

Wirksamkeit von Schallabsorbern

Elmar Schröder
Müller-BBM GmbH
DE-Planegg



Wirksamkeit von Schallabsorbern

1. Einleitung

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit der Schallabsorption und im speziellen bei tiefen Frequenzen.

Schallabsorption bezeichnet die Umwandlung von Schall-in Wärmeenergie.

In der Lärmbekämpfung soll durch Schallabsorption die Geräuschimmission verringert werden. Schallabsorber können hier auf dem gesamten Schallausbreitungsweg zum Einsatz kommen. Das können die schallabsorbierenden Innenverkleidungen einer Maschinenkapsel wie z. B. dem Motorraum eines Kraftfahrzeugs, die Schalldämpfer in den Zu- und Abluftkanälen wie z. B. zwischen Technikzentrale und Aufenthaltsraum oder auch die schallabsorbierenden Sitze am Immissionsort wie z. B. in einem Schienenfahrzeug sein.

In der Raumakustik werden Schallabsorber zur akustischen Gestaltung verwendet. Durch den Einbau von Schallabsorbern wird der Nachhall eingestellt, dessen gewünschte Länge von der Nutzung abhängt. Darüber hinaus werden im Raum reflektierende und absorbierende Oberflächen gezielt zur Schalllenkung oder zur Unterdrückung von Reflexionen angeordnet.

Für die Frequenz, unterhalb derer Geräusche als tieffrequent bezeichnet werden, gibt es keine einheitliche Definition. In der Lärmwirkung auf den Menschen werden beispielweise Geräuschanteile unterhalb von 90 Hz als tieffrequent bezeichnet [1]. In der Bauakustik wird oft der erweiterte Frequenzbereich mit den Terzfrequenzen 50 Hz, 63 Hz und 80 Hz als tieffrequent betrachtet [2]. In der Raumakustik werden gelegentlich bereits Geräuschanteile unterhalb von 315 Hz als tieffrequent angesehen [4]. Im Folgenden werden, ohne Anspruch auf Verallgemeinerung, Geräuschanteile unterhalb von 100 Hz als tieffrequent bezeichnet.

2. Messung des Schallabsorptionsgrads bei tiefen Frequenzen

2.1. Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall

Zur raumakustischen Planung werden Kennwerte der Schallabsorber benötigt. In der Praxis wird die Schallabsorption von Schallabsorbern für raumakustische Anwendungen durch den Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5000 Hz gekennzeichnet. Die untere Frequenzgrenze ergibt sich aus dem Messverfahren unter Verwendung von Hallräumen gemäß ISO 354 [5]. Hallräume, in denen die Schallabsorption ermittelt wird, müssen ein diffuses Schallfeld aufweisen. Die Frequenz, oberhalb derer sich ein diffuses Schallfeld ergibt, kann nach Gleichung (1) abgeschätzt werden.

$$f_u = \frac{2c_0}{\sqrt[3]{V}} (1)$$

mit:

f_u Frequenz, oberhalb derer sich laut normativen Vorgaben ein diffuses Schallfeld im Hallraum einstellt in Hz

c_0 Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s

V Raumvolumen in m^3

Dabei wird bereits eine erhöhte Messunsicherheit nahe der unteren Frequenzgrenze bewusst toleriert. Tatsächlich liegt die untere Frequenzgrenze bei ca. $2f_u$.

Für einen Hallraum mit einem Volumen von $V = 200 m^3$ ergibt sich rechnerisch eine untere Frequenzgrenze von $f_u = 116$ Hz. Eine Erweiterung des Frequenzbereichs zu tiefen Frequenzen hin auf nominell 50 Hz erfordert ein Raumvolumen von $V = 1600 m^3$, was in etwa einer Verdopplung der mittleren Raumabmessungen von 6 m auf 12 m entspricht (siehe Abbildung 1). Der Bau von größeren Hallräumen ist aber nicht das eigentliche Problem. Während für Schallabsorptionsgradmessungen bei nominell 100 Hz eine Probenfläche von $10 m^2$ ausreichend ist, wird für Messungen bei nominell 50 Hz eine Probenfläche von etwa $50 m^2$ erforderlich, was einer Verdopplung der Probenabmessungen ent-

spricht. Der Aufwand für Schallabsorptionsgradmessungen erhöht sich hierdurch erheblich. Darüber hinaus stellt sich auch die Frage nach dem Anwendungsfall für die in einem sehr großen Hallraum ermittelten Schallabsorptionsgrade. Wenn die Ergebnisse nur in einem Raum mit mittleren Raumabmessungen ≥ 6 m mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden können, so können sie auch nur in mindestens ebenso großen Räumen planerisch verwendet werden. Für viele raumakustisch relevante Raumarten mit Deckenhöhen unter 3 m wie beispielsweise Seminar-, Büro- und Klassenräume sind dann die mit viel Aufwand ermittelten Schallabsorptionsgrade zwischen 50 Hz und 100 Hz planerisch nicht einfach verwendbar.



