14], [15], [16], [17], [18], [19]).

Damit eine Abschirmung für die niederfrequenten elektrischen Wechselfelder überhaupt wirksam wird, muss sie auf Erdpotential gelegt werden. Die Wirksamkeit einer Hochfrequenz-Abschirmung ist dagegen auch ohne Anschluss der Abschirmflächen an das Erdpotential gegeben. (Erläuterungen hierzu siehe [20]).

Für HF-Abschirmzwecke eingesetzte Materialien sind durchweg elektrisch gut leitfähig bis hoch leitfähig, die abgeschirmten Flächen i.d.R. groß. Aufgrund dieser Eigenschaften kann es leicht zu Ankoppeleffekten niederfrequenter elektrischer Wechselfelder der Stromversorgung an die Abschirmflächen kommen. Wird z.B. eine 230 V-Netzleitung in der Nähe einer leitfähigen Fläche oder direkt über die Fläche geführt, so breitet sich das vorher lokal beschränkte elektrische Feld der Leitung über die gesamte Fläche aus.

Wird die Abschirmfläche jedoch geerdet, so wird die oben beschriebene Ausbreitung niederfrequenter elektrischer Wechselfelder über diese Flächen verhindert; gleichzeitig erreicht man eine Abschirmung der elektrischen Wechselfelder, die von den hinter der Abschirmung liegenden Leitungen (z.B. in der Wand) ausgehen.

Aus einem weiteren Aspekt ist die Erdung der leitfähigen Abschirmflächen dringend angezeigt, nämlich aus Gründen des Personen- und Sachschutzes. Denn wenn durch einen Defekt oder den berühmten Bildernagel in der Wand die Abschirmfläche auf 230 V-Netzpotential gelegt wird, so besteht Brandgefahr und Lebensgefahr bei Berührung. Tritt dieser Fall bei geerdeter Fläche auf, so ist zumindest die Lebensgefahr nicht mehr gegeben. Da es sich bei den Abschirmmaterialien aber häufig um dünne leitfähige Flächen handelt, die nicht in der Lage sind den Auslösestrom der Stromkreissicherung von i.d.R. 16 Ampere zu tragen, besteht dennoch das Risiko eines Brandes. Daher sollten alle elektrischen Leitungen, die in einer abzuschirmenden Wand verlaufen, aus Gründen des Personen- und Sachschutzes über einen Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD bzw. FI) mit 30 mA Auslösestrom geführt sein.

Die Erdungsanschlüsse an den Abschirmungen dürfen nicht nur punktuell, sondern müssen über eine größere Fläche kontaktiert werden. Auf eine massive und robuste, mechanisch belastbare, dauerhafte Ausführung ist großer Wert zu legen. Es sollte vorzugsweise das Original-Erdungszubehör des jeweiligen Herstellers verwendet werden. Bei der Erdung sind die einschlägigen VDE-Vorschriften zu beachten. Selbstredend dürfen die Erdungsmaßnahmen nur von einer zugelassenen Elektrofachkraft vorgenommen werden. Die fachgerechte Vorgehensweise und die zu beachtenden VDE-Vorschriften sind in Kapitel 10 „Erdung von Abschirmmaterialien“ dargestellt. Detaillierte Hinweise zur fachgerechten Messung nieder- und hochfrequenter Felder sind in [21] zu finden.

14 Darstellungsformen der Laborergebnisse

Die Messkurven in Kapitel 15 zeigen das Dämpfungsverhalten der untersuchten Materialien, gemessen unter Laborbedingungen. Diese Art der Untersuchung wurde gewählt, um unter gleich bleibenden Bedingungen Messungen an unterschiedlichen Objekten zu unterschiedlichen Zeiten durchführen und trotzdem deren Ergebnisse miteinander vergleichen zu können.

