



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 647 575 A5

⑤① Int. Cl.4: E 04 B 1/86

// G 10 K 11/16

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑫① Gesuchsnummer: 4010/80

⑫② Anmeldungsdatum: 22.05.1980

⑫③ Priorität(en): 23.05.1979 DE 2921050

⑫④ Patent erteilt: 31.01.1985

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.01.1985

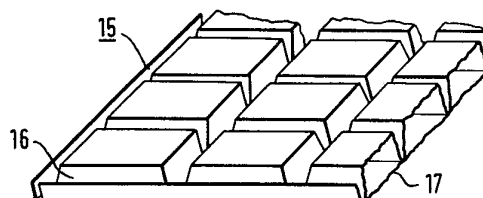
⑫⑦ Inhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., München 19 (DE)

⑫⑧ Erfinder:
Kiesewetter, Norbert, Stuttgart 75 (DE)
Lakatos, Bertalan, Stuttgart 70 (DE)

⑫⑨ Vertreter:
Ritscher & Seifert, Zürich

⑫④ Schallabsorbierendes, nur aus mindestens zwei übereinander angeordneten Kunststoff-Folien bestehendes Bauelement.

⑫⑦ Bei diesem Bauelement weist mindestens eine Kunststoff-Folie (15) rastförmig nebeneinanderliegende becherförmige Vertiefungen (16) auf, deren beim Einbau dem Schallfeld auszusetzende Bodenflächen bei Schalleinfall zu verlustbehafteten Schwingungen anregbar sind. Die offenen Ränder der becherförmigen Vertiefungen sind gemeinsam durch eine weitere ebenfalls schwingungsfähige, aber ebene Abdeckfolie (17) abgedeckt, die die in den einzelnen becherförmigen Vertiefungen (16) enthaltenen Luftvolumina luftdicht abschliesst. Zur Verbreiterung des Frequenzumfangs der Schallabsorption und zur Erhöhung des Schallabsorptionsgrades sind die Flächenumrisse und/oder die Flächenstrukturen und/oder die auf die Flächeneinheit bezogenen Flächengewichte der Bodenflächen von unterschiedlichen becherförmigen Vertiefungen (16) und/oder das auf die Flächeneinheit bezogene Flächengewicht der Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen (16) von dem auf die Flächeneinheit bezogenen Flächengewicht des übrigen Materials der die becherförmigen Vertiefungen (16) aufweisenden Kunststoff-Folie verschieden. Dieses Bauelement kann als Auskleidung von umschlossenen Räumen sowie als Verkleidung von Schallschirmen verwendet werden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Schallabsorbierendes, nur aus mindestens zwei übereinander angeordneten Kunststoff-Folien bestehendes Bauelement, bei dem mindestens eine Kunststoff-Folie rasterförmig nebeneinanderliegende becherförmige Vertiefungen aufweist, deren beim Einbau dem Schallfeld auszusetzende Bodenflächen bei Schalleinfall zu verlustbehafteten Schwingungen anregbar sind, wobei die offenen Ränder der becherförmigen Vertiefungen gemeinsam durch eine weitere ebenfalls schwingungsfähige, aber ebene Abdeckfolie abgedeckt sind, die die in den einzelnen becherförmigen Vertiefungen enthaltenen Luftvolumina luftdicht abschliesst, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verbreiterung des Frequenzumfangs der Schallabsorption und zur Erhöhung des Schallabsorptionsgrades die Flächenumrisse und/oder die Flächenstrukturen und/oder die auf die Flächeneinheit bezogenen Flächengewichte der Bodenflächen (1, 2, 3, 5, 11) von unterschiedlichen becherförmigen Vertiefungen (6, 10, 16) und/oder das auf die Flächeneinheit bezogene Flächengewicht der Bodenflächen (1, 2, 3, 5, 11) der becherförmigen Vertiefungen (6, 10, 16) von dem auf die Flächeneinheit bezogenen Flächengewicht des übrigen Materials der die becherförmigen Vertiefungen (6, 10, 16) aufweisenden Kunststoff-Folie (8, 15) verschieden sind.

