

# PORTFOLIO

## **Mikrowellenabsorber**

Reduzierung des Radarquerschnitts  
Abdeckung reflektierender Teile bei  
Freiraummessstrecken  
Wellensümpfe  
Abschlußwiderstände

## **Elektronisch geschirmte Räume und Kabinen**

EMV-Messungen  
Störstrahlungsmessungen, Korona-Entladungen  
Daten- und Abhörsicherung

## **Absorberräume und Mikrowellenmeßräume (Anechoische Kammern)**

Antennenmessungen  
EMV-Messungen an Geräten und Flugzeugen  
Radarquerschnittsmessungen  
Messungen kompletter Systeme z.B.  
Satelliten, Flugkörpern, Computer, Raketen usw.

Die Firma ECO-Messtechnik ist ein Ingenieurbüro für Mikrowellentechnik. Seit 1980 arbeiten wir in Emden.

Das Vertriebsprogramm umfaßt Komponenten der Mikrowellentechnik. Eine Spezialität jedoch ist die Berechnung und der Bau von echototen abgeschirmten Meßhallen sowie die Fertigung der dazu benötigten Breitbandabsorber.

Die mit modernsten mikroprozessorgesteuerten Geräten ausgestattete Fertigung ist in der Lage, alle gewünschten Stärken von Pyramidenabsorbern in Grundflächen bis zu 100 x 100 cm herzustellen.

Das Standardprogramm umfasst jedoch Breitband-Pyramidenabsorber mit 50 x 50 cm Grundfläche und Stärken von 10 cm, 30 cm und 50 cm. Diese sind meistens ab Lager lieferbar.

Zur Qualitätskontrolle dient eine hochmoderne Breitbandabsorber-Meßanlage, die in der Lage ist, über den weiten Frequenzbereich von 500 MHz -18 GHz eine Kurve über den Dämpfungsverlauf des vermessenen Absorbers zu liefern.

### **Was sind Mikrowellenabsorber und wozu werden sie benötigt?**

Wie aus der Akustik jedem bekannt ist, können nur in einem schalltoten Raum hochwertige Lautsprecher, Mikrofone oder sonstige Schallquellen vermessen werden. Diese akustische Abschirmung und Absorption hat erstens den Zweck, äußere (zusätzliche) Schalleinflüsse vom Meßobjekt fernzuhalten.

Zweitens müssen annähernd Freifeldbedingungen geschaffen werden, da sonst Meßergebnisse durch Schallreflexionen an den Wänden verfälscht würden. Um auch in der Hochfrequenztechnik empfindliche Geräte und Anlagen vermessen zu können, benötigt man auch hier einen von elektromagnetischen Umwelteinflüssen nicht beeinflussten Raum.

Theoretisch ist es denkbar, die komplette Meßapparatur in einer unbesiedelten Gegend,

weitab von irgendwelchen Rundfunk-, Fernseh- oder sonstigen Sendeanlagen im Freien zu installieren.

Da dieses Verfahren sehr viele Nachteile hat, versucht man, diese idealen Freifeldbedingungen in einem wettergeschützten Raum nachzubilden.

Hochfrequente Strahlung ist eine elektromagnetische Welle und folgt bei der Ausbreitung ganz bestimmten Gesetzmäßigkeiten. Diese hat man untersucht und daraufhin eine Möglichkeit geschaffen, die unerwünschten Reflexionen, die zwangsweise auftreten, zu minimieren.

Bei jeder Dichteänderung eines Mediums, in dem sich die elektromagnetische Welle ausbreitet, findet eine Reflexion statt. Durch besondere Formgebung und geeignete Wahl des Grundmaterials des Absorbers wird die Anpassung an den freien Raum verbessert und eine Totalreflexion vermieden.

Benötigt werden Mikrowellenabsorber zu vielerlei Meßzwecken. Ein Anwendungsgebiet sind Antennenvermessungen von Diagrammen und Impedanz. Besonders in letzter Zeit immer häufiger vorkommende Messungen betreffen die sogenannte Elektro-Magnetische Verträglichkeit, kurz EMV.

Durch die ständig größer werdende Anzahl von elektronischen Geräten kommt es bei der hochempfindlichen Mikroprozessortechnik immer wieder zu Störungen durch unerwünschte HF-Strahlung.

Im zivilen Bereich sind es z.B. Videorecorder, die durch starke HF-Felder, z.B. Funkamateure in der Nachbarschaft, gestört werden. Diese Probleme sind aber zum größten Teil durch die Konstruktion der gestörten Geräte bedingt und sollten durch

genaues Vermessen des betreffenden Gerätes in einem abgeschirmten echototen Raum abgestellt werden.

Computer, sowohl Großrechenanlagen als auch Heimcomputer, senden elektromagnetische Wellen aus, die in ungünstigen Fällen auch den Rundfunk- oder Fernsehempfang beeinträchtigen. Auch diese Störstrahlung kann nur in einem abgeschirmten Raum ermittelt werden, um Maßnahmen zur Reduzierung zu treffen. Durch den vermehrten Einsatz von elektronischen Systemen im Auto kommt es auch hier zu Beeinflussungen sowohl von außen als auch der Systeme untereinander. Auch hier wird eine abgeschirmte echotote Kammer benötigt, in der z.B. ein komplettes Fahrzeug einerseits selbst auf Störstrahlung untersucht wird, andererseits auch das Fahrzeug mit starken künstlichen Feldern beaufschlagt wird, um etwaige Beeinflussungen festzustellen und zu beseitigen.

Dies erfordert naturgemäß sehr große abgeschirmte echotote Hallen.

