(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

PCT

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. April 2009 (30.04.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/053349 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/064183

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Oktober 2008 (21.10.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 000 568.9
24. Oktober 2007 (24.10.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SilenceResearch GmbH** [DE/DE]; Sedanstrasse 31-33, 50668 Köln (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **ZICKMANTEL, Frank** [DE/DE]; Lockwitzgrund 123 a, 01731 Kreischa (DE).

(74) Anwalt: **GILLE HRABAL STRUCK NEIDLEIN PROP ROOS**; Brucknerstr. 20, 40593 Düsseldorf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SOUND ABSORBER

(54) Bezeichnung: SCHALLABSORBER

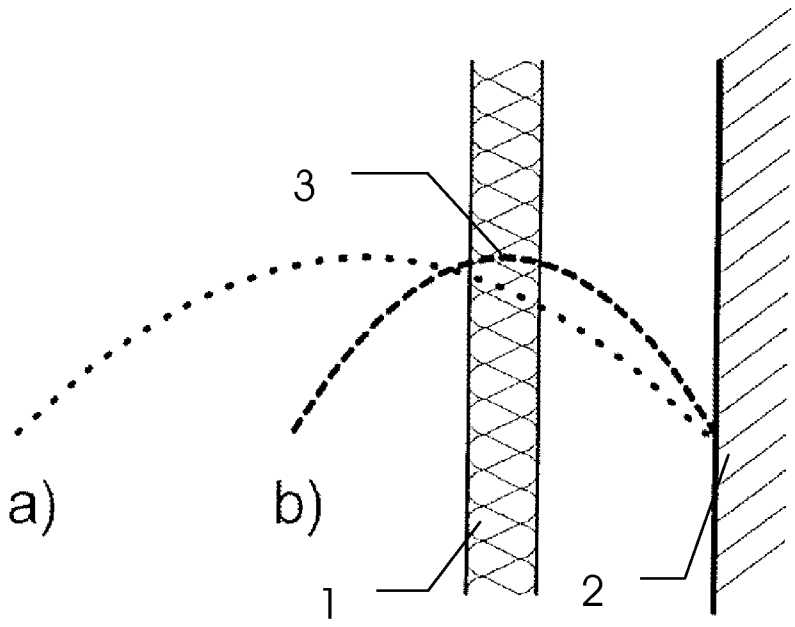


Fig. 1

(57) Abstract: To provide an inexpensive, slender sound absorber, it has a plurality of porous layers or regions of different densities or different flow resistances. Of significance are the boundary surfaces between the different, porous layers, which are accompanied by changes in impedance. Homogenized and adapted flow resistance conditions should be avoided. Although the thermal frictional effect in the porous material is desired, in particular to absorb higher frequencies, according to the present invention it only forms one element of the absorptive working mechanism. In addition, the effect known in physics as refraction is used. At the boundary layer between two materials of different density or different flow resistance there is an abrupt change in impedance. This leads to a phase shift of the sound wave, and so a sound absorbing effect is made possible. By contrast with exclusively porous absorber layers with homogeneously or steadily increasing flow resistances, frequently changing transitions and porous materials having different, respectively suitable, direct impedances allow much higher degrees of sound absorption to be achieved in the range of low frequencies, in particular between 100 Hz and 500 Hz.

(57) Zusammenfassung: Um einen preiswerten, schlank gebauten Schallabsorber bereit zu stellen, weist dieser eine Mehrzahl an porösen Schichten oder Bereichen mit unterschiedlichen Dichten bzw. unterschiedlichen Strömungswiderständen auf. Von Bedeutung sind die Grenzflächen zwischen den unterschiedlichen, porösen Schichten, die mit Impedanzänderungen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/053349 A2

CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

einhergehen. Homogenisierte und angepasste Strömungswiderstandsverhältnisse sind zu vermeiden. Zwar wird der thermische Reibungseffekt im porösen Material erwünscht, vor allem um höhere Frequenzen zu absorbieren. Er bildet aber nur eine Säule des absorptiven Wirkungsmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung. Es wird zusätzlich der in der Physik als Brechung bekannte Effekt ausgenutzt. An der Grenzschicht zwischen zwei Materialien unterschiedlicher Dichte bzw. unterschiedlichen Strömungswiderstandes kommt es zu einer abrupten Impedanzänderung. Dies führt zu einem Phasensprung der Schallwelle, so dass ein Schallabsorptionseffekt ermöglicht wird. Bei häufig wechselnden Übergängen und porösen Materialien mit jeweils geeignet unterschiedlichen Eingangsimpedanzen können im Gegensatz zu ausschließlich porösen Absorberschichten mit homogenen oder stetig steigenden Strömungswiderständen deutlich höhere Schallabsorptionsgrade im Bereich tiefer Frequenzen insbesondere zwischen 100 Hz und 500 Hz erzielt werden.

Schallabsorber

Die Erfindung betrifft einen Schallabsorber mit den Merkmalen des Oberbegriffs, zum Beispiel bekannt aus der Druckschrift DE 24 37 947 OS.

Es ist bekannt, dass sich offenporige Materialien zur Bedämpfung von Räumen eignen. Typische Bausubstanzen finden sich bspw. in Akustikdecken wieder. Dabei ist das Anpassungsverhältnis eines porösen sogenannten $\lambda/4$ - Absorbers gemäß

$$800 < \Xi^*d < 2400\ Pa^*s/m$$

zu berücksichtigen, um mindestens 80 % Schallabsorption zu erzielen. Ein Körper, der sich mit einer Geschwindigkeit relativ zu einem gasförmigen oder flüssigen Medium bewegt, erfährt einen Strömungswiderstand in Form einer der Bewegungsrichtung entgegengesetzt wirkende Kraft. Ξ stellt den längenspezifischen Strömungswiderstand und d die Schichtdicke des Absorbers dar. Der Strömungswiderstand des porösen Absorbers muss demnach so gewählt werden, dass die Schallwelle in diesen eindringen kann und die durch den Luftschall erzwungene Teilchenbewegung durch Reibung in der Materialstruktur des Absorbers gedämpft wird. Zu hohe Strömungswiderstände führen dabei zur Reflexion an der Frontschicht des Absorbers, zu niedrige hingegen zu einer Durchdringung des Absorbers ohne Reibungsverluste.

Poröse Schallabsorber weisen üblicherweise eine homogene, Schall absorbierende Schicht auf. Es gibt aber auch keilförmige Strukturen, beispielsweise zur Auskleidung reflexionsarmer Räume. Keilförmige Strukturen werden durch - zu den Raumbegrenzungsflächen hin - homogen ansteigende Strömungswiderstände erreicht. Das Mischverhältnis aus Luft zu Fasermaterial, welches das poröse Material bildet, wächst dann in Richtung Raumbegrenzungsfläche stetig an. Dabei wird eine gleichmäßig hohe Schallabsorption über den gesamten Frequenzbereich angestrebt.

Es ist auch möglich, eine keilförmige Struktur mit Hilfe von Schaumstoffen auf einfache Weise näherungsweise zu realisieren. So ist bekannt, faserige oder poröse Würfel in zur Wand hin zunehmender Größe und Dichte an senkrechten Drähten aufzufädeln. Zwischen den einzelnen sind bei dieser bekannten Lösung Abstände vorgesehen.

Verschiedene Schaumstoffe könnten zur Realisierung einer keilförmigen Struktur auch schichtförmig hintereinander angeordnet werden, wobei von Schicht zu Schicht in Richtung Raumbegrenzungsfläche die Materialmenge zunehmen und die Poren in dem Material abnehmen könnten. Von Schicht zu Schicht wäre dann auf angepasste Strömungsverhältnisse zu achten, um Schallreflexionen an Grenzschichten zu minimieren und sich so der idealen keilförmigen Struktur anzunähern. Die Eingangsimpedanzen der verschiedenen Schichten wären dann ähnlich.

Aus den Druckschriften „Mechel, F. (1995) Schallabsorber Band 2, Innere Schallfelder, Strukturen. Hirzel Verlag Stuttgart – Leipzig" sowie „Mechel, F. (1998) Schallabsorber Band 3, Anwendungen. Hirzel Verlag Stuttgart – Leipzig" ist bekannt ist, wie eine Eingangsimpedanz eines porösen Schallabsorber vor schallharter Rückwand bestimmt werden kann. Insbesondere zur Absorption tiefer Frequenzen werden enorme Bautiefen des aus porösem Material bestehenden Absorbers auf Grund der langen Wellenlängen benötigt, da am meisten Energie umgewandelt werden kann, wenn das Absorptionsmaterial im Schnellemaximum der Schallwelle bei $\lambda/4$ gemäß Figur 1 eingreifen kann. Für den technischen Innenausbau muss daher bereits bei der Rohbauplanung ein erheblich größeres Volumen berücksichtigt werden, so dass im Extremfall durch die Verwendung poröser Materialien nur noch die Hälfte als Nutzvolumen zur Verfügung steht.

Im gewerblichen Innenausbau steht die Kostenoptimierung an erster Stelle. Um Kosten einzusparen, werden heutzutage bereits Rohbauhöhen von Gebäudeetagen reduziert, so dass oftmals Akustikdecken mit unzureichender Abhanghöhe installiert werden müssen. Dies führt

zwangsläufig zu Entwicklungsansätzen von Schallabsorbern, welche auch bei deutlich reduzierter Bautiefe einen großen Absorptionskoeffizienten bis zu tiefen Frequenzen aufweisen.