2. Schallabsorbierendes Bauelement nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die becherförmigen Vertiefungen aus zwei oder mehr Gruppen von jeweils einen langgestreckten Flächenumriss der Bodenflächen (2, 3) aufweisenden Vertiefungen bestehen wobei sich die einzelnen Gruppen von Vertiefungen dadurch voneinander unterscheiden, dass das Verhältnis der Länge (a) bzw. der maximalen Länge zur Breite (b₁, b₂) bzw. zur maximalen Breite der Bodenfläche (2, 3) unterschiedlich ist.

3. Schallabsorbierendes Bauelement nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge (a) bzw. die maximale Länge der Bodenflächen (2, 3) gleich ist, während die Breite (b₁, b₂) bzw. die maximale Breite der Bodenflächen (2, 3) von Gruppe zu Gruppe verschieden ist, oder dass die Breite bzw. die maximale Breite der Bodenflächen (2, 3) gleich ist, während die Länge bzw. die maximale Länge der Bodenflächen (2, 3) von Gruppe zu Gruppe verschieden ist.

4. Schallabsorbierendes Bauelement nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Gruppen von becherförmigen Vertiefungen vorgesehen sind, bei denen das Verhältnis der Länge (a) bzw. der maximalen Länge zur Breite (b₁, b₂) bzw. zur maximalen Breite der Bodenflächen (2, 3) in der einen Gruppe von 1,2:1 bis 2:1 beträgt, während es in der anderen Gruppe von 2,2:1 bis 4:1 beträgt.

5. Schallabsorbierendes Bauelement nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass drei Gruppen vorgesehen sind, bei denen das Verhältnis der Länge (a) bzw. der maximalen Länge zur Breite (b₁, b₂) bzw. zur maximalen Breite in der ersten Gruppe von 1,2:1 bis 2:1, in der zweiten Gruppe von 2,2:1 bis 3:1 und in der dritten Gruppe von 3,2:1 bis 5:1 beträgt.

6. Schallabsorbierendes Bauelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächenumrisse der Bodenflächen (2, 3) Rechtecke, Ellipsen und/oder Rhomboide sind.

7. Schallabsorbierendes Bauelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Folienmaterial der Bodenflächen (2, 3, 5, 11) dünner ist als das Folienmaterial der Seitenwände der Vertiefungen (6, 10) und der Stege zwischen den einzelnen Vertiefungen (6, 10) bzw. zwischen den Seitenwänden benachbarter Vertiefungen (6, 10).

8. Schallabsorbierendes Bauelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass auf

den Bodenflächen (5) der becherförmigen Vertiefungen (6) Körper (4) angebracht sind, wobei die Grösse der Querschnittsfläche jedes der Körper (4) klein gegen die Grösse der Bodenfläche (5) der jeweiligen Vertiefungen (6) ist.

9. Schallabsorbierendes Bauelement nach Patentanspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Körper (4) Kunststoff-Teilchen, insbesondere Kunststoff-Kugeln, sind, die auf den Bodenflächen (5) der becherförmigen Vertiefungen (6) haftend befestigt, insbesondere aufgeschmolzen, sind; oder dass die Körper (4) aus einem Material bestehen, dessen spezifisches Gewicht gross gegenüber dem spezifischen Gewicht des Folienmaterials (8) der becherförmigen Vertiefungen (6) ist, insbesondere aus Metall, Glas, Mineral und/oder Schlacke, und dass sie bevorzugt gerundete Oberflächen aufweisen, wobei die Körper (4) bevorzugt soweit von dem Folienmaterial (8) der Bodenflächen (5) der becherförmigen Vertiefungen (6) formschlüssig umschlossen sind, dass sie von demselben festgehalten werden; wobei ausserdem vorzugsweise der Durchmesser bzw. der mittlere Durchmesser der Körper (4) zwischen 1 mm und 8 mm beträgt, während die Grösse der Bodenfläche (5) der becherförmigen Vertiefungen (6) zwischen 10 und 100 cm² beträgt; und/oder bevorzugt die becherförmigen Vertiefungen (6) zwei oder mehr Gruppen umfassen, die sich dadurch unterscheiden, dass die Menge und/oder das Gewicht und/oder die Verteilung und/oder die Grösse und/oder das Material der auf die Bodenflächen (5) aufgebrachten Körper (4) unterschiedlich ist.