Im Alltag kommt es zu abweichenden Ergebnissen im Vergleich zu den Laborergebnissen, wenn Räume oder Gebäude nicht gleichmäßig aus einem Material aufgebaut sind oder unterschiedlich oder nicht homogen beschichtet werden. Öffnungen wie Fenster, Fensterrahmen, Türen und Übergänge von einem Baustoff/Abschirmmaterial zu einem anderen können ideale Schlupflöcher für die Hochfrequenz sein. Des Weiteren stört in der Praxis nicht immer nur eine Hochfrequenzquelle, deren Strahlung durch Abschirmmaterialien reduziert werden soll, wie z.B. bei einem DECT-Schnurlostelefon oder WLAN-Accesspoint. Häufig kommen dann noch Mobilfunkstrahlungen aus unterschiedlichen Richtungen sowie DECT- und WLAN-Einstrahlungen aus verschiedenen Nachbarwohnungen mit dazu.

Die Messergebnisse der über 130 Produkte werden in 15 Produktkapiteln auf jeweils 4 Seiten beschrieben und dargestellt.

In den Laboren wurde die Hochfrequenz-Transmissionsdämpfung ermittelt. Diese gibt an, um wie viel dB die Leistungsflussdichte durch ein Produkt gedämpft wird.

Auf der jeweils **ersten** Seite erfolgt eine kurze Beschreibung der Ergebnisse und ggf. Hinweise zum Einsatz bzw. zu den Eigenschaften der Produkte.

Auf der **zweiten** Seite werden in Säulendiagrammen exemplarisch 3 ausgewählte Frequenzen dargestellt, damit ein schneller Überblick über die Produkte einer Produktgruppe möglich wird (Frequenzangaben tlw. gerundet; bei Mobilfunk nur Downlink):

- ▶ 900 MHz GSM R (920 – 925 MHz) und GSM 900 Mobilfunk (925 – 960 MHz)
- ▶ 1.900 MHz GSM 1800 und LTE 1800 Mobilfunk (1.800 – 1.880 MHz), DECT-Schnurlostelefone (1.880 – 1.900 MHz), UMTS (2.110 – 2.170 MHz)
- ▶ 2.500 MHz WLAN (2.400 – 2.483 MHz) und LTE (2.500 – 2.690 MHz)

In den Grafiken der **dritten und vierten** Seite werden die Ergebnisse für die beiden Frequenzbereiche von 300 bis 2.000 MHz und von 1 bis 10 GHz mit Liniendiagrammen vorgestellt. Der Grad der Reduzierung wird mit drei Werten an der y-Achse (auf der linken Seite) angegeben:

- ▶ Dämpfung in dB
- ▶ Dämpfungsfaktor → Reduzierung der Strahlungsdichte um welchen Faktor
- ▶ Schirmwirkungsgrad → Reduzierung der Strahlungsdichte in %

15.9 Wandbeschichtungen innen

Die Beschichtung von Innenwänden kann mit dünnen und trockenen Materialien wie Geweben, Tapeten oder Vliesen erfolgen. Alternativ dazu können Materialien aufgebracht werden, die unter Zusatz von Wasser verarbeitungsfähig werden und während des Trocknungsvorganges das Wasser an ihre Umgebung wieder abgeben (Abschirmputze).

Das metallisierte Polyestergewebe HNG80, die beiden zinkbeschichteten Tapeten YCP80-110 bzw. YCF 80-110 und das mit Kupfer und Korrosionsschutzschicht beschichtete ROWOSHIELD ROS-M4 weisen allesamt eine Dämpfung über 60 dB und teilweise bis zu 80 dB auf (Kurven Nr. 1 bis 4, oberhalb der 60 dB-Linie).

Die einseitig papierkaschierte Aluminiumfolie Isofol (Kurve Nr. 5) zeigt trotz ihrer extrem geringen Schichtdicke von 0,008 mm Dämpfungswerte von über 50 dB, was einem Reduzierungsfaktor von 100.000 bzw. einem Dämpfungsgrad von 99,999 % entspricht.

Im Frequenzbereich von 500 MHz bis 9 GHz weist das kupferbeschichtete Faservlies Saphir Spezial (Kurve Nr. 5) Dämpfungen von über 50 dB auf.