Auch in der Militärtechnik werden solche Untersuchungen an Kleingeräten sowie an kompletten Fahrzeugen oder sogar an Flugzeugen vorgenommen. Diese Messungen werden zum Teil tatsächlich noch im Freien durchgeführt (Antennendiagramme von Flugantennen im montierten Zustand). Dies bedingt natürlich gutes Wetter und hier überlegt man sich den Bau so großer Kammern, daß Flugzeuge darin vermessen werden können.

Auch die Entwicklung von Tarnmaßnahmen im Gebiet der Radartarnung kommt ohne geschirmte echotote Räume nicht mehr aus und nutzt die Möglichkeit der mit Absorbern ausgekleideten Kammern.

Aber auch die Universitäten und Fachhochschulen in ihren Antennenlaboratorien brauchen zum Belegen der Wände breitbandige Mikrowellenabsorber. Die Firma ECO-Messtechnik konzipiert und liefert nach Kundenwunsch jede abgeschirmte und echotote Kammer, soweit technisch machbar.

Auch ältere Hallen können durch leistungsfähigere neue Absorber in der Reflexionsdämpfung verbessert werden. Außerdem bieten wir eine genaue Kammerversmessung sowohl vorhandener als auch fertiggestellter Hallen an. Die Vermessung bezieht sich auf die Schirmdämpfung und auch auf die Reflexionsdämpfung. ECO-Messtechnik arbeitet mit den zur Zeit modernsten Meßgeräten und weist Schirmdämpfungen von ca. 100 dB nach. Die Meßergebnisse werden graphisch dargestellt.

Die folgenden Ausführungen geben einen kleinen Überblick über die Absorbertechnik und enthalten Original-Datenblätter unserer Breitband-Pyramidenabsorber. Im Anhang sind die z.Zt. angewendeten Meßverfahren für Kammer-VSWR-Messungen und die Feldsondermethode beschrieben. Außerdem ist eine Anlagenbeschreibung der Breitbandabsorber-Meßanlage sowie das Prüfprotokoll der CSTB und eine Referenzliste einiger von ECO-Messtechnik konstruierten und gebauten Meßkammern vorhanden.

## **Einführung**

Hiermit stellen wir unsere verschiedenen Typen von Mikrowellen-Dämpfungsmaterial vor, sowohl die Schmalband- als auch die Breitbandtypen. In einer einfachen Einleitung, ohne wissenschaftliche Ausführung, stellen wir diese unterschiedlichen Materialien vor. Unter Angabe von ihren Kennzeichen und Eigenschaften - ebenso ihrer Natur, ihrer Gebrauchsweise und ihren Anwendungen sowie den Gründen für ihre Auswahl. Dieser kurze Text soll dem interessierten Benutzer ermöglichen, sich mit den Möglichkeiten vertraut zu machen, die benötigten Elemente

zusammenzubringen und sich an uns zu wenden, falls ein Vorschlag gewünscht wird. Unsere Erfahrung bei der Herstellung von Absorbermaterialien sowie des Entwurfes der Ausführungen von mikrowellen-echototen Kammern wird Ihnen gerne zur Verfügung gestellt - in der Form von Vorentwürfen, mit übereinstimmenden Angeboten oder von unseren Ingenieuren bei Ihren eigenen Entwicklungsarbeiten. Wir sind auch gerne bereit, in Angelegenheiten zu beraten, die nicht oder nur zum Teil in dieser Übersicht behandelt werden.

Hierzu gehören spezielle Materialien, wie hochverlustreiche dielektrische Materialien für Wellenleitung, Abschwächung und hochtemperaturbeständige Kompositmaterialien, Harze und Kleber, welche wir auch anbieten. Ebenso beraten wir bei Materialien, die für die Radio-Frequenz-Abschirmung von anechoischen und sonstigen Anlagen für staubfreie „clean-room“-Bedingungen sowie für die mehr gewöhnlichen technischen Ausrüstungsanlagen solcher Gebäude verwendet werden.

### **Grundprinzipien der Mikrowellenabsorption**

Mikrowellen, vom Mikrowellenbereich bis zu Wellen von mehreren Metern Wellenlänge werden wegen ihrer physikalischen Eigenschaft, reflektiert zu werden, oft eingesetzt. Radar ist ein sehr bekanntes Beispiel für derartige Anwendungen. Manchmal ist es jedoch notwendig, gegen solche Mikrowellenstrahlung zu schützen oder diese selber abzuschirmen.

Hierfür muß man sich nach effizienten Mikrowellen-Absorptions-Materialien umsehen.

Da aber fast jedes Material mehr oder weniger Mikrowellen reflektiert, gibt es nur wenige Materialien, die sich als gute Absorber ausweisen. Deswegen ist es auch nicht einfach, Materialien zu konzipieren und herzustellen, die geeignet sind, Mikrowellen zu absorbieren. Das Problem ist aufgrund der Tatsache deshalb um so komplizierter, da im Gegensatz zu den mehr allgemein bekannten Strahlungen, (z.B. optischen Licht, X-Strahlung, radioaktive Strahlung u.s.w.) sich Mikrowellen in praktischer Anwendung viel mehr wie Wellen verhalten als Lichtstrahlen, so daß neben der Reflexion auch andere Eigenschaften wie Diffusion, Deflektion zu berücksichtigen sind.

Diese machen es leider schwer, Absorption und Reflexion von Materialien sowie von Oberflächen vorherzusagen. Mikrowelleneffekte auszurechnen, unter Einfluß von Mikrowellen-Testanlagen und echototen Kammern, erfordert dann auch sehr spezielle Kenntnisse und Erfahrung. Ein sehr wichtiges Kennzeichen von Mikrowellenstrahlung neben ihrer Intensität (oder Stärke) ist ihre Wellenlänge oder umgekehrt, proportional dazu ihre Frequenz. Natürlich werden deswegen Bedingungen für Mikrowellen-Absorptions-Materialien sehr verschieden sein, je nach den betrachteten Wellenlängen oder Frequenzbereichen.