Aus der Druckschrift DE 295 02 964 U1 ist ein Schallabsorber bekannt, der poröses, aus Fasern bestehendes Material umfasst. Die Fasern können aus Kunststoff oder Metall bestehen. Poröses Material, mit dem Schall absorbiert werden soll, kann aber auch aus anderen Materialien wie Schäumen bestehen, wie der Druckschrift DE 4027511 C1 zu entnehmen ist. Wesentlich ist, dass es sich um ein offenporiges System handelt. Der Schall soll in das poröse Material eindringen können und hier in Wärme umgewandelt werden.

Je länger die Wellenlänge von Schall ist, um so größer muss die Tiefe eines solchen Absorbers sein, um auch tiefe Frequenzen erfolgreich absorbieren zu können. Um auch tiefe Frequenzen absorbieren zu können, ist ein großes Bauvolumen eines solchen Schallabsorbers erforderlich, wie der DE 4027511 C1 zu entnehmen ist. Es müssen dann relativ dicke Absorber eingesetzt werden. Zum einen wird so der zur Verfügung stehende Raum reduziert. Zum anderen sind solche Absorber vergleichsweise teuer, da relativ viel Material eingesetzt werden muss.

Um mit kleinen Bautiefen dennoch breitbandig und vor allem auch tiefe Frequenzen absorbieren zu können, wird gemäß der DE 4027511 C1 vorgeschlagen, einen hybriden Schallabsorber bereitzustellen, der neben einem konventionellen, passiven Absorber ein elektronisches System umfasst, mit dem Schall gedämpft wird. Es wird also ein technisch hoher Aufwand betrieben, der außerdem eine Stromversorgung erfordert.

Aus den Druckschriften DE 4113628 C2 sowie DE 2408028 A1 gehen Schallabsorber hervor, die poröses Material, welche geschlossene Poren aufweisen, umfassen.

Um ein großes Bauvolumen zu vermeiden, werden alternativ sogenannte Plattenresonatoren eingesetzt. Ein solcher Plattenresonator wird in der

Druckschrift DE 10213107 A1 beschrieben. Der hieraus bekannte Plattenresonator umfasst eine schwingfähig gelagerte, aus Metall bestehende Platte. Das Prinzip beruht darauf, dass die Platte in Bewegung gesetzt wird, also Schall in kinetische Energie der Platte umgesetzt wird. Hinter einer solchen Platte ist ein dämpfendes Medium, wie zum Beispiel Luft oder ein anderes dämpfendes Material angeordnet. Hier wird die Bewegungsenergie der Platte in Wärme umgesetzt. Entsprechend der eingestellten Resonanzfrequenz eines solchen Plattenresonators werden entsprechende Frequenzen absorbiert. Es gelingt so, trotz geringer Bautiefe tiefe Frequenzen absorbieren zu können. Allerdings absorbiert ein solcher Plattenresonator nur bestimmte Frequenzen entsprechend der eingestellten Resonanzfrequenz. Außerdem ist der Plattenresonator aufgrund der Metallplatte relativ teuer.

Um bei einem Plattenresonator zusätzlich zu niedrigen Frequenzen auch hohe Frequenzen zu absorbieren, werden Plattenresonatoren beispielsweise mit Schaumstoffmaterialien kombiniert, wie der Druckschrift WO 96/26331 A1 zu entnehmen ist. Der Plattenresonator wird dann so eingestellt, dass tiefe Frequenzen herausgefiltert werden. Die hohen Frequenzen werden durch das poröse Material herausgefiltert. Zwar wird bei einer solchen Lösung ein relativ großes Spektrum an Frequenzen absorbiert. Allerdings ist ein zusätzlicher Materialaufwand erforderlich, der Kosten verursacht und den Platzbedarf vergrößert.

Alternativ werden sogenannte Helmholtz-Resonatoren eingesetzt. Diese umfassen eine gelochte Platte mit einem dahinter befindlichen Volumen. Es ist ein relativ großes Luftvolumen hinter einer gelochten Platte erforderlich, um tiefe Frequenzen absorbieren zu können. Ein Helmholtz-Resonator verbraucht also wiederum relativ viel Platz. Auch kann ein einzelner Helmholtz-Resonator nur einen eingestellten relativ kleinen Frequenzbereich absorbieren. Ein Helmholtz-Resonator geht aus der Druckschrift DE 8916179 U1 oder aber aus der Druckschrift EP 1570138 A1 hervor.

Anstelle von gelochten Platten werden bei einem Helmholtz-Resonator auch Platten oder Folien mit Mikroporen eingesetzt, wie aus der Druckschrift DE 10151474 A1 bekannt ist. Es ergibt sich eine zusätzliche Absorption an den Rändern der Mikroporen. Dadurch wird die Wirkungsweise eines Helmholtz-Resonators verbessert.

Aus der Druckschrift DE 7427551 U ist ein Schallabsorber bekannt, der zwei verschiedene poröse Materialien umfasst. Eine der beiden porösen Materialien ist so gewählt, dass der Schallabsorber mechanisch stabil ist. Das zweite poröse Material ist so gewählt, dass es besonders preiswert ist. So sollen die Herstellungskosten reduziert werden. Nach wie vor besteht bei dieser Lösung das Problem, eine hohe Bautiefe vorsehen zu müssen, um auch tiefe Frequenzen absorbieren zu können.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen preiswerten Schallabsorber bereitzustellen, der trotz geringer Bautiefe breitbandig Schall zu absorbieren vermag und zwar vor allem auch tiefe Frequenzen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch einen Schallabsorber gelöst, der die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Schallabsorber bereitgestellt, der eine Mehrzahl an porösen Schichten oder Bereichen aufweist. Zwischen den porösen Schichten oder Bereichen verbleiben keine Luftspalte. Der Übergang von einer porösen Schicht zu einer benachbarten porösen Schicht geht mit einem Impedanzsprung einher. Dies bedeutet, dass die Eingangsimpedanz bzw. der Eingangswiderstand eines porösen Bereiches sich von der Eingangsimpedanz eines benachbarten porösen Bereiches derart deutlich unterscheidet, dass hierdurch tiefe Frequenzen unterhalb von 600 Hz, vorzugsweise unterhalb von 500 Hz absorbiert werden. Insbesondere wird

Schall mit einer Frequenz von weniger als 600 Hz zu wenigstens 50%, vorzugsweise zu wenigstens 80% absorbiert.

In einer Ausführungsform der Erfindung wird so erreicht, dass wenigstens 50% des Schalls mit Frequenzen im besonders interessierenden Bereich zwischen ca. 200 bis ca. 700 Hz absorbiert wird, vorzugsweise wenigstens 80%. Diese Angabe bezieht sich durchgehend auf den gesamten genannten Frequenzbereich. Vorzugsweise wird Schall mit sämtlichen hörbaren Frequenzen ab 250 Hz zu wenigstens 80% absorbiert. Insbesondere gelingt dies selbst mit einem nur maximal 10 cm dicken, flächig an einer Wand oder Decke angebrachten anspruchsgemäßen Absorber.

Abgesehen von einem Gehäuse für die porösen Schichten bzw. Bereiche umfasst der anspruchsgemäße Absorber in einer Ausführungsform keine weiteren Bauteile wie Platten und dergleichen.

Ist die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in einer porösen Schicht anders im Vergleich zur angrenzenden porösen Schicht, so liegt ein Impedanzsprung vor.

Eine unterschiedliche Schallausbreitungsgeschwindigkeit in verschiedenen porösen Schichten bzw. ein unterschiedlicher Eingangswiderstand liegt regelmäßig dann vor, wenn die Dichten, die Strömungswiderstände oder die Porositäten von zwei porösen Schichten oder Bereichen unterschiedlich sind. Unterscheidet sich eine poröse Schicht von einer anderen porösen Schicht nur durch die Dichte, Porosität oder den Strömungswiderstand, so weisen die beiden porösen Schichten zwingend einen unterschiedlichen Eingangswiderstand auf. Weitere Parameter wie Stauchhärte und Zugfestigkeit einer porösen Schicht wirken sich ebenfalls auf die Eingangsimpedanz aus.

Je größer ein Impedanzsprung ist, um so tiefer sind die Frequenzen, die als Folge des Impedanzsprungs absorbiert werden. Von Bedeutung sind also die

Grenzflächen zwischen den unterschiedlichen, porösen Schichten, die mit sprunghaften Änderungen der Eingangswiderstände einhergehen.

Zwar wird ein thermischer Reibungseffekt im porösen Material erwünscht und zwar vor allem, um auch höhere Frequenzen zu absorbieren. Der thermische Reibungseffekt, der die Grundlage bei konventionellen porösen Schallabsorbern bildet, ist erfindungsgemäß aber nur eine Säule des absorptiven Wirkungsmechanismus. Es wird vor allem auch der in der Physik als Brechung bekannte Effekt ausgenutzt. An der Grenzschicht zwischen zwei Materialien unterschiedlicher Eingangswiderstände beispielsweise aufgrund einer unterschiedlichen Dichte oder unterschiedlicher Strömungswiderstände kommt es zu einem Impedanzsprung. Dies führt zu einem Phasensprung der Schallwelle, so dass ein Schallabsorptionseffekt ermöglicht wird. Bei häufig wechselnden Übergängen und porösen Materialien mit jeweils geeignet unterschiedlichen Eingangswiderständen können im Gegensatz zu ausschließlich porösen Schichten mit homogenen oder stetig steigenden Eingangswiderständen deutlich höhere Schallabsorptionsgrade im Bereich tiefer Frequenzen - insbesondere zwischen auch zwischen 200 Hz und 700 Hz - erzielt werden.