Abbildung 1: Untere Frequenzgrenze in Abhängigkeit vom Raumvolumen eines Hallraums gemäß Gleichung (1)

In dem Wunsch nach Planungswerten im tieffrequenten Bereich werden gelegentlich Schallabsorptionsgrade bei Frequenzen unterhalb von < 100 Hz von Messungen in hierfür zu kleinen Hallräumen veröffentlicht. In Abbildung 2 sind die in unterschiedlichen Hallräumen ermittelten Schallabsorptionsgrade eines speziellen Absorbers für tiefe Frequenzen dargestellt. Es ist leicht erkennbar, dass die Maxima des Schallabsorptionsgrads, die unterhalb von 100 Hz auftreten, in jedem Hallraum bei einer anderen Frequenz liegen. Diese Maxima sind daher keine Eigenschaft des Schallabsorbers sondern eine Eigenschaft des modalen Schallfelds des Hallraums.

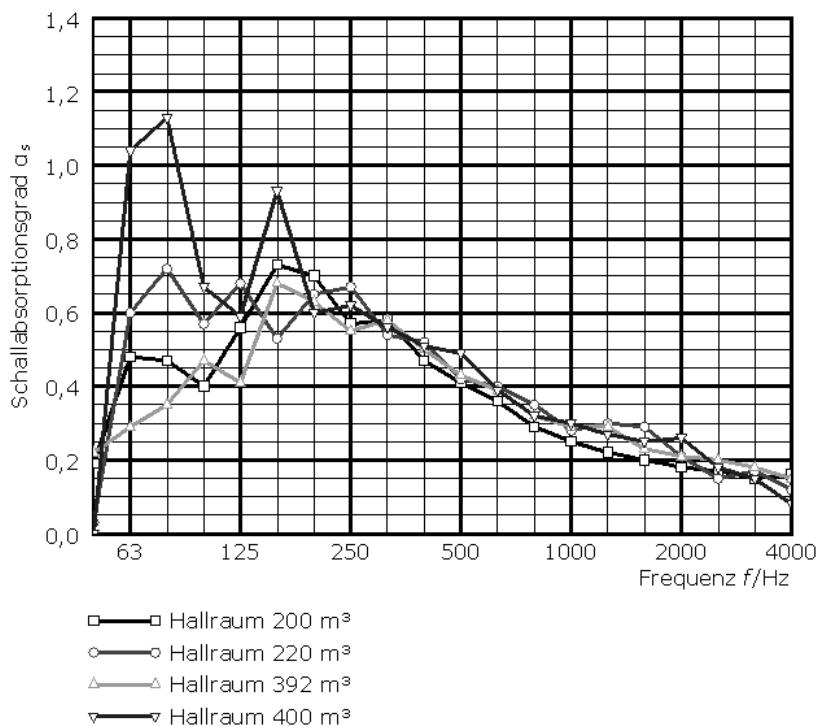


Abbildung 2: Schallabsorptionsgrad eines speziellen Absorbers für tiefe Frequenzen in vier unterschiedlichen Hallräumen mit Volumina zwischen $200 m^3$ und $400 m^3$; Messung mit Umfassungsrahmen mit sechs Stück je $1,5 m^2$ großen, $100 mm$ dicken Absorbermodulen mit $200 mm$ Abstand zueinander

2.2. Schallabsorptionsgrad bei senkrechtem Schalleinfall

Gelegentlich werden zur Kennzeichnung von Schallabsorbern auch Schallabsorptionsgrade bei senkrechtem Schalleinfall angegeben. Der Schallabsorptionsgrad bei senkrechtem Schalleinfall kann anhand von Absorbermodellen rechnerisch gut vorhergesagt oder im sogenannten Impedanzrohr messtechnisch bestimmt werden. Eine Umrechnung des Schallabsorptionsgrads bei senkrechtem Schalleinfall auf den Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall ist nur für lokal wirksame Absorber möglich, die in der raumakustischen Praxis eher die Ausnahme darstellen. Die planerische Verwendung des Schallabsorptionsgrads bei senkrechtem Schalleinfall oder auch bei einzelnen Einfallswinkeln ist daher speziellen Anwendungsfällen vorbehalten, in denen es meist um die Betrachtung einzelner Reflexionen geht.