Der LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz von Casa Natura wurde in drei verschiedenen Schichtstärken vermessen: 4 mm bzw. 7,5 mm und 14 mm (Kurven 11, 8 und 7)

Bei 4 mm Schichtstärke (Kurve Nr. 11) liegen die Dämpfungen im Frequenzbereich von 300 MHz bis 2.000 MHz bei 17 bis 18 dB. Eine Verdoppelung der Schichtstärke (Kurve Nr. 8) führt zu Dämpfungen von durchgängig 26 dB, was in etwa einer 6-fach so hohen Abschirmwirkung entspricht. Eine weitere Verdoppelung der Schichtstärke auf 14 mm (Kurve Nr. 7) liefert Dämpfungen von 38 bis 41 dB. Die Abschirmwirkung wird dadurch nochmals um den Faktor 12 bis 16 gesteigert. Das Produkt wird zweilagig verarbeitet: Nach dem Auftragen einer Grundsicht und deren An- bzw. Austrocknung wird im zweiten Arbeitsgang das Material bis zur gewünschten Stärke aufgetragen.

Der MENO Lehmschirmputz (Kurve Nr. 9) wird zweilagig aufgezogen: Zunächst zum Beispiel vertikal und nach Abtrocknung und Verfestigung die zweite Lage horizontal. Die gesamte Schichtstärke beträgt dabei nur etwa 1,5 mm. Die Abschirmwirkung beträgt bis 2 GHz durchgängig 25 dB, was einer Reduzierung der Strahlungsdichte um 99,7 % bzw. um den Faktor 316 entspricht.

Leitfähige Faserzusätze in einem Kalk-Zement-Maschinenputz (Kurve Nr. 10) der Profi-Baustoffe ermöglichen Dämpfungswerte zwischen 16 und 18 dB im Frequenzbereich bis 2.000 MHz.

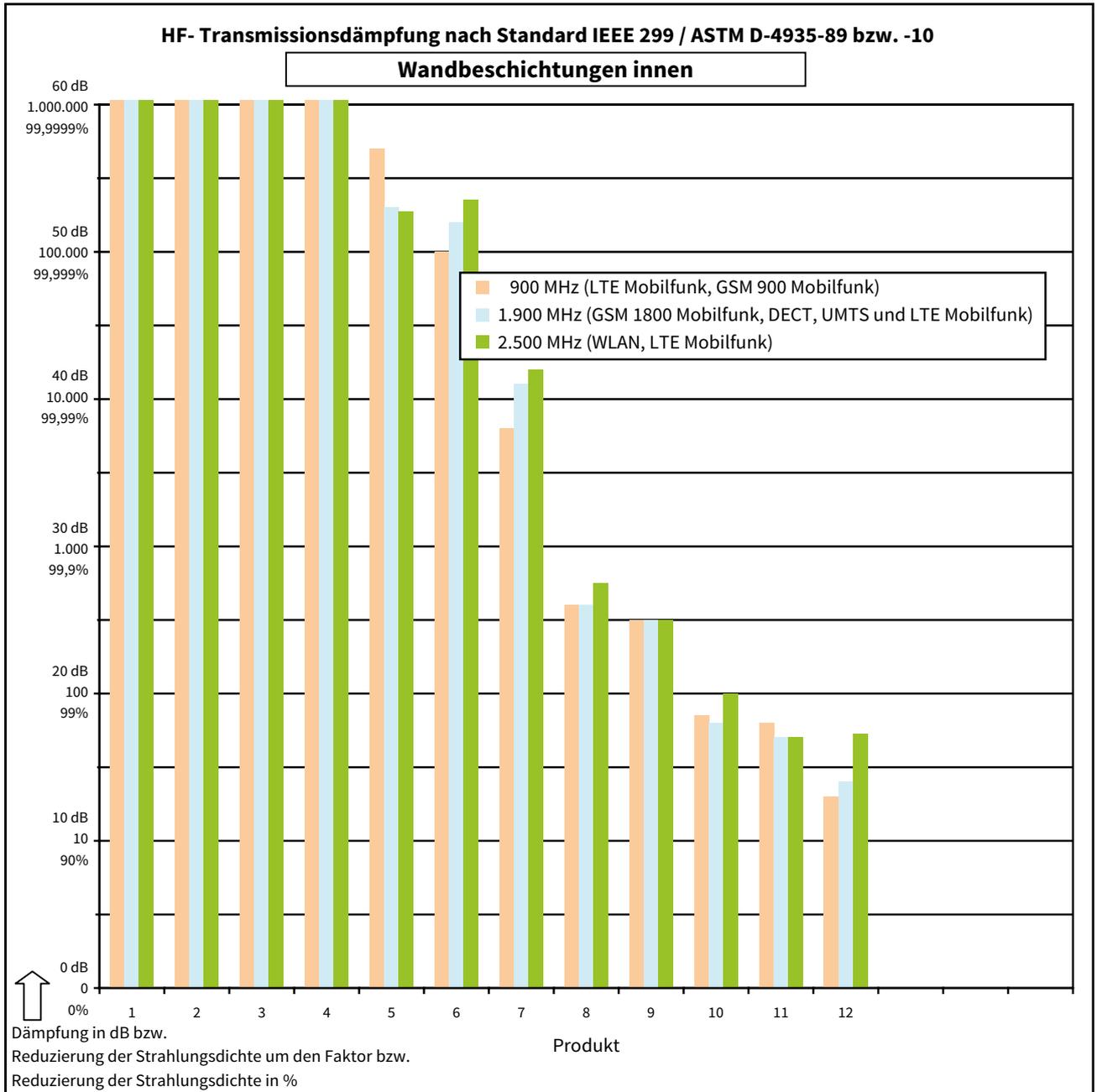
Die gleichen Zusätze führen bei einem Gips-Kalk-Maschinenputz (Kurve Nr. 12) zu Dämpfungen um ca. 13 dB, was einer Reduzierung der Strahlungsdichten um den Faktor 20 bzw. um 95 % entspricht.