Ein Absorber gemäß der vorliegenden Erfindung besteht also aus wenigstens zwei, vorzugsweise aus wenigstens drei porösen Schichten oder Bereichen, die unterschiedlich sind. Wesentlich ist, dass die Grenzschicht zwischen den Schichten oder Bereichen so sind, dass diese mit einem Impedanzsprung verbunden sind. Die Impedanzsprünge sind geeignet groß zu wählen, um tiefe Frequenzen gut absorbieren zu können.

Ein Impedanzsprung darf allerdings nicht so groß sein, dass Schall nicht mehr von dem einen Material in das andere Material gelangt. Regelmäßig wird ein großer Impedanzsprung erreicht, wenn die Dichten von zwei aneinander grenzenden, porösen Schichten oder Bereichen sich stark unterscheiden und zwar vorzugsweise um wenigstens 20 kg/m^3 oder wenn sich die Strömungswiderstände stark unterscheiden und zwar vorzugsweise um wenigstens 5 $kPa \cdot s/m^2$.

Mit der vorliegenden Erfindung wird der Gedanke verlassen, ein Frequenzspektrum gleichmäßig absorbieren zu wollen. Problematisch sind die tiefen Frequenzen. Hohe Frequenzen zu absorbieren, ist relativ einfach und preiswert möglich. Durch den oder die Impedanzsprünge kann erreicht werden, dass tiefe Frequenzen besonders gut absorbiert werden können. Je größer ein Impedanzsprung ist, um so tiefere Frequenzen können absorbiert werden.

Das Vorsehen eines Impedanzsprungs steht im Widerspruch zu den aus dem Stand der Technik bekannten herrschenden Meinungen: Demnach ist bei unterschiedlichen, porösen Materialien auf möglichst geringe Unterschiede von Eingangsimpedanzen zu achten, um Reflexionen an Grenzschichten zu minimieren, um so zu guten Absorptionsergebnissen zu gelangen.

Bevorzugt besteht ein Schallabsorber nach der vorliegenden Erfindung aus mehreren verschiedenen porösen Schichten oder Bereichen, so dass unterschiedlich große Impedanzsprünge auftreten. So wird erreicht, dass tiefe Frequenzen breitbandig absorbiert werden. Gibt es mehrere verschiedene Schichten mit Grenzschichten, die stets den gleichen Impedanzsprung zeigen, so wird der Absorptionseffekt in Bezug auf eine Frequenz bzw. ein schmales Frequenzband verstärkt. Gibt es unterschiedliche Impedanzsprünge, also Impedanzsprünge, die unterschiedlich groß sind, so wird das Spektrum verbreitert, welches infolge der Impedanzsprünge absorbiert wird.

Es ist so möglich, tiefe Frequenzen und zwar vor allem auch die besonders interessierenden Frequenzen von ca. 200 bis ca. 700 Hz mit einem lediglich 10 cm dicken System gut zu absorbieren. Da im Übrigen übliches poröses Material bereitgestellt wird, werden auch höhere Frequenzen durch einen anspruchsgemäßen Schallabsorber gut absorbiert. Insgesamt gelingt so eine breitbandige Schallabsorption, mit der vor allem auch die tiefen Frequenzen selbst bei Bautiefen von lediglich 10 cm absorbiert werden.

Als besonders geeignetes poröses Material haben sich PU-Schäume herausgestellt, die unterschiedlich porös und unterschiedlich dicht sind. Es können auch halbgeschlossen PU-Schäume eingesetzt werden. Ein halbgeschlossenes poröses Material weist offene sowie geschlossene Poren auf. Es handelt sich vor allem um PU-Schäume auf Basis von Polyester oder Polyether mit variabler Zellstruktur, Stauchhärte, Dichte, Luftdurchlässigkeit und Zugfestigkeit.

Besonders bevorzugt werden lediglich Schäume, nicht aber faserige Materialien zur Bereitstellung von porösem Material eingesetzt. Schäume weisen den Vorteil auf, eine starre Skelettstruktur zu haben. Liegt insgesamt eine solche starre Skelettstruktur vor, so wird diese zusätzlich zur Schwingung angeregt. Dies bewirkt eine zusätzliche Absorption.

Von Vorteil ist es, zunächst poröses Material mit einem relativ hohen Eingangswiderstand dort vorzusehen, wo der Schall in den Absorber eintritt. Ein solcher Eintrittsbereich umfasst in der Regel Öffnungen, durch die der Schall in das poröse Material hinein gelangen kann. Der Eintrittsbereich kann durch eine Platte oder Folie mit Löchern oder eine Perforierung gebildet sein. Hieran grenzt das Material mit dem relativ großen Eingangswiderstand an. Dahinter gibt es dann einen oder mehrere poröse Bereiche mit niedrigerem Eingangswiderstand.

Beispielsweise weist ein Schallabsorber aus diesem Grund eingangs des Absorbers ein halbgeschlossenes poröses Material auf. Vollständig offenporige Materialien sind dann räumlich hinter dem halbgeschlossenen porösen Material angeordnet. Die angestrebte Absorption von tiefen Frequenzen wird so besonders gut erreicht.

Die verschiedenen porösen Schichten oder Bereiche sind beim anspruchsgemäßen Schallabsorber vorzugsweise aneinander gepresst. Um die porösen Schichten oder Bereiche aneinander zu pressen, werden diese beispielsweise in einem entsprechend dimensionierten Kasten oder Gehäuse untergebracht. Der Kasten bzw. das Gehäuse wird an einer Eintrittsseite für

Schall mit einer porösen oder löchrigen Fläche verschlossen. Die porösen Schichten befinden sich dann unter Druck und damit gepresst in dem Kasten.

Durch den Pressdruck wird erreicht, dass die Skelettstrukturen der einzelnen porösen Schichten gegeneinander schwingen. Hierdurch wird ein zusätzlicher Schallabsorptionseffekt erzielt.

Um die Schallabsorption weiter zu optimieren, wird ein Kasten oder Gehäuse vorgesehen, der bzw. das nicht nur von einer Frontseite, sondern auch seitlich akustisch durchlässig ist, so dass Schall auch seitlich leicht in das poröse Material eindringen kann. So werden Kantenbeugungseffekte ausgenutzt, die zusätzlich für eine Absorption sorgen. Die Schallabsorption wird so weiter optimiert.

Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform der Erfindung, bei der in einem Kasten oder Gehäuse vorne und seitlich Löcher für das Eindringen von Schallwellen vorgesehen sind. Insbesondere in einem solchen Fall werden bevorzugt poröse Schichten nicht nur übereinander gestapelt, sondern auch seitlich gegen ein bereits vorhandenes Schichtsystem. Hier wird wiederum auf große Impedanzsprünge geachtet. Dadurch wird erreicht, dass Schall, der seitlich in eine Box eindringt, nicht nur aufgrund von Kantenabsorption absorbiert wird, sondern eben auch infolge von Phasensprüngen an Grenzschichten.

In einer Ausführungsform der Erfindung besteht das poröse System aus einer Vielzahl von Würfeln, Quadern oder dergleichen, die nebeneinander und übereinander liegen. Die Materialien der Würfel etc. sind so gewählt, dass große Impedanzsprünge zwischen den Grenzschichten im Sinne der vorliegenden Erfindung zumindest regelmäßig vorhanden sind. So wird erreicht, dass Schall, der sich durch das poröse Material bewegt, ständig mit großen Impedanzsprüngen konfrontiert wird. Unabhängig davon, unter welchem Winkel oder von welcher Seite Schall in den Absorber eindringt, so passiert dieser in jedem Fall Grenzschichten mit großen Impedanzsprüngen.

Dies erlaubt variable Geometrien des Absorbers. Seine Form kann dann auch an die Form von Nischen und dergleichen angepasst werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert.

Figur 1 soll verdeutlichen, warum poröse Absorber nach dem Stand der Technik über eine hohe Bautiefe verfügen müssen, um auch tiefe Frequenzen zufriedenstellend absorbieren zu können. Die punktierte Linie a) zeigt die Wellenlänge einer Schallwelle mit tiefer Frequenz, die nach Passieren einer porösen Schicht 1 auf eine Raumbegrenzungsfläche 2 trifft. Das Schallschnellemaximum liegt außerhalb der als Schallabsorber wirkenden porösen Schicht 1. Die tiefe Frequenz wird kaum absorbiert. Bei höheren Frequenzen bzw. kürzeren Wellenlängen liegt schließlich das Schnellemaximum 3 innerhalb der porösen Schicht 1, wie die gestrichelte Linie b) verdeutlicht. Schall mit der Wellenlänge b) wird daher optimal absorbiert. Hieran wird deutlich, dass ein poröser Absorber sehr dick sein bzw. eine große Bautiefe aufweisen muss, wenn die Absorption lediglich auf der Porosität des Materials 1 beruht und auch tiefe Frequenzen absorbiert werden sollen.