Ein Anwendungsfall sind beispielsweise reflexionsarme Halbräume, in denen ein Schallabsorptionsgrad von $\alpha_0 \geq 0,99$ bei senkrechtem Schalleinfall erforderlich ist. Hierfür werden in der Regel keilförmige Absorber aus Mineralfaser oder Schaum verwendet. Die erforderliche Tiefe des Absorbers ergibt sich aus der unteren Grenzfrequenz, bis zu der der oben genannten Schallabsorptionsgrad α_0 erreicht werden soll. Die Keiltiefe muss in etwa ein Viertel der Wellenlänge der zugehörigen Grenzfrequenz betragen. Für eine untere Grenzfrequenz von 50 Hz sind demnach Absorberkeile mit einer Tiefe von 1,7 m erforderlich. In Abbildung 4 ist der Schallabsorptionsgrad eines 420 mm dicken Flachabsorbers und eines gleich dicken Keilabsorbers dargestellt. Der Keilabsorber erreicht den mindestens erforderlichen Schallabsorptionsgrad von $\alpha_0 \geq 0,99$ bei Frequenzen oberhalb von 200 Hz. Bei dem gleich dicken Flachabsorber tritt zwar bereits bei tieferen Frequenzen eine nennenswerte Schallabsorption auf, allerdings kann der Schallabsorptionsgrad von $\alpha_0 \geq 0,99$ nicht erreicht werden.



Abbildung 3: Messaufbau im Impedanzrohr mit einem quadratischen Querschnitt von 600 mm x 600 mm: Links: 420 mm dicker Flachabsorber, rechts: 420 mm dicker Keilabsorbers

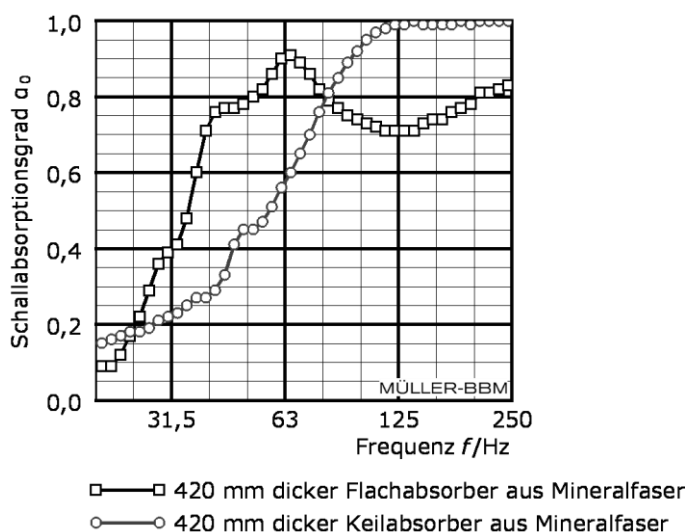


Abbildung 4: Schallabsorptionsgrad bei senkrechtem Schalleinfall eines jeweils 420 mm dicken Flach- und eines Keilabsorbers im Impedanzrohr

3. Planerische Bedeutung tiefer Frequenzen

In der raumakustischen Praxis spielen tiefe Frequenzen planerisch nur dann eine Rolle, wenn auch tieffrequente Schallquellen vorhanden sind. Der Ansatz der Problemlösung beginnt immer an der Schallquelle, setzt sich an dem Übertragungsweg fort und endet am Immissionsort, dem schutzbedürftigen Raum.

3.1. Lärminderung

Tieffrequente Schallquellen außerhalb von schutzbedürftigen Räumen sind beispielsweise Dauerlaufprüfstände für Motoren, Triebwerke oder Propellermaschinen. Auch Blockheizkraftwerke und Windräder können nennenswerte tieffrequente Geräuschanteile erzeugen. Grundsätzlich werden Maßnahmen zur Lärminderung primär an der Quelle betrachtet. Wenn dieses Potential ausgeschöpft ist, werden Maßnahmen zur Schalldämmung dimensioniert. Erst zu allerletzt sollten Maßnahmen zur Lärminderung durch tieffrequente Schallabsorption im schutzbedürftigen Raum in Erwägung gezogen werden. Der Hauptgrund hierfür ist die vergleichsweise geringe erreichbare Pegelminderung in Verbindung mit einem hohen baulichen Aufwand. In der Lärmbekämpfung externer Schallquellen spielt daher die Schallabsorption tieffrequenten Schalls nur eine untergeordnete Rolle.