### **Mikrowellenabsorber**

Die Entwicklung der Mikrowellenanwendung war verantwortlich, daß spezielle Materialien entworfen worden sind; geeignet, hochwertige Strahlungsabsorption zu leisten. Diese werden Mikrowellenabsorber genannt.

Zusätzlich zu ihrer Anwendung, um energetische Mikrowellenstrahlung abzuschirmen und auf diese Weise den Menschen gegen eventuell schädliche Folgen zu schützen, sind diese Mikrowellenabsorber sehr allgemein eingesetzt worden, um Objekte und Ausrüstung vor Mikrowellenstrahlung abzuschirmen oder auch, um Mikrowellenquellen selber vor Entdeckung zu bewahren.

Fertigung:

Da die Mikrowellenabsorber aus einem Schaumstoffblock geschnitten werden, kann es zu leichten Toleranzen in den Pyramidenhöhen, wie auch in den Abmessungen der Grundmaße und eine leichte Veränderung der Pyramidenspitzen (die Spitze kann breiter sein) kommen.

Diese Toleranzen können im Grundmaß bis zu 5% und in der Pyramidenhöhe bis zu 5% betragen.

Toleranzen treten fertigungsbedingt auf und können nicht vermieden werden.

**Diese unterschiedlichen Maße haben keinen Einfluss in der Dämpfungseigenschaft der Absorber;** auch sieht man bei den Absorbieren unterschiedliche Porengrößen und einen leicht farblichen Unterschied bei den schwarzen Absorbieren; auch dieses ist fertigungsbedingt.

Bei farblichen Absorbieren ist der Unterschied nur sehr gering.

Anwendung:

Eine der häufigsten Anwendungen jedoch ist ihr Einsatz in mikrowellen-anechoischen Kammern (mikrowellen-echo-tote Räume), z. B. für den Gebrauch als Antennentestanlagen und als Radar-Rückstrahlungs-Testanlagen, für die Auswertung von Radarzielen, von kleinen Würfelkammern und -boxen, bis zu extrem großen Kammern.

In solchen Räumen werden Mikrowellenabsorber geeignet an den Wänden angebracht, an der Decke und gelegentlich auch auf dem Boden, so daß man eine „stille“ oder „tote“ Zone erhält, in der die reflektierte Strahlung minimal gehalten wird und sogenannte „Frei-Raum“-Bedingungen für elektromagnetische Strahlung simuliert werden können. Das sehr breite Spektrum von Anwendungen bei Mikrowellenabsorbieren selber und von mikrowellen-echo-toten Kammern überschreitet den Rahmen unserer jetzigen Beschreibung.

Hierbei beschränken wir uns auf die Annäherung des projektischen Gesichtspunktes des Ingenieurs, der Rat sucht, in Fragen um Abschirmmaterial oder um echo-tote Räume. Unsere Mitarbeiter sind jedoch auch bereit, im Bereich von Mikrowellenabsorption im Allgemeinen sowie auch in den Aspekten von Abschirmung von anderen Strahlungstypen jeglicher Art zu beraten. In dieser Anleitung aber handelt es sich besonders um die Eigenschaften von verschiedenen Typen von Mikrowellenabsorptionsmaterialien und deren Anwendung in anechoischen Anlagen. Unsere Behandlung von theoretischen Aspekten wird deswegen beschränkt auf eine einfache Einführung, geeignet, um ihren rationellen Einsatz zu erfassen.

### **Schmal- und Breitbandabsorption**

Hochfrequente Strahlung (cm- und mm-Wellen) wird im Allgemeinen leichter absorbiert von kleinen absorbierenden Formen, als mehr niedrigfrequente.

Allgemein kann man annähernde Richtwerte der Reflexionsdämpfung von geeigneten

Qualitätsabsorbieren angeben: eine Reflexionsdämpfung von ca. 30 dB, wenn die Absorberbauhöhe so groß ist wie die Wellenlänge; ca. 20 dB - bei nur zwei Drittel der Wellenlänge und ca. 40 dB - bei dem Doppelten der Wellenlänge.

Für die größeren Wellenlängen (ab 80 cm) sind diese Annäherungswerte wegen der Abbiegung dieser großen Wellen, bei unzureichender Bauhöhe der Absorberformen, nicht mehr völlig zutreffend.

Grundsätzlich werden zwei Methoden bei der Herstellung von speziellem Material für Mikrowellenabsorption befolgt:

### **Schmalbandabsorber**

Diese Materialien bestehen aus einer Schicht mit parallelen Oberflächen.

Sie sind so aufgefaßt, dass die Welle, die von der oberen Oberfläche reflektiert, ungefähr aufgehoben wird durch den Teil der Welle, welcher durch das Material hindurchging

und von der unteren Oberfläche reflektiert worden ist.

Dazu muß diese letzte Welle aus der Phase liegen, gegenüber der direkt reflektierten um ungefähr eine halbe Wellenlänge. Die Dicke der Materialschicht wird vom Wert der Wellenlänge selber, wie auch vom Einfallwinkel abhängig sein. Demzufolge muß das Material ungefähr soviel der einfallenden Strahlung reflektieren, wie in derselben Richtung hinaustritt, nach Durchgang hin und her durch das Material.

Dazu kommt noch, dass die Schichtdicke bestimmt sein wird für die Wellenlänge und so auch für den Frequenzbereich. Dieser wird überhaupt einen ziemlich engen Bereich darstellen.