Figur 2 zeigt eine erste Ausführungsform. Im vorderen Eintrittsbereich für Schall ist eine poröse Absorberschicht 1a (also ein Bereich aus porösem Material) mit großen offenen Poren vorhanden. Der Eingangswiderstand ist daher klein. Dahinter und seitlich befindet sich eine poröse Absorberschicht 1b mit kleinen Poren. Der Eingangswiderstand dieser Absorberschicht ist groß. Zwischen der vorderen Schicht 1a und der dahinter liegenden Schicht 1b tritt daher ein Impedanzsprung auf, mit dem eine Absorption von tiefen Frequenzen unterhalb von 500 Hz erzielt wird. In Richtung Wand ist hinter der Schicht 1b mit den kleinen Poren wieder eine Schicht 1a vorhanden, die große Poren aufweist. Hieran schließt sich eine Schicht 1c mit mittelgroßen Poren und einem mittelgroßen Eingangswiderstand an. Dahinter befindet sich wiederum eine Schicht 1b, die kleine Poren aufweist und die an eine Wand 2 angrenzt. Es gibt damit vier Impedanzsprünge in horizontaler und zwei Impedanzsprünge in vertikaler Richtung. Sämtliche Impedanzsprünge

bewirken eine Absorption tiefer Frequenzen zwischen 100 und 500 Hz. Mit einem derartigen Aufbau ist es daher möglich, auch tiefe Frequenzen von 100 Hz bis 500 Hz gut absorbieren zu können.

Figur 3 zeigt einen anderen Aufbau der verschiedenen vorgenannten porösen Schichten 1a, 1b und 1c, die gegen eine Wand 2 durch ein nicht dargestelltes Gehäuse gepresst sind. In solchen Fällen genügt aber zur Anbringung bereits eine Platte, die beispielsweise mit Hilfe von Stangen in der Wand verankert ist. Soll wie im Fall der Figur 3 Schall durch die Platte hindurch eintreten können, so ist die Platte mit Bohrungen versehen. Die porösen Schichten sind ausschließlich parallel zur Wand 2 angeordnet. Der Eintrittsbereich beginnt mit einer Schicht 1b, die mit kleinen Poren versehen ist und einen größeren Eingangswiderstand bzw. Eingangsimpedanz aufweist im Vergleich zu den dahinter in Richtung Wand angeordneten Schichten 1a und 1c.

Figur 4 zeigt eine weitere mögliche Ausführungsform. Die verschiedenen porösen Schichten 1a, 1b und 1c liegen horizontal übereinander und sind gegen eine Wand 2 gepresst. In diesem Fall ist es günstig, wenn der Schall (auch) von oben und/ oder unten in die porösen Schichten eintreten kann, da dann der Schall besonders zuverlässig durch viele verschiedene Grenzschichten mit Impedanzsprüngen hindurch geleitet wird. Eine derartige Ausführungsform ist zu bevorzugen, wenn ein Schallabsorber beispielsweise hinter einem Gegenstand wie einem Schrank platziert werden soll, da bei einer derartigen Anordnung ein Eintritt von vorne durch den Gegenstand behindert wird.

Figur 5 zeigt eine Ausführungsform, bei der der absorbierende Bereich aus einer Vielzahl von porösen Rechtecken 1a, 1b und 1c besteht, die übereinander und nebeneinander so angeordnet sind, dass in jeder Richtung eine Mehrzahl von Impedanzsprüngen auftritt. Unabhängig davon, von welcher Seite Schall eintritt, so durchläuft dieser in jedem Fall eine Mehrzahl von Grenzschichten, an denen Impedanzsprünge auftreten, die zur Absorption von tiefen Frequenzen führen. Auch ein solcher Aufbau ist für

eine Unterbringung in Nischen besonders gut geeignet. Ein entsprechendes Gehäuse, in dem sich die porösen Rechtecke befinden, ist dann vorzugsweise so gestaltet, dass Schall von vorne, von beiden Seiten, von oben und von unten in das Gehäuse hinein gelangen kann. Es kann aber auch wieder eine verankerte Platte genügen, um die porösen Bereiche zu fixieren und optisch abzuschirmen.

Figur 6 verdeutlicht eine besonders bevorzugte Ausführungsform, die hinter einem Schrank 4 angeordnet ist. Die verschiedenen porösen Bereiche 1a, 1b und 1c sind vertikal ausgerichtet, grenzen an eine Wand 2 an und reichen bis zum Boden, auf dem der Schrank 4 steht. Dringt Schall seitlich wie durch die Pfeile 5 angedeutet in die porösen Bereiche 1a, 1b oder 1c ein, so durchläuft der Schall Grenzflächen mit Impedanzsprüngen, die die Absorption von tiefen Frequenzen bewirken. Dringt der Schall von oben entlang des Pfeiles 6 ein, so durchläuft Schall zwar nicht zwangsläufig Grenzflächen mit Impedanzsprüngen. Dafür ist die Strecke bis zum Erreichen des Boden sehr lang, so dass dann aus diesem Grund tiefe Frequenzen absorbiert werden. Bei einem solchen Aufbau kann ein besonderes Gehäuse entfallen, da die porösen Bereiche an der Rückseite des Schranks befestigt werden können.

Der anspruchsgemäße Schallabsorber wird beispielsweise im modernen Innenausbau verwendet. Insbesondere im Zeitalter des gestiegenen Kommunikationsbedarfs und hoher Telekommunikation ist die menschliche Sprache als Hauptstörfaktor für die Leistungsminderung am Arbeitsplatz verantwortlich. Die Optimierung der Raumakustik von Büro- Verwaltungs- oder Großraumbüros muss daher unter den Aspekten des menschlichen Sprachspektrums erfolgen.

Figur 7a zeigt hierbei das typische männliche und weibliche Sprachspektrum des Menschen auf. Es wird deutlich, dass hohe Schalldruckpegel im Frequenzbereich zwischen ca.100 und ca. 700 Hz auftreten, welche mit dem erfindungsgemäßen Absorber bereits bei Bautiefen von 20 cm, aber auch von lediglich 10 cm umfangreich gedämpft werden können.

Figur 7b verdeutlicht die Wahrnehmung des menschlichen Spektrums in Abhängigkeit von der Mithörschwelle von 60 dB. Demnach kommt es bei vor allem in Räumen, in denen Schall durch menschliche Stimmen erzeugt wird wie in Großraumbüros oder Banken darauf an, Schall mit Frequenzen ab ca. 200 Hz bis wenigstens ca. 700 Hz umfangreich absorbieren zu können. Dies leistet der anspruchsgemäße Absorber und ist in diesem besonders interessierenden Frequenzbereich sogar einem Plattenresonator überlegen.

Figur 8 zeigt eine Ausführungsform, bei der die verschiedenen porösen Schichten 1a, 1b, 1c auf einer perforierten, abgehängten Unterdecke 7 aufliegen, die unterhalb einer Decke 8 mit Aufhängungen 9 befestigt ist.

Aufgrund der schlanken Bautiefe kann der Schallabsorber in Trennwände, aber auch an Frontseiten von Möbelstücken besonders unauffällig eingebaut werden. Er kann an Wänden oder Decken angebracht sein, so zum Beispiel hinter gelochten Platten, die an der Wand oder Decke befestigt sind und die die verschiedenen porösen Bereiche gegen eine Wand oder eine Decke pressen. Er kann in Sturzbereichen oder Gebäudenischen eingebaut sein, da seine Form sehr variabel an den zur Verfügung stehenden Raum angepasst werden kann. Er kann sehr unauffällig hinter thermisch funktionellen Wand- oder Deckenelementen untergebracht sein.

Figur 9 zeigt Ergebnisse, die mit einem erfindungsgemäßen Schallabsorber erzielt wurde im Vergleich zu einem Plattenresonator. Die Messungen wurden in einem Hallraum mit statistischem Schalleinfall nach DIN EN ISO 354 durchgeführt. Beim statistischen Schalleinfall geht man davon aus, dass der auf ein Messmikrofon oder auf eine Begrenzungsfläche auftreffende Schalldruck von allen Einfallswinkeln gleich groß und zudem ortsunabhängig ist.

Beide Schallabsorber wurden bei gleichen Abmessungen und unter gleicher Raumpositionierung untersucht. Auch die Anzahl und Positionen der Mikrofone zur Mittelung der Nachhallzeiten wurden gleich belassen. Somit

sind relative Messfehler, z.B. aufgrund von Eigenmoden des Raumes nahezu ausgeschlossen und ein direkter Vergleich der Schallabsorber möglich.

Die Kurve a) zeigt das gemessene Ergebnis für einen Plattenresonator mit poröser Deckschicht, dessen Aufbau in Figur 10 gezeigt wird. Der in Figur 10 gezeigte Plattenresonator umfasst eine poröse Deckschicht 10 mit einer Dicke von 0,03 m, einem längenspezifischen Strömungswiderstand von 4,7 kPas/m^2 und einer Dichte von 20 kg/m^3. Unterhalb der Deckschicht 10 befindet sich eine Metallplatte 11 mit einer Dicke von 0,001 m und einer Dichte von 7800 kg/m^3. Unterhalb der Metallplatte ist eine poröse Schicht 12 mit einer Dicke von 0,07 m, einem längenspezifischen Strömungswiderstand von 11,5 kPas/m^2 und einer Dichte von 40 kg/m^3 angeordnet. Die poröse Schicht 12 grenzt an einer schallharten Wand 13 an.

Die andere in Figur 9 gezeigte Kurve bezieht sich auf einen erfindungsgemäßen Schallabsorber, dessen grundsätzlicher Aufbau in Figur 11 gezeigt wird. Der Schallabsorber besteht aus fünf unterschiedlichen porösen Schaumstoffschichten 14, 15, 16, 17 und 18, die an eine schallharte Wand 13 grenzen.

Beide Absorber, also sowohl der Plattenresonator als auch der erfindungsgemäße Absorber waren in einem gleichen Gehäuse 19 untergebracht, welches aus einem Stahlblechrahmen mit kleinperforierter Front bestand.