10. Schallabsorbierendes Bauelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die becherförmigen Vertiefungen (10) zwei oder mehr Gruppen umfassen, die sich dadurch voneinander unterscheiden, dass die Anordnung und/oder die Grösse von in den Bodenflächen (11) vorgesehenen Ausprägungen (12) unterschiedlich ist; wobei vorzugsweise der Durchmesser der Ausprägungen (12) zwischen 1 mm und 10 mm, vorzugsweise zwischen 3 mm und 7 mm, variiert, während die Grösse der Bodenfläche (11) der becherförmigen Vertiefungen (10) jeweils zwischen 10 und 100 cm² beträgt; und/oder bevorzugt zwischen 0,5 und 5, vorzugsweise zwischen 1 und 2 Ausprägungen (12) pro Quadratcentimeter vorgesehen sind; und/oder bevorzugt die Tiefe der Ausprägungen (12) zwischen 2 mm und 5 mm, vorzugsweise zwischen 3 mm und 4 mm, variiert; und/oder dass die Ausprägungen (12) unregelmässig oder nach einem regelmässigen Muster auf der Bodenfläche (11) verteilt sind.

11. Schallabsorbierendes Bauelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die am oberen Rand der becherförmigen Vertiefungen (10) liegende Abdeckfolie (13) mit einer Profilierung (14), vorzugsweise mit Sicken, versehen ist; und/oder dass die Rückseite der Abdeckfolie (13) selbstklebend ist; und/oder dass über den Bodenflächen (11) mehrerer becherförmiger Vertiefungen (10), vorzugsweise aller becherförmiger Vertiefungen (10), eine gemeinsame Schutzfolie vorgesehen ist, welche die Zwischenräume zwischen diesen becherförmigen Vertiefungen (10) überspannt; und/oder dass zwischen den becherförmigen Vertiefungen (10) in der Abdeckfolie (13) und/oder in der Schutzfolie Löcher vorgesehen sind.

12. Verwendung eines schallabsorbierenden Bauelements nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das schallabsorbierende Bauelement als Auskleidung von umschlossenen Räumen verwendet wird.

13. Verwendung eines schallabsorbierenden Bauelements nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das schallabsorbierende Bauelement als Verkleidung von Schallschirmen verwendet wird.

Die Erfindung betrifft ein schallabsorbierendes, nur aus mindestens zwei übereinander angeordneten Kunststoff-Folien bestehendes Bauelement, bei dem mindestens eine Kunststoff-Folie rasterförmig nebeneinanderliegende becherförmige Vertiefungen aufweist, deren beim Einbau dem Schallfeld auszusetzende Bodenflächen bei Schalleinfall zu verlustbehafteten Schwingungen anregbar sind, wobei die offenen Ränder der becherförmigen Vertiefungen gemeinsam durch eine weitere ebenfalls schwingungsfähige, aber ebene Abdeckfolie abgedeckt sind, die die in den einzelnen becherförmigen Vertiefungen enthaltenen Luftvolumina luftdicht abschliesst.