3.2. Raumakustik

Die raumakustische Planung eines Raums erfolgt üblicherweise in den Terzbändern von 100 Hz bis 5000 Hz, zum Teil auch bis 8000 Hz. Bei Nutzungen mit tieffrequenten Schallquellen wird der Frequenzbereich um die Terzbänder 50 Hz, 63 Hz und 80 Hz erweitert.

Der zu tiefen Frequenzen erweiterte Frequenzbereich wird überwiegend bei Räumen für Musik- und Audiowiedergabe angewendet: musikalische Aufführungsräume, Kinosäle, Studioräume, etc.

Sprache enthält nur sehr geringe Anteile tieffrequenten Schalls. Der Grundton der männlichen Stimme liegt bei etwa 125 Hz, der der weiblichen Stimme bei etwa 250 Hz. In nur für Sprache genutzten Räumen wie Büro-, Besprechungs- und Seminarräumen, Klassenräumen, etc. sind daher keine tieffrequenten Schallabsorber, d. h. für Frequenzen < 100 Hz erforderlich. Darüber liegende Frequenzen sollten jedoch unbedingt, auch in der Planung, berücksichtigt werden.

3.3. Raumakustik in Sprachräumen

Wie bereits erwähnt, sind tieffrequente Geräuschanteile, d. h. Frequenzen unterhalb von 100 Hz in Sprachräumen von geringer Bedeutung. Raumakustisch interessant ist jedoch der Frequenzbereich von etwa 100 Hz bis 250 Hz, d. h. dem unteren Frequenzbereich der menschlichen Sprache. In diesem Frequenzbereich ist in ausgeführten Räumen gelegentlich eine unzureichende Raumbedämpfung vorhanden.

In der Praxis gibt es hierfür zwei typische Situationen:

- Massive Raumbegrenzungsflächen wie verputztes Mauerwerk und Beton haben im Vergleich zum Innenausbau in Trockenbauweise eine sehr geringe Schallabsorption im Frequenzbereich unterhalb von < 250 Hz. Gleichzeitig erreichen viele marktübliche Schallabsorberprodukte bei praxisüblichen Einbautiefen von weniger als 100 mm in diesem Frequenzbereich nur eine geringe Schallabsorption. Abbildung 5 zeigt die Nachhallzeit in einem Mehrpersonenbüro mit massiven Raumbegrenzungsflächen und ohne raumakustische Maßnahmen zur Schallabsorption. In Räumen mit massiven Raumbegrenzungsflächen muss daher dem Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 250 Hz besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Räume mit einem Innenausbau in Trockenbauweise sind akustisch weniger kritisch, da die Trockenbauschalen bereits als Schallabsorber im unteren Frequenzbereich wirken.

- Der zweite interessante Fall sind Räume, deren mittlere Abmessungen kleiner als oder in ähnlicher Größenordnung wie die Wellenlänge des Grundtons männlicher Sprache sind. Der Grundton männlicher Sprache mit einer Frequenz von etwa $f = 125$ Hz entspricht einer Wellenlänge von etwa $\lambda = 2,7$ m. Aufgrund des geringen Raumvolumens hat das Schallfeld solcher Räume einen modalen Charakter. Diese Räume können daher bei unzureichender Bedämpfung im unteren Frequenzbereich der Sprache zum

Dröhnen neigen (siehe Abbildung 6). Darüber hinaus wird der Frequenzgang der Sprache durch die Raummoden modelliert, was als unangenehm empfunden wird. Zu diesen Raumtypen gehören beispielsweise kleine Besprechungsräume und Einzelbüros. Durch die gezielte Anordnung eines geeigneten Schallabsorbers, z. B. in Form eines Wandpanels, kann das Dröhnen leicht beseitigt werden.