Die Kurve b) in Figur 9 verdeutlicht die Absorption in Abhängigkeit von der Frequenz für einen anspruchsgemäßen Schallabsorber mit Impedanzsprüngen zwischen den einzelnen Schichten, wobei die einzelnen Schichten 14, 15, 16, 17 und 18 folgende Eigenschaften aufweisen:

14 poröse Schicht mit
Dicke = 0,02 m
Luftdurchlässigkeit > 350 mmWS
Dichte = 76 kg/m^3
Stauchhärte = 9,00 kPa

Zugfestigkeit = 194 kPa

15 poröse Schicht mit
Dicke = 0,02 m
Luftdurchlässigkeit >350 mmWS
Dichte = 76 kg/m^3
Stauchhärte = 4,77 kPa
Zugfestigkeit = 47 kPa

16 poröse Schicht mit
Dicke = 0,02 m
Luftdurchlässigkeit = 320 mmWS
Dichte = 75 kg/m^3
Stauchhärte = 8,81 kPa
Zugfestigkeit = 211 kPa

17 poröse Schicht mit
Dicke = 0,02 m
Luftdurchlässigkeit = 230 mmWS
Dichte = 23 kg/m^3
Stauchhärte = 4,36 kPa
Zugfestigkeit = 131 kPa

18 poröse Schicht mit
Dicke = 0,02 m
Luftdurchlässigkeit 350 mmWS
Dichte = 75 kg/m^3
Stauchhärte = 9,08 kPa
Zugfestigkeit = 195 kPa

Die Luftdurchlässigkeit stellt ein Maß für den Strömungswiderstand dar. Im Unterschied zu den übrigen Schichten handelt es sich bei der Schicht 15 nicht um einen offenporigen Schaum, sondern um einen halbgeschlossenen.

Bei sehr tiefen Frequenzen unterhalb von 140 Hz ist der Plattenresonator (Kurve a) dem erfindungsgemäßen Schallabsorber zwar noch etwas überlegen. Dies ändert sich aber bereits ab Frequenzen von ca. 150 Hz. Im Bereich der größten Sprachlasst ist dagegen der erfindungsgemäße Absorber dem Plattenresonator überlegen und zwar meistens sehr deutlich. Der erfindungsgemäße Absorber kann also nicht nur preiswerter im Vergleich

zum Plattenresonator hergestellt werden. Er ist darüber hinaus auch sehr viel besser geeignet, um in Räumen solchen Schall zu absorbieren, der durch die menschliche Sprache verursacht wird. Durch den erfindungsgemäßen Schallabsorber gelang eine Absorption des Schalls von mehr als 80% auch bei tiefen Frequenzen von weniger als 500 HZ.

Insgesamt wird Schall im interessierenden Frequenzbereich mit dem erfindungsgemäßen Schallabsorber nach Kurve b) am besten absorbiert. Die Herstellungskosten des erfindungsgemäßen Schallabsorbers entsprechend der Kurven b) sind im Vergleich zum Plattenresonator entsprechend Kurve a) deutlich geringer, da keine relativ teure Metallplatte benötigt wird.

Poröse, homogen aufgebaute Schallabsorber mit einer Dicke von 10 cm können im Vergleich dazu nicht annähernd so gute Absorptionswerte erreichen wie der untersuchte Plattenresonator gemäß Kurve a) sowie der erfindungsgemäße Schallabsorber gemäß Figur b).

Ansprüche

1. Schallabsorber mit porösem Material zur Dämmung von Schall, gekennzeichnet durch aneinander grenzende Bereiche (1a, 1b, 1c) des porösen Materials, die sich durch unterschiedliche Eingangsimpedanzen, durch unterschiedliche Schallausbreitungsgeschwindigkeiten, unterschiedliche Dichten, unterschiedliche Porositäten und/ oder unterschiedliche Strömungswiderstände unterscheiden und/ oder bei denen es einen Impedanzsprung zwischen zwei aneinander grenzenden Bereichen (1a, 1b, 1c) gibt.

2. Schallabsorber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Dichten von zwei aneinander grenzenden Bereichen (1a, 1b, 1c) des porösen Materials um wenigstens 20 Kilogramm/Kubikmeter und/oder sich die Strömungswiderstände von zwei aneinander grenzenden Bereichen (1a, 1b, 1c) des porösen Materials um wenigstens 5 Kilopascal·Sekunde/ Quadratmeter unterscheiden.

3. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die aneinander grenzenden, aus porösem Material gebildeten Bereiche (1a, 1b, 1c) so sind, dass es wenigstens zwei verschiedene Grenzflächen zwischen den Bereichen (1a, 1b, 1c) gibt, die unterschiedlich große Impedanzsprünge aufweisen.

4. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bautiefe des Schallabsorbers kleiner als 20 cm, vorzugsweise kleiner als 10 cm ist.

5. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse Material durch Schaumstoffe und zwar bevorzugt durch PU-Schaumstoffe gebildet ist.

6. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bereich benachbart zum Eintrittsbereich für Schall in den Schallabsorber hinein einen höheren Strömungswiderstand aufweist im Vergleich zu einem angrenzenden, dahinter liegenden porösen Bereich, der weiter entfernt vom Eintrittsbereich für Schall angeordnet ist.

7. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die porösen Bereiche (1a, 1b, 1c) aneinander gepresst sind.

8. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Eintrittsbereich für Schall durch eine Frontseite sowie durch weitere seitliche Eintrittsbereiche für Schall, wobei der Eintrittsbereich durch die Frontseite vorzugsweise durch eine gelochte Platte gebildet ist.

9. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedliche Bereiche (1a, 1b, 1c), die aus porösem Material bestehen, übereinander sowie nebeneinander angeordnet sind.

10. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von einem Eintrittsbereich für Schall in den Schallabsorber hinein bis zur gegenüberliegenden Begrenzungsfläche des Schallabsorbers der Strömungswiderstand nicht stetig ansteigt.

11. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass kein Luftspalt zwischen zwei aneinandergrenzenden grenzenden Bereichen (1a, 1b, 1c) des porösen Materials verbleibt.

12. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse Material (1a, 1b, 1c) offene Poren und/

oder halbgeschlossene Poren umfasst.

13. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieser hinter einem Schrank (4) angeordnet ist.

14. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die verschiedenen porösen Bereiche (1a, 1b, 1c) vertikal hinter einem Möbelstück (4) von der Oberseite des Möbelstücks bis zum Boden verlaufen und Schall von oben und von der Seite in diese Bereiche eindringen kann.

15. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieser auf einer abgehängten Unterdecke (7) aufliegt.

16. Schallabsorber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die vorhandenen Impedanzsprünge so groß sind, dass Schall mit Frequenzen unterhalb von 600 Hz, vorzugsweise unterhalb von 500 Hz zu wenigstens 50%, vorzugsweise zu wenigstens 80% absorbiert wird.