Da die Abschwächung der Energie hauptsächlich erreicht wird durch die Interferenz von

direkt- und indirekt reflektierter Strahlung, werden dieser Absorber auch Interferenz-Absorber genannt.

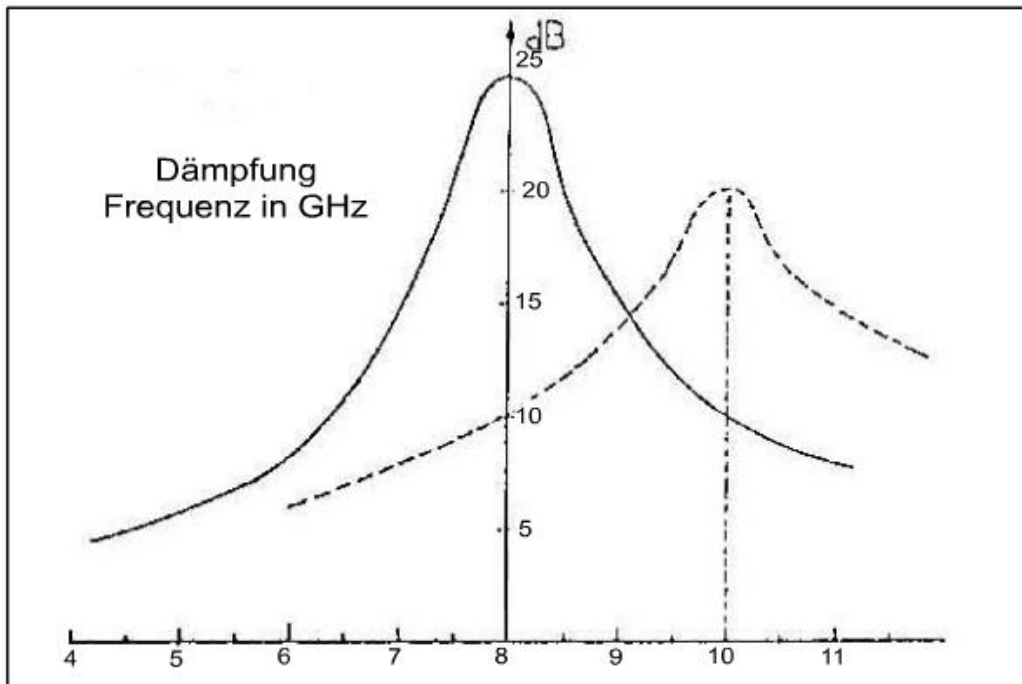
Schmalbandabsorber werden am meisten eingesetzt, um Teile ringsumher von Antennen, um Ziele oder sonstige Ausrüstungen abzuschirmen, die einer spezifischen Wellenlänge ausgesetzt sind, welche die Absorberdicke festlegen.

Allgemein wird die Abschwächung der einfallenden Strahlung Reflexionsdämpfung (Attenuation) genannt; bei Schmalbandabsorbern ziemlich schnell abfallend, wenn die Frequenz nach oben oder unten abweicht von der Hauptfrequenz, für die das Material bemessen war.

Im allgemeinen nimmt die Dämpfung der einfallenden Welle bei einem Schmalbandabsorber sehr schnell ab, wenn die Frequenz von der Haupt-Frequenz nach oben oder unten abweicht.

Diese Dämpfung wird üblicherweise in dB angegeben.

Der Dämpfungsverlauf beschreibt in Abhängigkeit von der Frequenz annähernd eine Glockenkurve.



Das Diagramm zeigt zwei typische Dämpfungsverläufe für Schmalbandabsorber:

- für Typen unterhalb 10 GHz (z.B. Q,ump~St 8, für 8 GHz)

- für Typen oberhalb 10 GHz (z.B. Ccomp St 10, für 10 GHz)

Dämpfungswerte über 25 dB sind außergewöhnlich, dies liegt in der Natur der Materialzusammensetzung.

Bei höheren Frequenzen, ab ungefähr 10 GHz, nimmt das Dämpfungsmaximum auf ca. 20 dB ab.

Das liegt daran, weil es immer schwieriger wird, genügend gleichmäßige Oberflächen herzustellen.

Es hat viele Bemühungen gegeben, Vielschichtabsorber nach dem Interferenzprinzip zu produzieren, aber keiner kann bis jetzt als Standardprodukt betrachtet werden.

Jedoch geht die Entwicklung auch bei ECO weiter, so dass wir in vielen Fällen Ihr Ansprechpartner sein können, wenn Sie Rat benötigen.

## Breitband-Absorber

Bei diesen Absorbertypen, besonders für dm- und cm-Wellen geeignet, wird ein erheblicher Energieverlust oder eine erhebliche Dämpfung erreicht — durch Einbauen einer elektrischen verlustregenden Substanz — wie Kohlenstoff in einer Matrix, nach speziellem Verfahren. Meistens ist diese Matrix ein weiches Schaummaterial — wie Polyurethanschaum, in geeigneter Form hergestellt — je nach Wellenlänge der Mikrowellen. In anderen Fällen beruht die Dämpfung auf magnetischem Verlust; erreicht durch Einsatz von Ferritmaterialien in einer härteren Matrix.

Diese sind jedoch erheblich teurer und weniger allgemein verwendbar.

Breitbandmaterialien sind außerordentlich gut geeignet für Abschirmungszwecke oder Dämpfung in Mikrowellenlaboratorien und für Antennen- und Zielvermessungsanlagen jeder Größe.

Dabei erlaubt die exzellente Dämpfung das Vermessen unter Frei-Raum-Bedingungen, deutlich ohne Abhängigkeiten von Wetter oder Klima.