Mit zunehmenden Frequenzen von 2 auf 10 GHz nehmen bei den meisten der aufgeführten Produkte auch die Dämpfungswerte deutlich zu. Produkte, die bis 2 GHz bereits über 50 dB lagen, bleiben auch weiterhin über 50 dB. Der LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz mit 4 mm bleibt im Frequenzbereich von 1 bis 7 GHz konstant bei 17 dB und nimmt danach erst in seiner Abschirmwirkung zu.

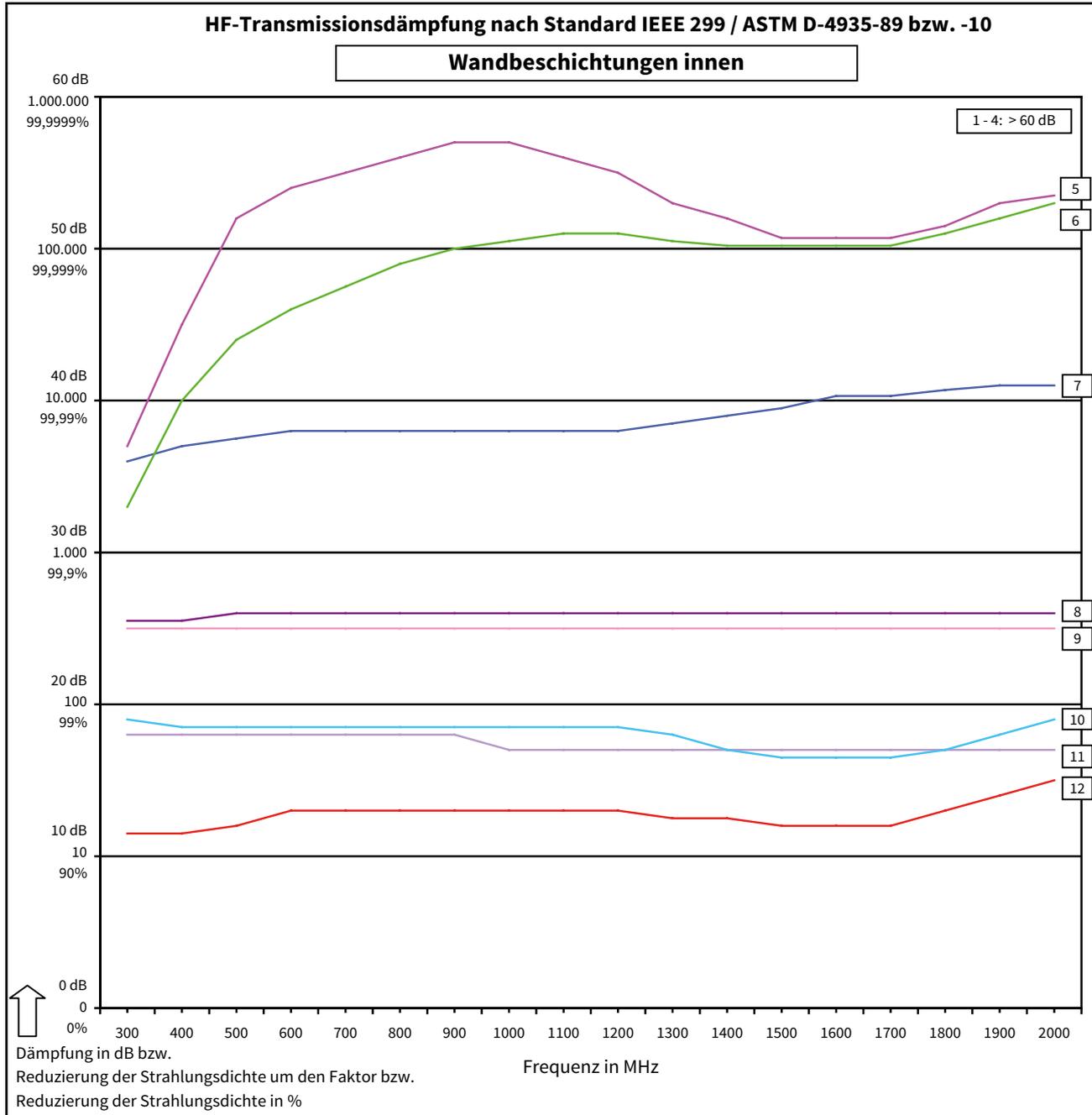
Anmerkungen zu den Messungen:

Messungen in einem TEM-Messadapter in Neubiberg: Produkte Nr. 4

Messungen in einem TEM-Messadapter in einem externen Labor: Produkte Nr. 1 bis 3



Nr.	Bezeichnung	Typ und Anmerkungen
1	HNG80	metallisiertes Polyestergewebe [YSHIELD]
2	YCP 80-110	Abschirmtapete Papier [YSHIELD]
3	YCF 80-110	Abschirmtapete Vlies [YSHIELD]
4	ROWOSHIELD ROS-M4	Polyester Spunbon Vlies [ROWO]
5	Saphir Spezial	kupferbeschichtetes Faservlies + Papierrücken [Biologa]
6	Isofol Tapetenisierfolie	0,008 mm Alu-Folie einseitig papierkaschiert [KORFF]
7	LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz 14 mm [Casa Natura]	
8	LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz 7,5 mm [Casa Natura]	
9	MENO Lehmabschirmputz 1,5 mm [Lesando]	
10	Profi Faradayus MP4, Kalk-Zement-Maschinenputz für innen, 10 mm [PROFI]	
11	LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz 4 mm [Casa Natura]	
12	Profi Faradayus MK1, Gips-Kalk-Maschinenputz 10 mm [Profi]	



Nr.	Bezeichnung	Typ, Anmerkungen und Hersteller
1	HNG80	metallisiertes Polyestergewebe [YSHIELD]
2	YCP 80-110	Abschirmtapete Papier [YSHIELD]
3	YCF 80-110	Abschirmtapete Vlies [YSHIELD]
4	ROWOSHIELD ROS-M4	Polyester Spunbon Vlies [ROWO]
5	Saphir Spezial	kupferbeschichtetes Faservlies + Papierrücken [Biologa]
6	Isofol Tapetenisolerfolie	0,008 mm Alu-Folie einseitig papierkaschiert [KORFF]
7	LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz 14 mm [Casa Natura]	
8	LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz 7,5 mm [Casa Natura]	
9	MENO Lehmabschirmputz 1,5 mm [Lesando]	
10	Profi Faradayus MP4, Kalk-Zement-Maschinenputz für innen, 15 mm [PROFI]	
11	LOMBARDIA Lehm-Wärmeleitputz und EMF-Abschirmputz 4 mm [Casa Natura]	
12	Profi Faradayus MK1, Gips-Kalk-Maschinenputz 15 mm [Profi]	

16 Übersicht zu Produkten, Einsatzbereichen und Anbietern

Die folgende Tabelle ermöglicht einen Überblick über die Produkte in alphabetischer Reihenfolge mit

- ▶ Hinweis zum Hersteller/Händler bzw. gegebenenfalls Verband,
- ▶ Hinweis, in welchem Kapitel das Produkt mit seinen Dämpfungskurven vorgestellt wurde und
- ▶ Angaben dazu, in welchen weiteren Bereichen das Produkt ebenfalls eingesetzt werden kann.