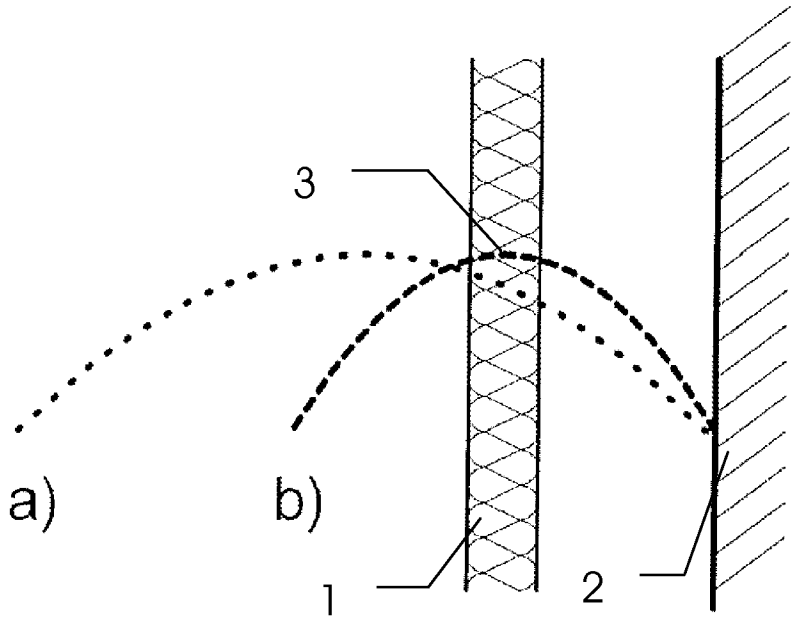


Fig. 1

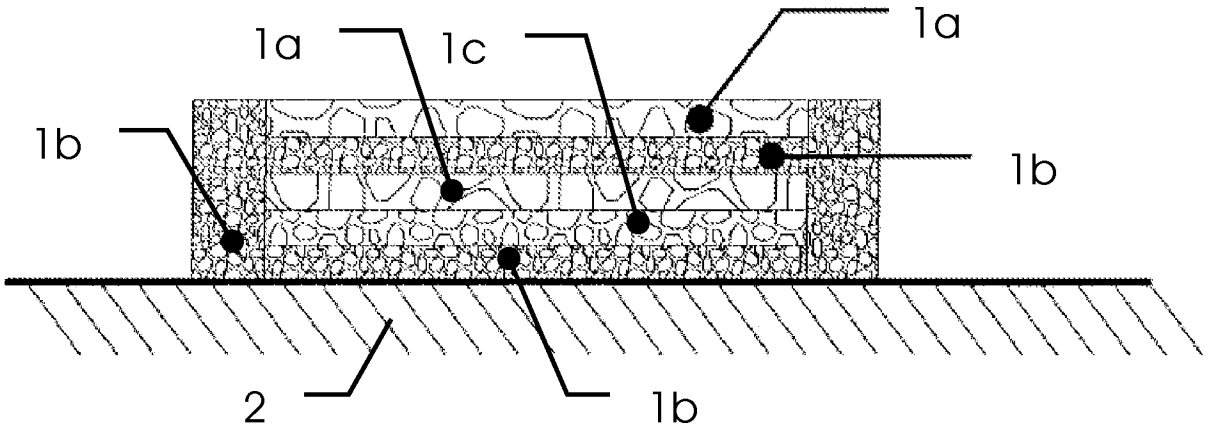


Fig. 2

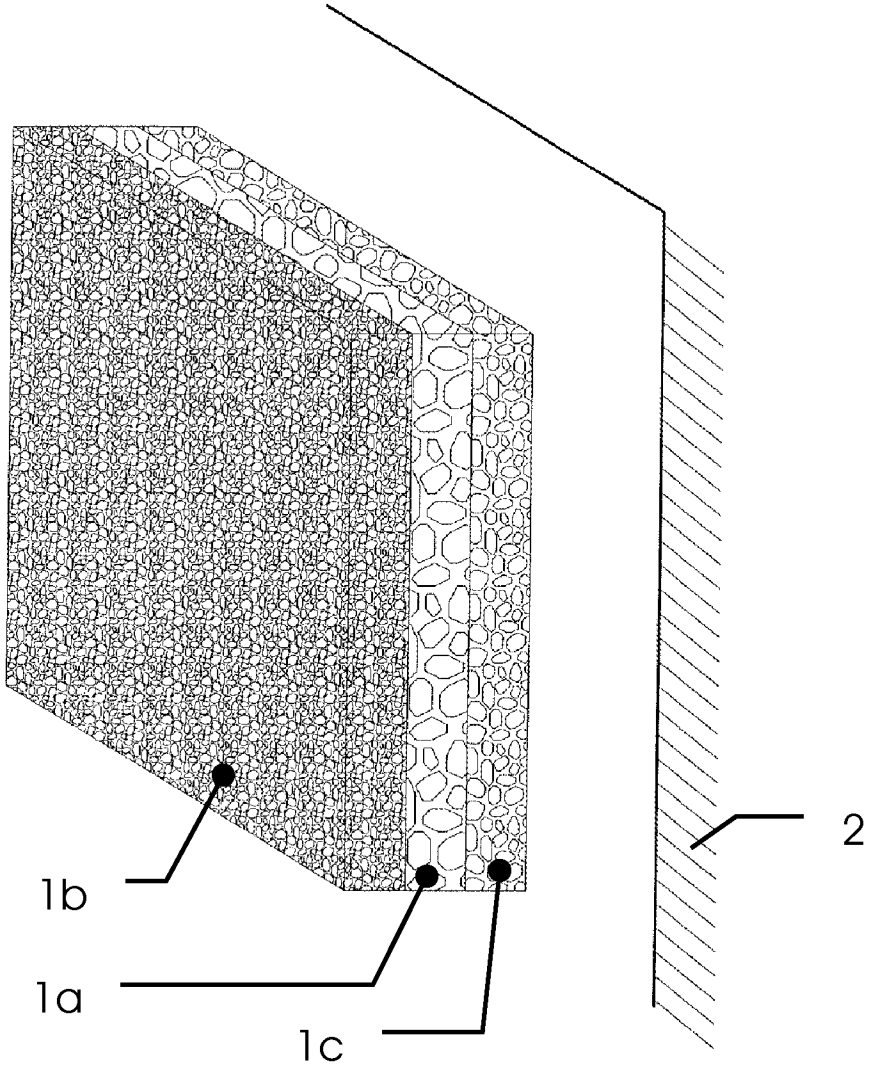


Fig. 3

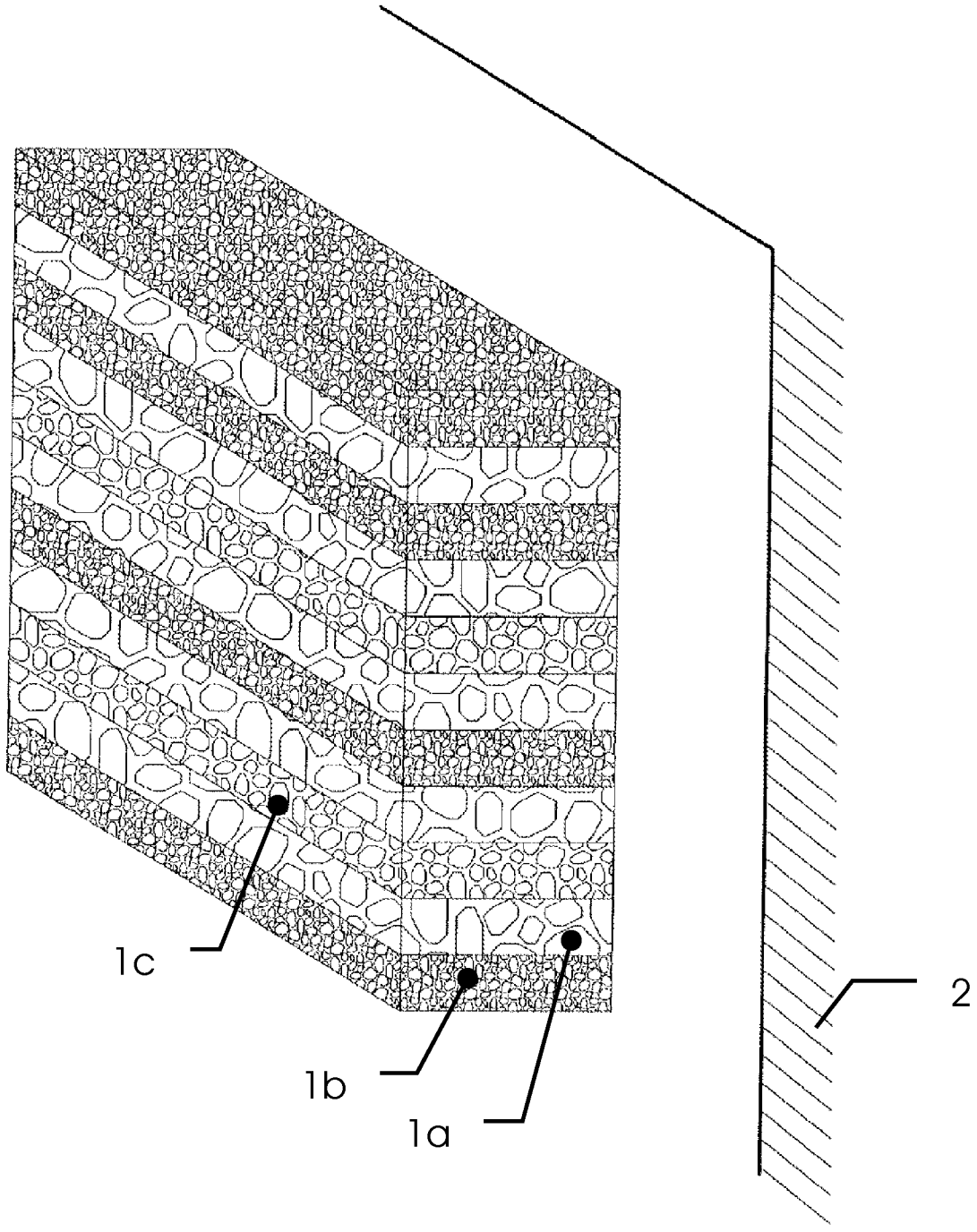


Fig. 4

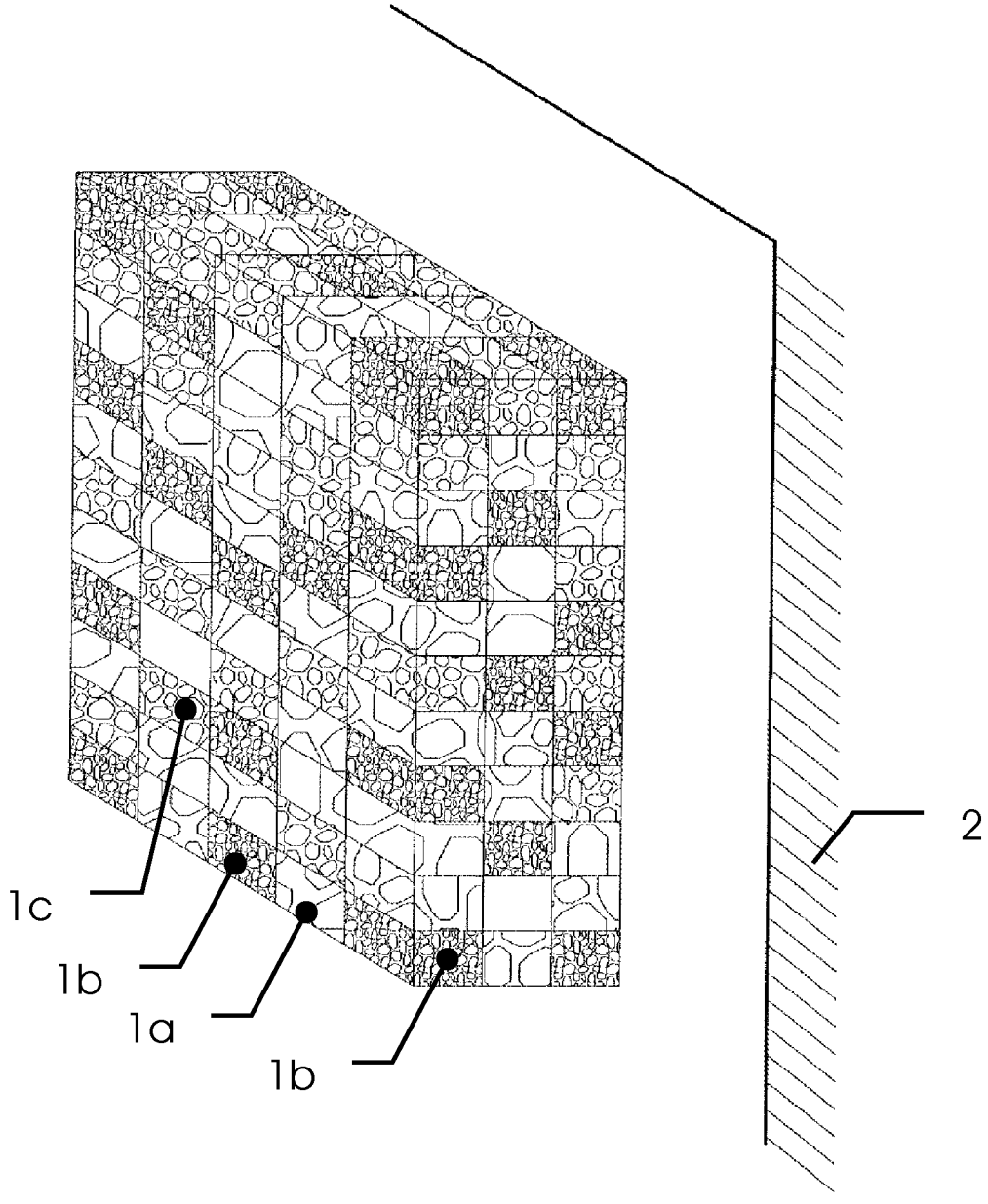