© 2009 ECO-Messtechnik GmbH, Kloster-Langen-Str. 22, 26723 Emden

Einige Anwendungen:

Aufnahme von Antennen-Richtungsdiagrammen, Bestimmen von Radarquerschnitten, Vermessung von Antennenimpedanzem, Kontrolle von Radarrüstung für Luft- und Raumfahrt, Interferenz (EMI) und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von Sender und Empfänger sowie von diversen Objekten wie Fahrzeuge, Waffen, Satelliten, Fernmeldeapparaturen usw. Wachsende elektromagnetische

Verschmutzung unserer Umwelt öffnet einen breiten Anwendungsbereich für Mikrowellenabsorber, um abzuschirmen gegen nachteilige und unerwünschte Folgen von zufälligen oder gewollten Interferenzen auf Computer, Herzschrittmacher, Elektronik in PKW und LKW usw., welche als Unfallursache betrachtet oder vermutet wird. In den meisten dieser Fälle ist es notwendig, einen Wellenlängenbereich so breit wie möglich abzuschirmen, um maximale Sicherheit zu erreichen; auch dazu sind Breitbandabsorber eine

zutreffende Lösung. Echotote Kammern werden speziell zur Bestimmung der Elektromagnetischen Verträglichkeit zwischen EMV-Komponenten und für Untersuchungen der Elektromagnetischen Interferenz (EMI) entworfen.

Diese können auch für Studien bzgl. elektromagnetischer Pulse (EMP) wichtig sein. Von besonders wichtiger Betrachtung in diesem Bereich ist u. a. die mögliche Gefahr von sogenannter nuklear-elektromagnetischer Pulsation, die in mehreren Kilometern Höhe stattfindet.



## **Flachabsorber**

Unter den verschiedenen Typen ebener Absorber, welche über die Jahre vorgeschlagen und verwendet worden sind, haben wir in unserem Programm (außerhalb der bereits besprochenen Interferenzabsorber) nur die speziellen Niedrigfrequenzmaterialien auf Ferritbasis und Typen von Bodenabsorbern (siehe später).

Die anderen Typen von Breitbandabsorbern können tatsächlich vorteilhaft ersetzt werden.

### **Flach - Schaumstoffabsorber**

Flachabsorber haben den Nachteil, daß ab einem gewissen Einfallswinkel Wellen von der Oberfläche zurückstoßen können, ohne viel Absorption oder Dämpfung. Dieser Winkel ist abhängig von ihren elektromagnetischen Eigenschaften (verglichen mit der umgebenden Materie oder Atmosphäre).

Infolge davon kann die Oberflächenschicht solcher Absorber nicht immer gefüllt werden mit soviel absorbierenden Elementen, wie man, aufgrund der optimalen Dämpfung, gerne hätte. Dieses Problem kann gelöst werden durch Einführen von einem Gradienten des absorbierenden Elementes, über die Dicke des Absorberkörpers. Eine Ausführungsweise besteht aus zwei oder mehreren Schichten von Materialien verschiedener Zusammenstellung. Eine einfachere Weise, um Dämpfungseigenschaften zu verbessern, ist die Anwendung von unebenen Oberflächen in Noppenform; diese bieten der Strahlung einen kontinuierlich ändernden Oberflächenwinkel.

Nicht nur, daß die Strahlung dadurch tiefer in den Absorber hineindringt, es verursacht eine erhebliche Diffusion der reflektierten Strahlungen, wodurch deren Effekt abgeschwächt wird.

Aus praktischen Gründen sind sowohl Flach- als auch Noppenabsorber in ihrer Höhe begrenzt.

Sie werden also weniger leistungsfähig bei niedrigen Frequenzen.

Einige Firmen bieten flaches Material bis zu einer Dicke von 10 cm und noppenartiges bis zu 25 cm und dickere Kombinationen der beiden Typen, so daß noch Dämpfung bei Frequenzen um 1 GHz und sogar bis 0.5 GHz erreichbar ist. Diese Vielschichtabsorber größerer Dicke sind teuer und können meistens vorteilhaft durch

Pyramidenabsorber aus unserem Programm ersetzt werden.

Pyramidalabsorber haben den Vorteil irgendwie einen Gradienten von absorbierendem Material vor der senkrecht einfallenden Wellenfront darzustellen.

Also erreicht man Diffusionseigenschaften, die denen der Noppenform ähnlich sind. Zusätzlich können die tieferen Täler zwischen den Gipfeln für vielfältiges Hin- und Herschwingen der Strahlung sorgen.

Um optimale Dämpfungseigenschaften zu erhalten, müssen Pyramidengipfel besonderen

Winkelbedingungen entsprechen; deswegen ist die Anzahl Pyramiden einer Absorbereinheit unterschiedlich nach der Bauhöhe, d.h. auch nach dem unteren Frequenzbereich.

Gute Absorber, aus 10 cm hohen Pyramiden zusammengestellt, erreichen eine Reflexionsdämpfung bei senkrecht einfallenden Wellen von 40 bis 45 dB bei 10 GHz und höheren Frequenzen.

Für niedrigere Frequenzen sind Pyramiden von 20 cm und mehr, bis zu 4 m Höhe, lieferbar. Diese haben eine Dämpfung von 50 dB und einen gewissen niedrigen Frequenzlevel und schwächere Dämpfungswerte für niedrigere Frequenzbereiche, bis etwa unter 100 MHz. Unter 100 MHz erreicht man noch eine vernünftige Leistung mit Pyramiden von 2 m oder mehr, von der gleichen Größenordnung, wie die von den dünnen Ferrit-Ziegelabsorbieren.

Obwohl beide teuer sind, haben die Ferrittypen den Vorteil, die Kammer-(und Gebäude)abmessungen niedrig zu halten.