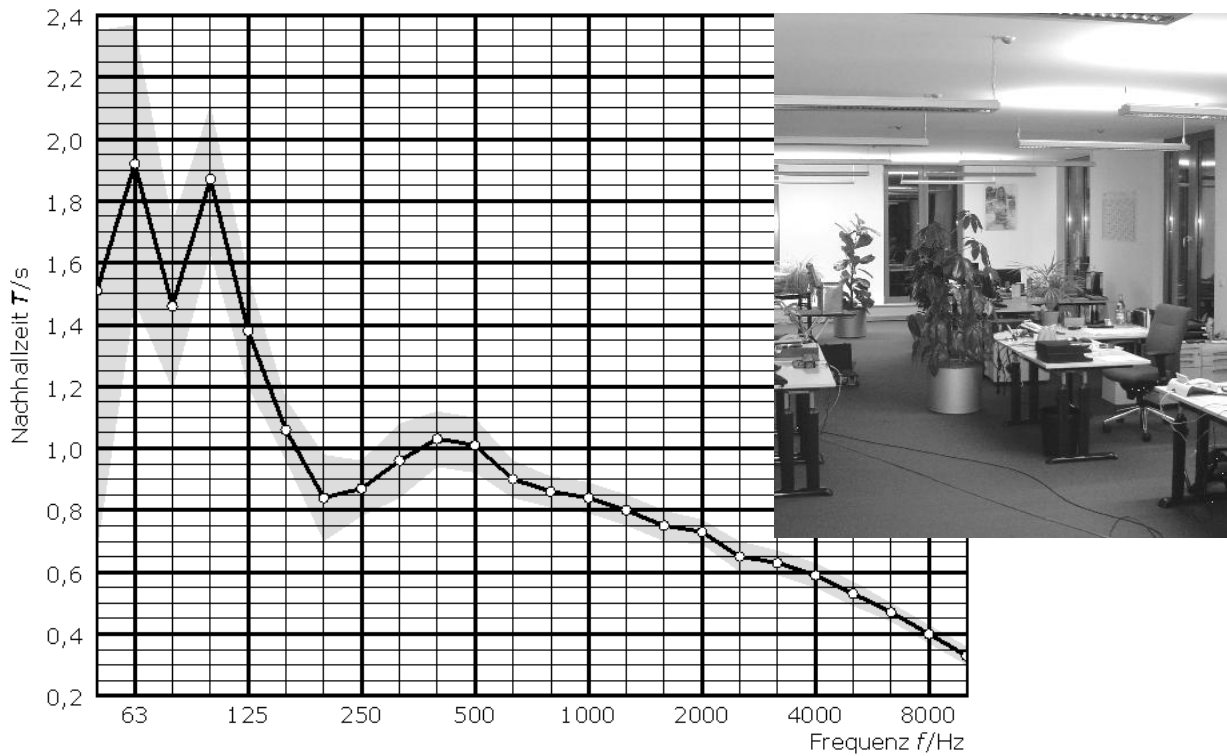


Abbildung 5: Nachhallzeit in einem Mehrpersonenbüro mit massiven Raumbegrenzungsflächen und ohne schallabsorbierende Maßnahmen (möbliert, unbesetzt)

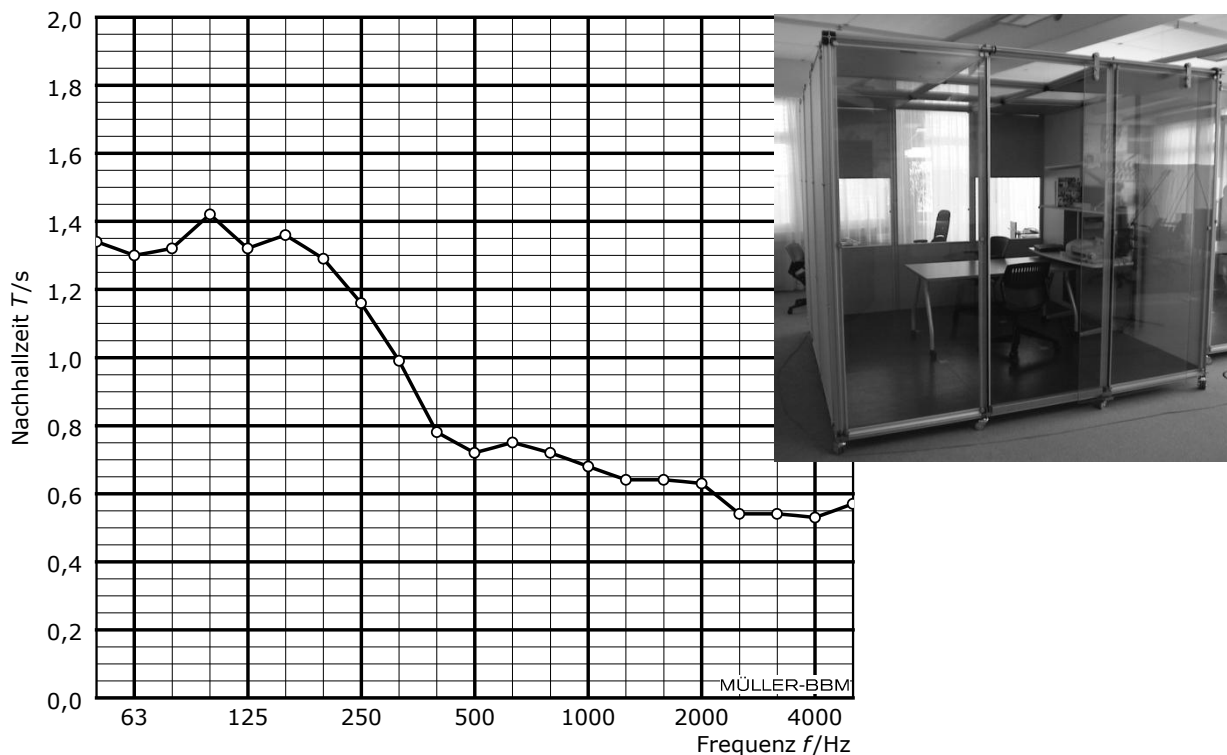


Abbildung 6: Nachhallzeit in einem ThinkTank mit einem Volumen von ca. 20 m^3 (möbliert, unbesetzt)