Ein schallabsorbierendes Bauelement dieser Art ist in der DE-OS 2 758 041 beschrieben und eignet sich einerseits sehr gut für die praktische Anwendung, weil es ein geringes Gewicht und eine dichte, geschlossene Oberfläche hat und daher leicht sauberzuhalten sowie hygienisch ist und auch in Feuchträumen nicht durch Vollsaugen mit Feuchtigkeit unwirksam wird, andererseits hat dieses Bauelement eine gute Schallabsorption, weil die dem einfallenden Schall zugewandten Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen den Schall weitgehend dadurch absorbieren, dass sie durch den einfallenden Schall zu Schwingungen angeregt werden und einen wesentlichen Teil der einfallenden Schallenergie durch innere Reibung absorbieren, wobei die Schallabsorption in den Resonanzbereichen besonders gross ist. Ausser den Bodenflächen dieser becherförmigen Vertiefungen werden auch die Seitenflächen zu Eigenschwingungen angeregt, und darüberhinaus wird auch die Becherform der Vertiefungen als Ganzes zu Eigenschwingungen angeregt, die ihrerseits den Plattenschwingungen der Boden- und Seitenflächen dieser becherförmigen Vertiefung überlagert sind. Sämtliche auftretende Schwingungsformen tragen aufgrund der Materialdämpfung der Kunststoff-Folie, aus der die becherförmigen Vertiefungen hergestellt sind, zur Absorption der Schallenergie bei.

Da, wie bereits erwähnt, die Schallabsorption im Bereich der Resonanzfrequenzen der Eigenschwingungen, zu denen die Bodenflächen, die Seitenflächen und die gesamte Becherform der Vertiefungen angeregt werden, besonders gut ist, dagegen ausserhalb des Bereichs der Resonanzfrequenzen nicht so gut ist, ergibt sich insgesamt eine relativ starke Abhängigkeit des Schallabsorptionsgrads von der Frequenz. Es ist jedoch erwünscht, in dem hauptsächlich in Frage kommenden Frequenzbereich von etwa 100 bis etwa 5000 Hz eine möglichst gleichmässige Schallabsorption, d.h. einen von der Frequenz weitgehend unabhängigen Schallabsorptionsgrad zu erzielen, um den gesamten Geräuschpegel in Innenräumen möglichst gleichmässig vermindern zu können.

In der DE-OS 2 758 041 ist auch bereits vorgeschlagen worden, zur Erzielung einer breitbandigen Schallabsorption durch Vergrösserung der Anzahl der Resonanzen die Bodenfläche und/oder die Tiefe einzelner becherförmiger Vertiefungen voneinander unterschiedlich zu gestalten. Weiterhin kann nach der DE-OS 2 758 041 eine breitbandigere Schallabsorption durch Ausprägungen in den Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen bewirkt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Breitbandigkeit, d.h. die Gleichmässigkeit der Schallabsorption in dem in Frage stehenden Schallfrequenzbereich noch weiter zu verbessern, also die Schallabsorptionseigenschaften des erfindungsgemässen Bauelements noch stärker denen eines idealen Schallabsorbers anzunähern.

Diese Aufgabe wird mit einem schallabsorbierenden Bauelement der eingangs genannten Art erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass zur Verbreiterung des Frequenzumfangs der Schallabsorption und zur Erhöhung des Schallabsorptionsgrades die Flächenumrisse und/oder die Flächenstruk-

turen und/oder die auf die Flächeneinheit bezogenen Flächengewichte der Bodenflächen von unterschiedlichen becherförmigen Vertiefungen und/oder das auf die Flächeneinheit bezogene Flächengewicht der Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen von dem auf die Flächeneinheit bezogenen Flächengewicht des übrigen Materials der die becherförmigen Vertiefungen aufweisenden Kunststoff-Folie verschieden sind.

Auf diese Weise lässt sich die Anzahl der Resonanzfrequenzen der Böden, der Seitenwände und der becherförmigen Vertiefungen insgesamt wesentlich erhöhen und dadurch ein erheblich besserer Verlauf des Schallabsorptionsgrads über der Schallfrequenz erzielen.