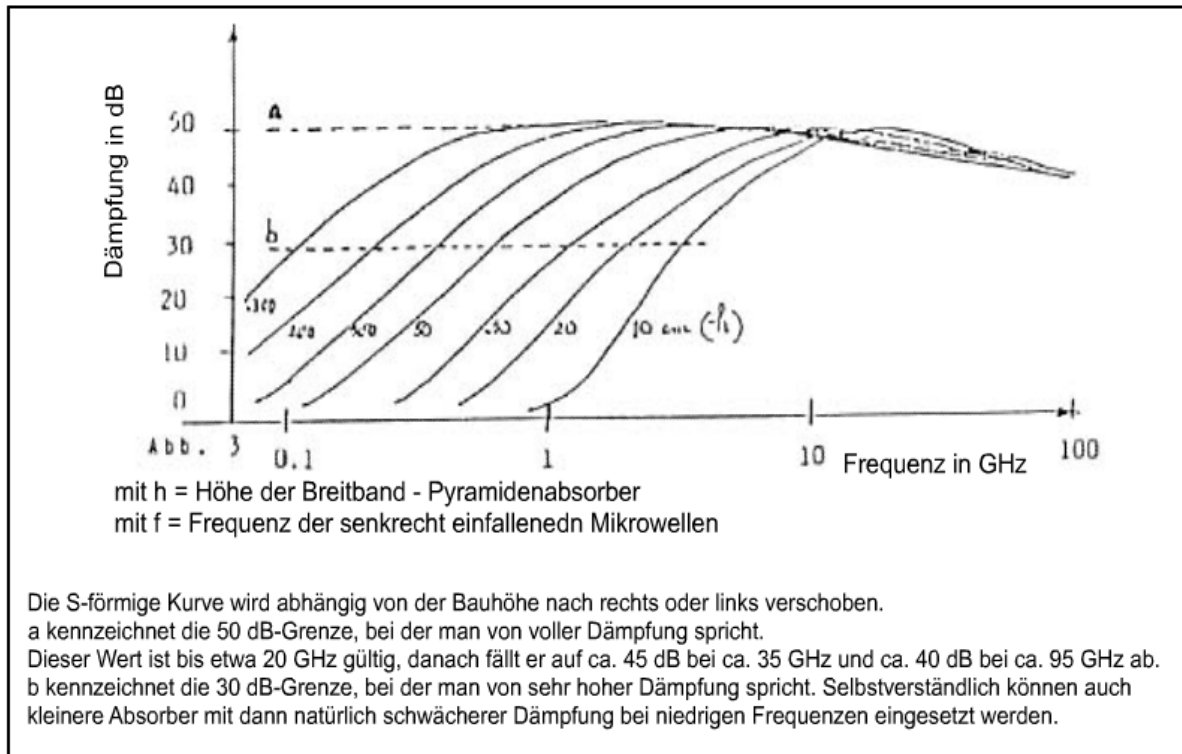
Die großen Pyramiden dagegen haben den Vorteil, daß auch bei den höheren Frequenzen exzellente Dämpfungseigenschaften erhalten bleiben, was bei Ferrit nicht der Fall ist.

Deswegen werden in den meisten Fällen Pyramidal-Breitbandabsorber bevorzugt. Gelegentlich wird man sie in Kombination mit Ferritabsorbieren anwenden, um Raum zu sparen, oder es werden auch Ferritziegel in kleineren Anlagen alleine eingesetzt, wo die Anwendung auf einen niedrigen Frequenzbereich beschränkt gehalten werden kann.

Da Absorber in Serien angefertigt werden, dürfen individuelle Dämpfungswerte von mal zu mal unterschiedlich ausfallen und Abweichungen von 3 bis 5 dB von typischen Standardwerten müssen erlaubt werden. Insbesondere, weil der Gesamteffekt in einer echototen Kammer oder anderen anechoischen Anlagen bei einer großen Anzahl solcher Absorber ein anderer ist als bei einem einzelnen Absorber.

Deshalb muß eine Messungsgenauigkeit von 5 dB angenommen werden, weil diese mit den heute üblichen Messgeräten und den Techniken gerade erreichbar ist.

Die folgende Abb. 2 repräsentiert den allgemeinen Dämpfungsverlauf von Breitband-Pyramidenabsorbern bei senkrechtem Einfall der Welle, aufgetragen über die Frequenz.