4. Tieffrequente Schallabsorber

Auch wenn tieffrequenter Schall streng genommen erst unterhalb von 100 Hz beginnt, sollen hier aufgrund der Bedeutung für die Planung von Sprachräumen auch Absorber besprochen werden, die im unteren Frequenzbereich der Sprache wirken.

Grundsätzlich kann zwischen porösen Schallabsorbern und reaktiven Schallabsorbern unterschieden werden.

4.1. Poröse Absorber

Mit porösen Schallabsorbern kann eine breitbandige Schallabsorption erreicht werden. Die Frequenz, oberhalb derer eine merkliche Schallabsorption auftritt, hängt jedoch unmittelbar mit dem Abstand zwischen der Vorderseite des Absorbers und der schallreflektierenden Rückseite (z. B. Decke oder Wand) zusammen. Mit zunehmendem Abstand verringert sich die Frequenz, oberhalb derer eine merkliche Absorption auftritt. In Abbildung 7 ist der Schallabsorptionsgrad einer abgehängten Unterdecke aus Lochblech mit Akustikvlies ohne Auflage von Dämmmaterial bei verschiedenen Gesamtaufbauhöhen dargestellt.

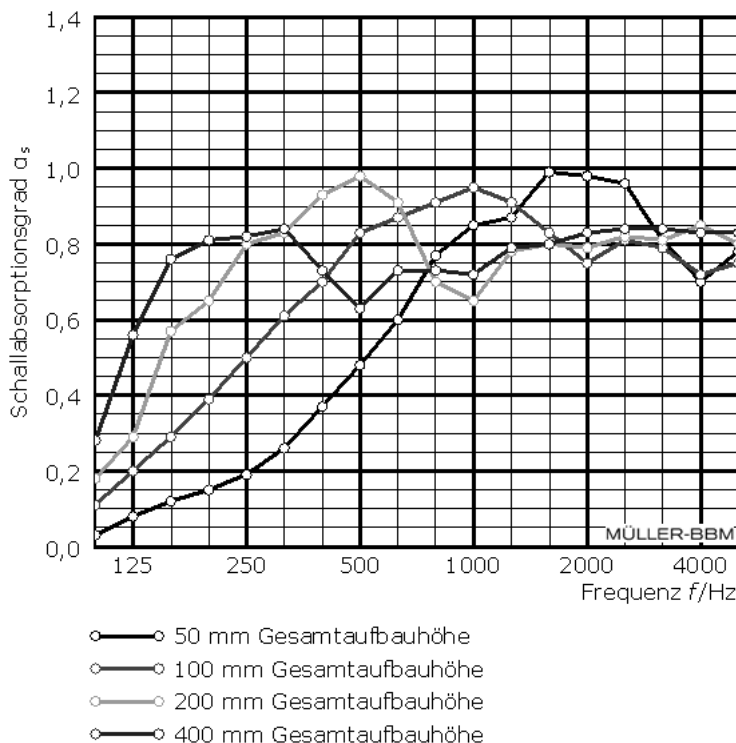


Abbildung 7: Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall einer abgehängten Unterdecke aus Lochblech mit Akustikvlies ohne Auflage von Dämmmaterial bei verschiedenen Deckenabständen

Eine weitere Möglichkeit bei gleicher Konstruktionstiefe die Schallabsorption zu tieferen Frequenzen hin zu erhöhen, ist die vollständige oder zumindest nahezu vollständige Auffüllung des Hohlraums mit porösem Dämmmaterial (z. B. Mineralfaser oder Schaum). Abbildung 8 zeigt den Schallabsorptionsgrad einer abgehängten Akustikdecke Holzwolle-Leichtbauplatten mit unterschiedlich dicken Dämmmaterialauflagen bei derselben Gesamtaufbauhöhe.