Fig. 5

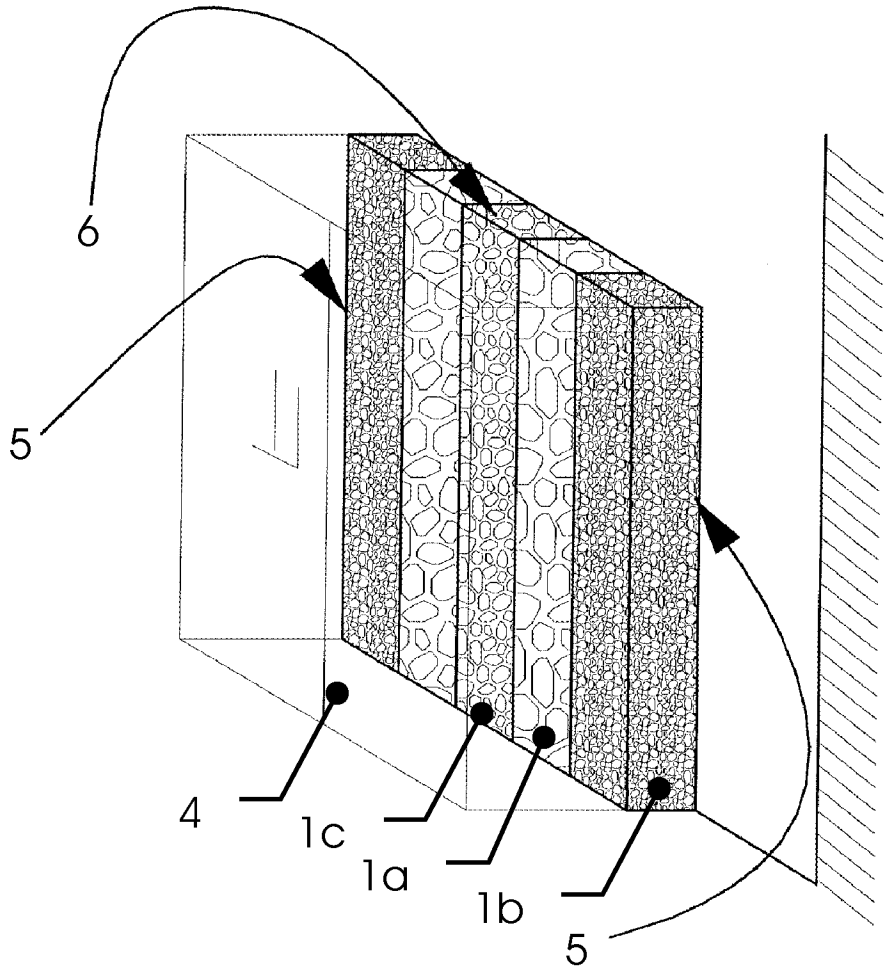


Fig. 6

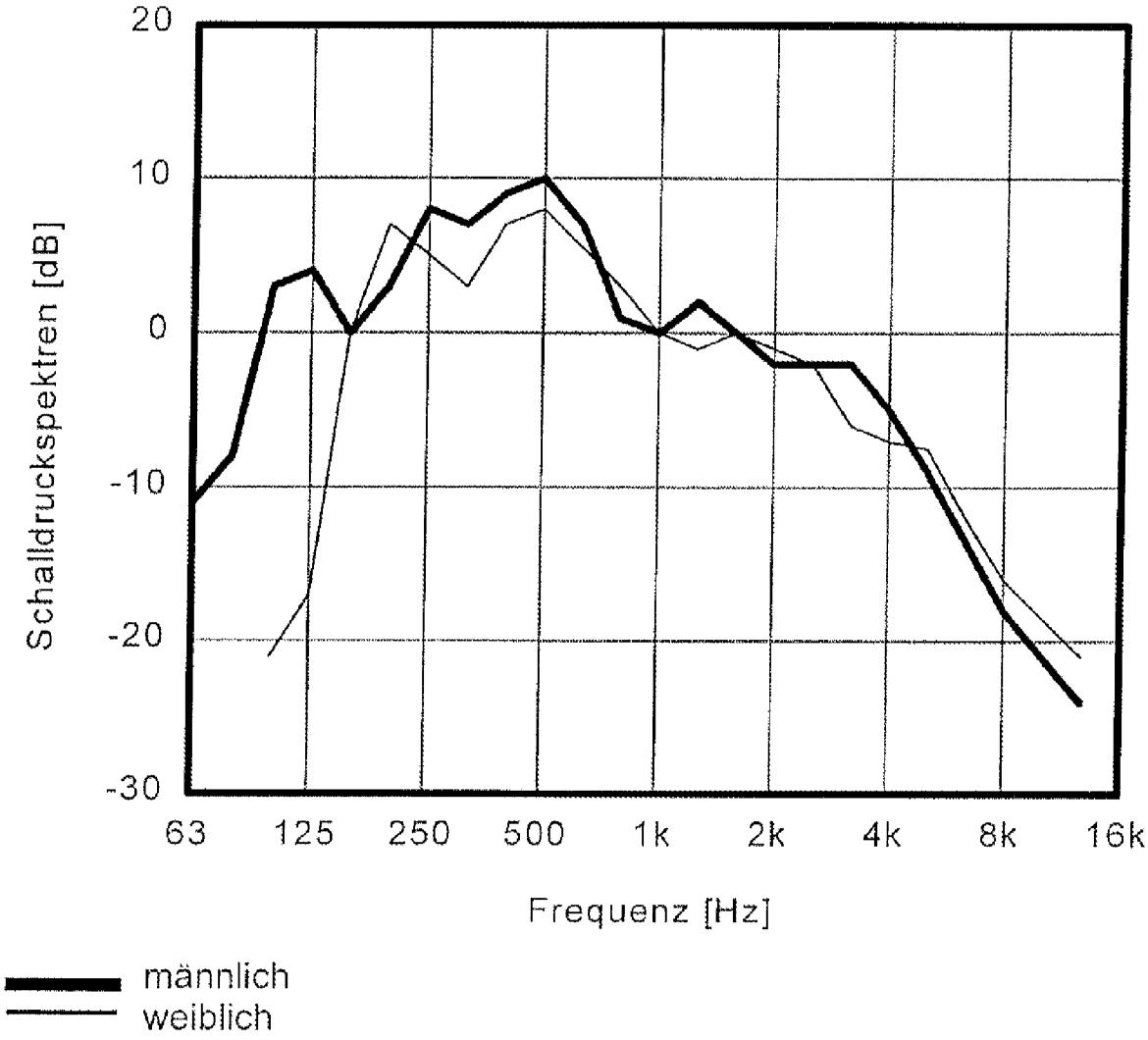

20
10
0
-10
-20
-30
Schalldruckspektren [dB]
63
125
250
500
1k
2k
4k
8k
16k
Frequenz [Hz]
männlich
weiblich