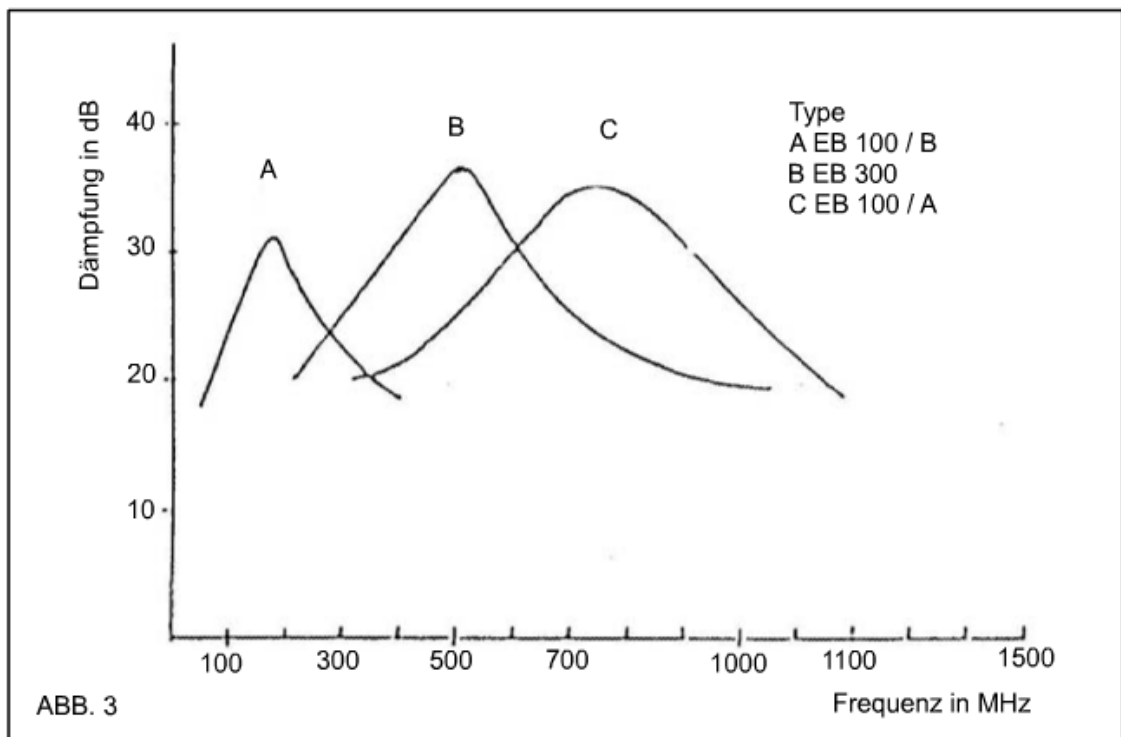


## Ferrit-Type Absorber

Obschon wir ein vollständiges Programm von magnetischen Verlustabsorbern (welche auf dem Markt sind) anbieten, betrachten wir selber eigentlich die wetterfesten, wärmefesten Typen (bis 250° C) mit großem Interesse, weil diese ungewöhnlich und fast allein geeignet sind für die VHP und UHF-Bereiche (zwischen 70 MHz und 1100 MHz).

Für die sehr niedrigen Frequenzbereiche sind diese das einzige dünne Material (5 und 8 mm), das zur Verfügung steht. Es kommt in Ziegel von 60 mm x 60 mm oder 100 mm x 100 mm. Dieses ist in anechoischen Boxen und Kammern verwendet worden sowie zur Unterdrückung von Fernseh-Reflexionen, die von Gebäuden verursacht werden.

Die Abb. 3 zeigt typische Dämpfungsverläufe, aufgetragen über der Frequenz, für drei verschiedene Ferritabsorber.



## Einfallswinkel-Abhängigkeit

Dämpfung von einfallenden Mikrowellen ist selbstverständlich abhängig vom Einfallswinkel und gelegentlich auch von der Polarisation. Bei Pyramidalabsorbern ist die Differenz nicht so groß wie bei Flachabsorbern, wegen der unterschiedlichen Ausstrahlungswinkelrichtungen der Pyramidenoberflächen.

Bei einem Einfallswinkel bis  $60^\circ$ , bleiben ungefähr  $2/3$  des maximalen Dämpfungswertes erhalten, senkrechter Einfallsrichtung entsprechend. Die Werte differieren etwas, je nach Polarisation und Richtung der Pyramidenstruktur.

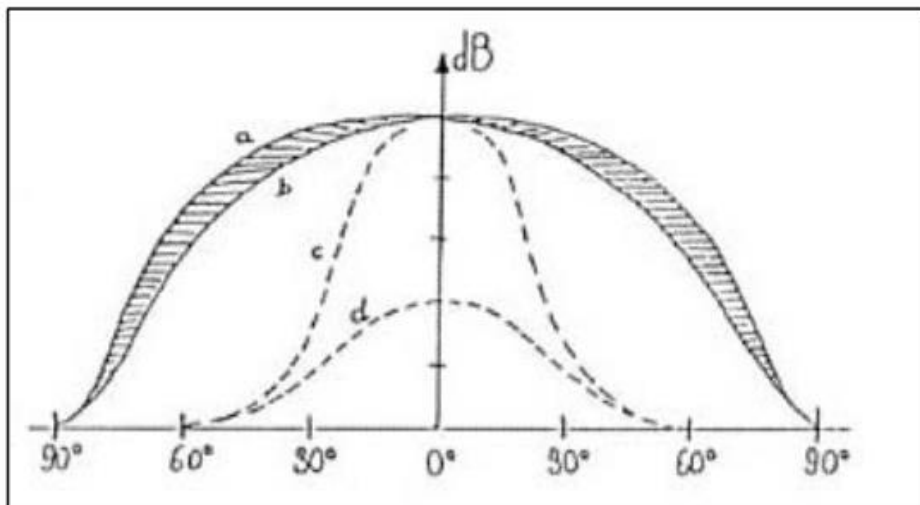
Flachabsorbertypen sind nicht so effektiv für parallel-polarisierte Mikrowellen, wie für senkrecht-polarisierte. In beiden Fällen werden diese jedoch ab einem gewissen Winkel völlig reflektiert.

Diese Schwierigkeit wird von Pyramidenabsorbern umgangen.

Diese haben annähernd die gleichen Dämpfungswerte bei beiden Polarisationen. Deswegen empfehlen wir meistens dieses Pyramidenmaterial, anstatt der flachen Typen,

da die Preise auch günstiger liegen.

Abb. 4 zeigt den Dämpfungsverlauf über dem Einfallswinkel für verschiedene Absorber



- Breitband-Pyramidenabsorber mit Streubereich (a,b)
- - - entsprechend dicke Flachabsorber für senkrecht polarisierte Wellen (c) und für parallel polarisierte Wellen (d)

## Spezielle Absorbertypen

In Anechoischen Kammern, bekleidet mit großen Pyramidalabsorbern sind spezielle Absorbertypen benutzt worden, um den freibleibenden Wandteil zwischen Raumrippen und in Raumecken zu bekleiden.