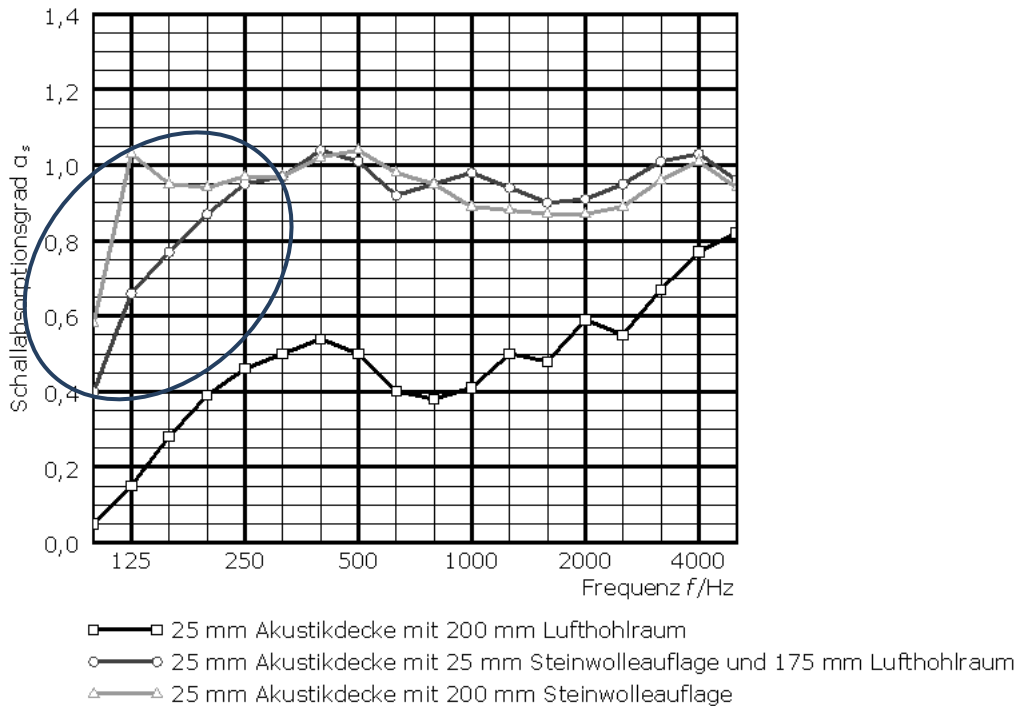


Abbildung 8: Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall einer abgehängten Akustikdecke mit unterschiedlich dicken Dämmmaterialauflagen und derselben Gesamtaufbauhöhe von insgesamt 225 mm

In Büroräumen können die verhältnismäßig hohen Bautiefen von Korpusmöbeln für die Schallabsorption im unteren Frequenzbereich genutzt werden. In Abbildung 10 sind die Schallabsorptionsgrade von Regalen ohne und mit Ordnern dargestellt. Das ausgeprägte Maximum der Schallabsorption bei 125 Hz stellt sich auch bei geringeren Füllgraden ein. Mit Schränken, Rollcontainern etc. können ähnliche Werte erreicht werden, wenn die Türen akustisch transparent gestaltet werden.