Diese Vorgehensweise ermöglicht es, dass ein Produkt in der Regel nur einmal mit seiner Dämpfungskurve dargestellt werden muss und nicht andere Grafiken dadurch überlastet werden. Die Angaben zu den Einsatzbereichen wurden teilweise den technischen Datenblättern entnommen bzw. aufgrund von anderen Informationen erstellt. Sie erheben weder einen Anspruch auf Vollständigkeit noch wird hierfür eine Garantie übernommen.

Produktbezeichnung	Hersteller / Händler / Kontakt	Messkurven in Kapitel	Einsatzbereiche															
			15.1 Massive Baustoffe	15.2 Lehm- und Holzbaustoffe	15.3 Holzkonstruktionen	15.4 Fenster	15.5 Fenster- und Türelemente	15.6 Fenster und Zubehör	15.7 Spaltbreiten	15.8 Innenwände / Trockenbau	15.9 Wandbeschichtungen innen	15.10 Farben	15.11 Gewebe und Gitter	15.12 Böden, Terrassen, Flachdächer	15.13 Fassade und Dämmstoffe	15.14 Dach	15.15 Textilien	
Adamantan 003	Biologa GmbH	15.11					1					1		1	1	1	1	
Adamantan 10	Biologa GmbH	15.11					1					1		1	1	1	1	
AegisGuard LP Radiation Shields	Aegis Corporation	15.10										1						
Alu-Jalousie; Lamellen waagrecht	Baumarkt / Baustoff	15.6						1										
Aluminum-Abschirmfolie	KORFF AG	15.14															1	
Alu-Rollladen CD 90 (33 x 8 mm)	Baumarkt / Baustoff	15.6						1										
Alu-Villatherm K	Icopal GmbH	15.12												1				
Anti-EMR-paint	Ecos	15.10								1	1							
Armierungsgewebe G-ES	Biologa GmbH	15.11								1		1	1	1	1	1		
AX PLUS 20 h.c.	Bruxsafol Folien GmbH	15.6						1										
Bauder PIR B	Paul Bauder GmbH	15.12												1				
Bauder PIR DAL	Paul Bauder GmbH	15.12												1		1		
Bauder PIR FA	Paul Bauder GmbH	15.12												1				
Bauder PIR SF	Paul Bauder GmbH	15.14															1	
BioElectric Standard	Glas Trösch Beratung	15.4					1											
BioElectric Super	Glas Trösch Beratung	15.4					1											
Buche	TWOODS GmbH	15.3	1		1					1								
Cellulose	Baustofffachhandel	15.13															1	
Climafit Protekto	Saint-Gobain Rigips	15.8								1								
Cuprotect A1	Cuprotect	15.11									1		1	1	1	1	1	
Cuprotect Spezial	Cuprotect	15.13									1		1	1	1	1	1	
Dali	Biologa GmbH	15.15									1			1				1
Delta-Reflex	Dörken GmbH & Co.	15.14															1	
Diamant Plus	Biologa GmbH	15.11									1		1	1	1	1	1	
Divoroll Klima + 2S	Braas GmbH	15.14															1	
Drahtglas 6 mm	Bundesverband Glas	15.4					1											
Edelstahlgewebe	DCS Draht Center System	15.11									1		1	1			1	
Eiche	Ing. Erwin Thoma Holz	15.3	1		1					1								
ElectroShield	CAPAROL Farben Lacke	15.10									1	1		1				
ElectroStop HF	DURALEX peintures	15.10									1	1						
Elektrosmog-Schutzgitter	Neher Systeme GmbH	15.6														1		
Energiesparen-Rollo	Baumarkt / Gardinier	15.6														1		
Fensterfolie RDF72	YSHIELD GmbH & Co.	15.6														1		