Fig. 7a

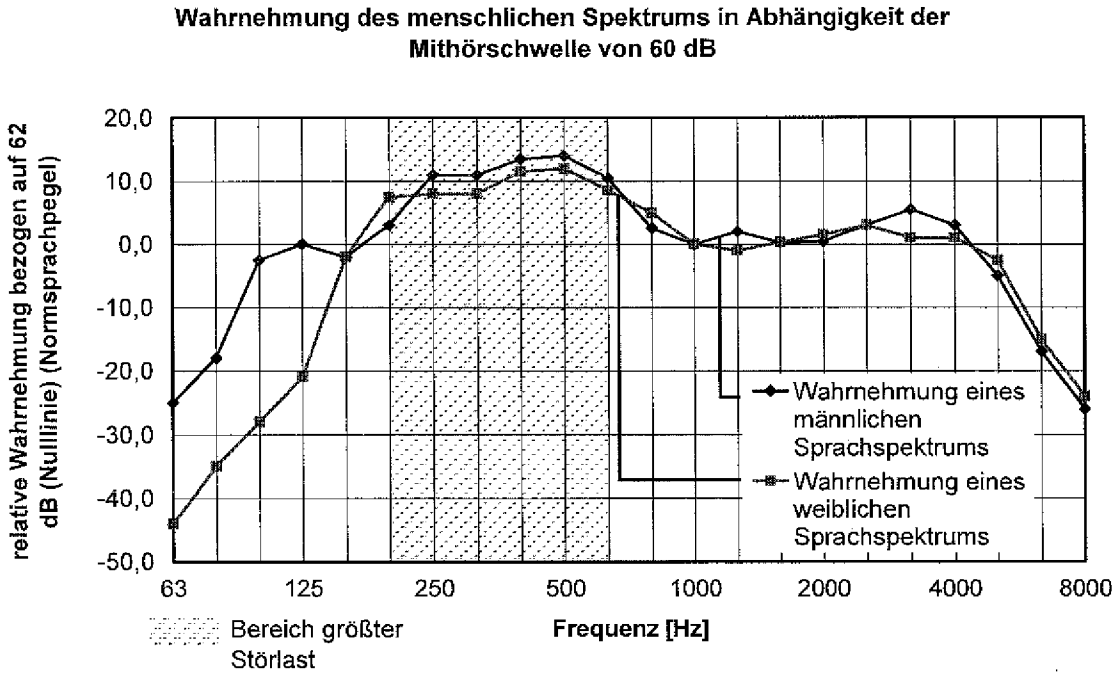

Wahrnehmung des menschlichen Spektrums in Abhängigkeit der Mithörschwelle von 60 dB
relative Wahrnehmung bezogen auf 62 dB (Nulllinie) (Normsprachpegel)
20,0
10,0
0,0
-10,0
-20,0
-30,0
-40,0
-50,0
63
125
250
500
1000
2000
4000
8000
Frequenz [Hz]
Wahrnehmung eines männlichen Sprachspektrums
Wahrnehmung eines weiblichen Sprachspektrums
Bereich größter Störlast

Fig. 7b

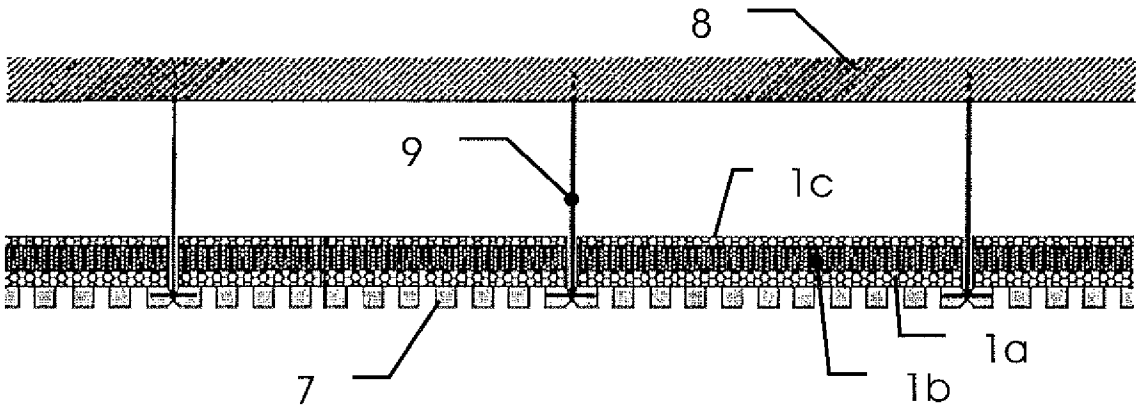

8
9
1c
1a
1b
7

Fig. 8

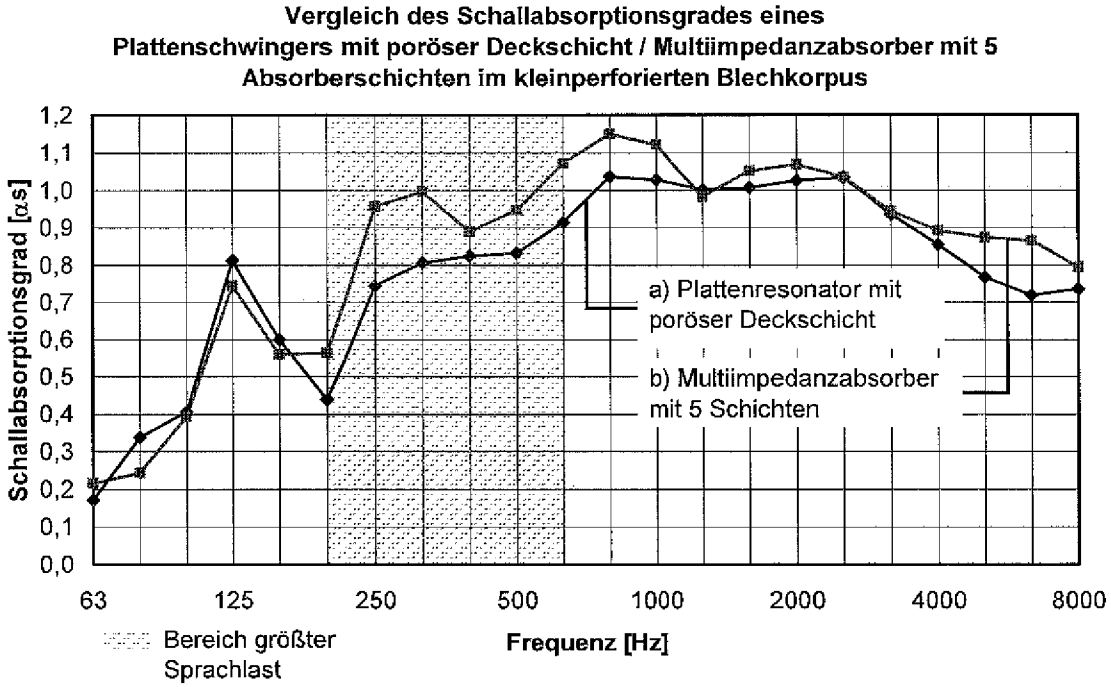

Vergleich des Schallabsorptionsgrades eines Plattenschwingers mit poröser Deckschicht / Multiimpedanzabsorber mit 5 Absorberschichten im kleinperforierten Blechkorpus
Schallabsorptionsgrad [αs]
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
63
125
250
500
1000
2000
4000
8000
Frequenz [Hz]
a) Plattenresonator mit poröser Deckschicht
b) Multiimpedanzabsorber mit 5 Schichten
Bereich größter Sprachlast

Fig. 9

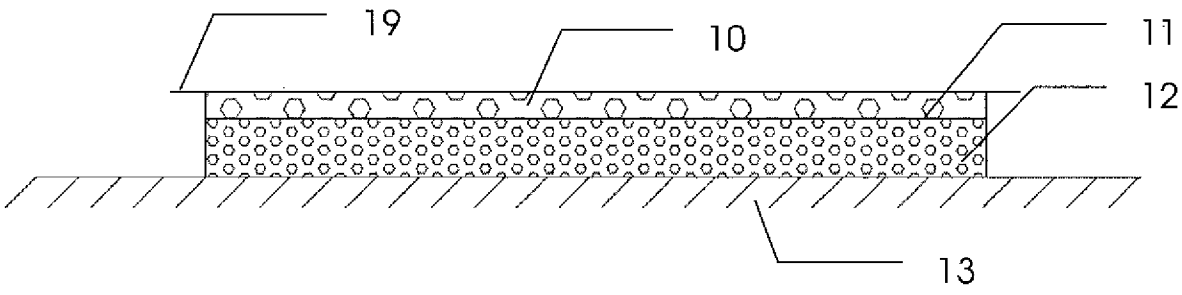

19
10
11
12
13

Fig. 10

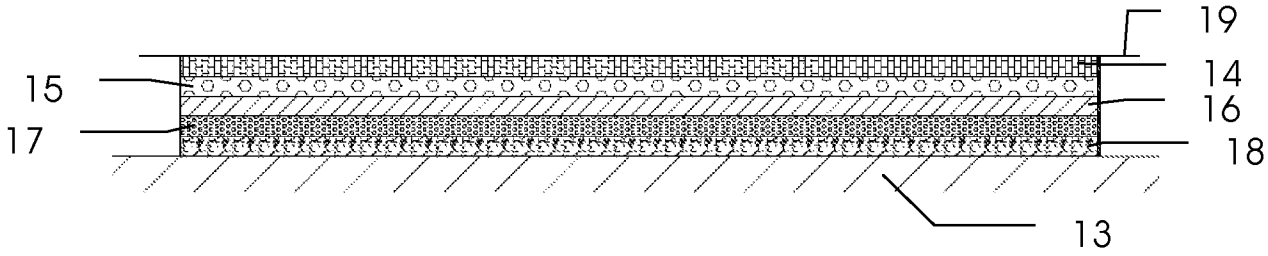


Fig. 11