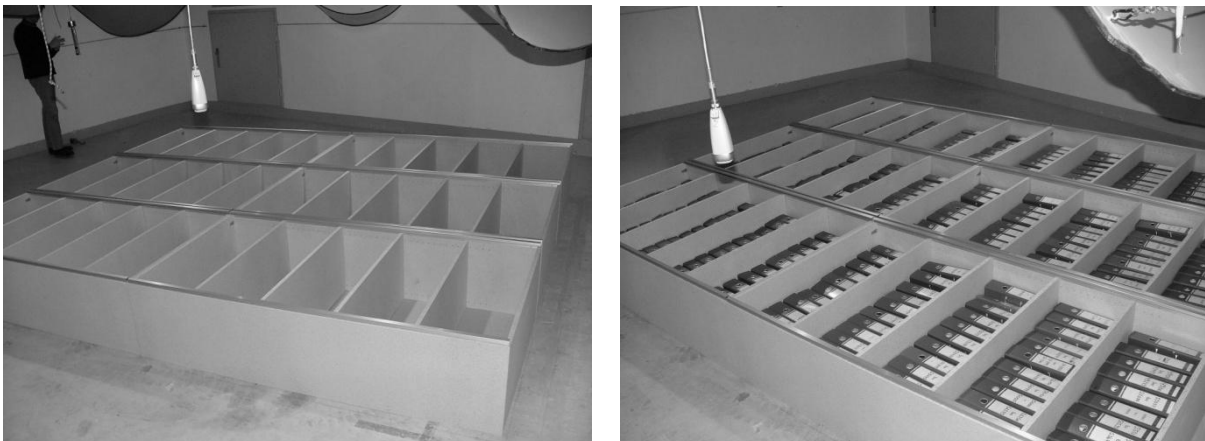


Abbildung 9: Messaufbau: Regal ohne und mit Ordnern im Hallraum

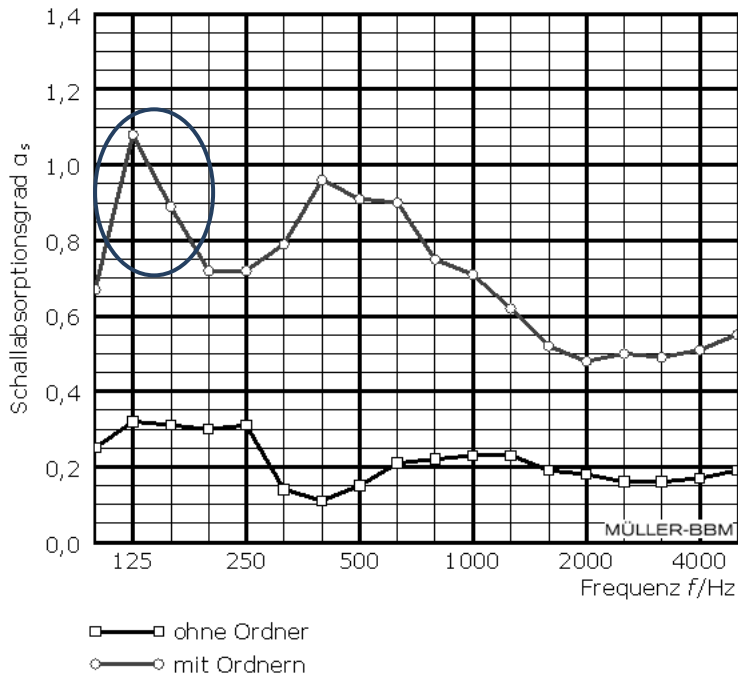


Abbildung 10: Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall von Regalen ohne und mit Ordnern mit Messaufbauten gemäß Abbildung 9

4.2. Reaktive Schallabsorber

Während mit porösen Absorbern eine breitbandige Schallabsorption erreicht werden kann, ist die Schallabsorption von reaktiven Absorbern meist schmalbandig. Sogenannten Plattenresonatoren bestehen aus einer luftdichten Platte und einem dahinter liegenden, meist bedämpften Lufthohlraum. Die Masse der Platte und die Feder des Lufthohlraums bilden ein Masse-Feder-System, in dessen Resonanzfrequenz bei geeigneter Wahl der Parameter eine ausgeprägte Schallabsorption auftritt. In Abbildung 12 ist die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Ölgemäldes dargestellt. Die Resonanzfrequenz dieses Plattenresonators liegt bei 250 Hz.



Abbildung 11: Messaufbau: Ölgemälde mit 90 mm dicker Dämmmaterialeinlage und einer Gesamtaufbauhöhe von 95 mm; Länge x Breite = 3050 mm x 1950 mm

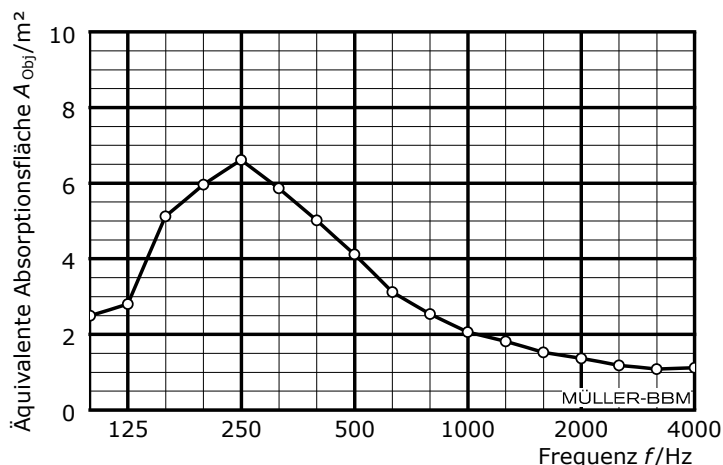


Abbildung 12: Äquivalente Schallabsorptionsfläche bei diffusem Schalleinfall eines Ölgemäldes mit einem Messaufbau gemäß Abbildung 11

5. Literatur

- [1] DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft
- [2] DIN EN ISO 140-4: Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 4: Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden
- [3] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen
- [4] DIN EN ISO 11654: Akustik - Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden - Bewertung der Schallabsorption
- [5] DIN EN ISO 354: Akustik - Messung der Schallabsorption in Hallräumen.