Diese teure Lösung wird von uns vermieden, indem eine geeignete Auswahl von Standardabsorbertypen von geringerer Dicke vorgenommen wird. Wir haben diese Technik soweit entwickelt, daß gar keine speziellen Rippen-oder Eckentypenabsorber erforderlich sind. Die einzige besondere Absorbertype, welche für anechoische Kammern wichtig ist, sind begehbare Bodenabsorber.

Selbstverständlich kann es in sehr vielen Fällen ausreichen, Standardabsorbertypen einzusetzen, die frei auf dem Boden ausgelegt werden können. In anderen Fällen jedoch kann der Einsatz von Bodenabsorbern wertvoll sein. Manchmal kann ihre Anwendung auf gewisse Bodenteile beschränkt werden, wie z.B. eine Arbeitsplattform in der Nähe des Drehtisches oder der Zielmontagegestelle. Auch sehr nützlich sind solche Absorber, die einen Zutritt zu diesen Stellen, die nach Möglichkeit außerhalb des direkt-reflektierenden Bodens liegen, bieten.

In anderen Fällen, z.B. für EMV-Untersuchungskammern, wobei ein größerer Teil der Bodenfläche benutzt wird, werden bleibende, begehbare Bodenabsorber benötigt. Solche Bodenabsorber sind nicht nur teurer als gewöhnliche Typen, hinzu kommt noch, daß der Raum konstant liegender Bodenabsorber allgemein zu einer größeren Kammerhöhe und somit ein höheres und teureres Gebäude führt. Darum wird man die Bauhöhe der Bodenabsorber so niedrig wie möglich halten, d.h. meistens geringer als die der Wandpyramiden.

Selbstverständlich ist die Dämpfung von Bodenabsorbern geringer als von normalen Absorbern.

Verschiedene Bodenabsorbertypen werden angeboten, je nach der Größe der entfernbaren

Standardabsorber, welche diese ersetzen. Wenn ein breitbandiger Bereich (zu den niedrigeren Frequenzen) erzielt wird, können wir einen neuen speziellen Schaumstoff-Bodenabsorber empfehlen, aufgebaut aus einem normalen Pyramidenabsorber, eingeschäumt in einer feuerhemmenden Hartschaummatrix. Die Mikrowelleneigenschaften nähern sich denen der Standard-Pyramidenabsorber. Für höhere Pyramiden (und sicher ab 80 cm) auf dem Boden soll eine separate Unterstützungsstruktur eingebaut werden, unter welcher Standardabsorber aufgestellt werden können.

Oder man muß speziell angefertigte, tragende Absorbereinheiten vorsehen. Solche sind verschieden nach Absorberhöhe, begehbare Bodengröße, maximales Ladungsvermögen, maximales Drehmoment auf dem Boden usw. Grundsätzlich ist dann jeder Absorber zusammengestellt aus einem tragenden Holzbalken, mit Absorberpyramidenmaterial ausgekleidet. Auch können 4, 6 oder 9 Absorber zugleich für einen Gabelstapler zugänglich gestellt werden. Die Gipfel der Holzträger werden auf der einen oder anderen Weise miteinander verbunden, um eine Plattformstütze darzustellen.

Auf detaillierte Anfrage bereiten wir das dementsprechende Angebot.

### **Andere physikalische Eigenschaften**

Des weiteren sind unsere Absorber geprüft von der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin und erfüllen die Anforderungen nach DIN 4102, Baustoffklasse B2. Der Umgebungstemperaturbereich unserer Absorber reicht von -20° bis +50°C. Sollen die Absorber bei anderen Temperaturen eingesetzt werden, bitten wir um Rücksprache. Die Belastbarkeit liegt zwischen 0,2 W/cm<sup>2</sup> und 0,3 W/cm<sup>2</sup>. Diese ist für die allermeisten Anwendungen voll ausreichend. Für 5-fach bis 10-fach höhere Leistungen sollten Schmalbandabsorber gewählt werden. Am besten Sie fragen uns, wenn Probleme auftauchen. Durch die standardmäßig schwarze Farbgebung sind die Absorber auch zur Licht- und IR-(Infrarot) Absorption geeignet. Ein wesentlicher Vorteil besteht jedoch darin, daß die Absorberoberfläche sich nicht verhärtet, wie es bei einem eventuellen Farbüberzug der Fall ist. Das kann leicht zu Beschädigungen der Absorberspitzen führen. Die Dämpfungswerte verringern sich ab ca. 10 GHz um ungefähr 2 dB mit steigender Tendenz. Falls doch farbige Absorber eingesetzt werden sollen, z.B. im Bereich der Eingangstür oder einer Fluchttür aus der Meßhalle, bleiben die Absorberspitzen beim Einfärben schwarz. Es gibt auch wettergeschützte Absorber mit einer speziellen Schutzbehandlung. Deren Preis ist natürlich um einiges höher als das entsprechende Standardmaterial. Die Beschränkung von kommerziellen Absorbern auf eine Anzahl von Typen, ausreichend für praktisch alle individuellen Anwendungen, hat es ermöglicht, andere physikalische Bedingungen mehr in Betracht zu ziehen. Die wahrscheinlich wichtigste unter diesen ist die Feuerhemmung. Es ist klar, daß wegen der chemischen Art der Materialien, die bei der Herstellung von Absorbern eingesetzt werden, diese brennen können - wenigstens in Anwesenheit einer Flamme. Sie sollen jedoch exzellente feuerhemmende und selbstverlöschende Eigenschaften haben. Unsere Pyramidenabsorber aus Polyurethanschaum sind selbstverlöschend und können als nicht brennbar betrachtet werden. Sie sind eingestuft in Klasse M2 vom französischen Institut CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment) in Paris.