Insbesondere kann das schallabsorbierende Bauelement so ausgebildet sein, dass die becherförmigen Vertiefungen aus zwei oder mehr Gruppen von jeweils einem langgestreckten Flächenumriss der Bodenfläche aufweisenden Vertiefungen bestehen, wobei sich die einzelnen Gruppen von Vertiefungen dadurch voneinander unterscheiden, dass das Verhältnis der Länge bzw. der maximalen Länge zur Breite bzw. zur maximalen Breite der Bodenflächen unterschiedlich ist.

Hierbei können im einzelnen die Flächenumrisse der Bodenflächen Rechtecke, Ellipsen und/oder Rhomboide sein; diese Formen sind selbstverständlich nur besonders bevorzugte Ausführungsbeispiele von langgestreckten Flächenumrissen, da im Prinzip auch andere Formen von langgestreckten Flächenumrissen anwendbar sind.

Der wesentliche Vorteil dieser langgestreckten Flächenumrisse besteht darin, dass sie zu erheblich mehr Eigenschwingungen angeregt werden können als «gedrungene» Flächenumrisse und somit die Schallabsorption gleichmässiger über den in Frage stehenden Schallfrequenzbereich verteilt wird. Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung werden unter «langgestreckten» Flächenumrissen solche Flächenumrisse verstanden, bei denen die Längenabmessung merklich bzw. wesentlich grösser als die Breitenabmessung ist, oder, allgemeiner gesagt, die in wenigstens einer Richtung eine merklich bzw. wesentlich grössere Erstreckung als in einer anderen Richtung, insbesondere in der senkrecht hierzu verlaufenden Richtung, haben. Dagegen sind unter «gedrungenen» Flächenumrissen solche Flächenumrisse zu verstehen, deren Längenabmessungen etwa gleich den Breitenabmessungen sind, oder, allgemeiner gesagt, die in allen Richtungen in der Fläche die gleiche Erstreckung oder im wesentlichen die gleiche Erstreckung haben; Beispiele solcher «gedrungenen» Flächenumrisse sind Kreise, Quadrate, regelmässige Vielecke oder dergleichen.

Der Grund dafür, dass die gedrungenen Flächenumrisse nicht so geeignet sind, besteht darin, dass bei Platten mit solchen gedrungenen Flächenumrissen eine Reihe von Eigenschwingungen bei derselben oder nahezu derselben Frequenz auftreten, während bei Platten mit langgestreckten Flächenumrissen die entsprechenden Eigenschwingungen unterschiedlich sind, und zwar derart, dass sie sich deutlich voneinander unterscheiden. Diese Verhältnisse werden weiter unten im Rahmen der Figurenbeschreibung anhand der Unterschiede, die bei den Eigenschwingungen einer quadratischen und einer rechteckigen Platte auftreten, näher erläutert.

Besonders zu bevorzugen ist es, ein schallabsorbierendes Bauelement der zuletzt erläuterten Art so auszubilden, dass die Länge bzw. die maximale Länge der Bodenfläche gleich ist, während die Breite bzw. die maximale Breite der Bodenflächen von Gruppe zu Gruppe verschieden ist, oder dass die Breite bzw. die maximale Breite der Bodenflächen gleich ist, während die Länge bzw. die maximale Länge der Bodenflächen von Gruppe zu Gruppe verschieden ist. Auf diese Weise lassen sich, da eine der beiden vorerwähnten Dimen-

sionen der becherförmigen Vertiefungen einfacher miteinander zusammenfügen, ohne dass über die erforderlichen schmalen Zwischenräume hinweg zusätzliche Zwischenräume übrig bleiben, welche die Wirkung des schallabsorbierenden Bauelements vermindern würden.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass zwei Gruppen von becherförmigen Vertiefungen vorgesehen sind, wobei das Verhältnis der Länge bzw. der maximalen Länge zur Breite bzw. zur maximalen Breite der Bodenflächen in der einen Gruppe 1,2: 1 bis 2: 1 beträgt, während es in der anderen Gruppe von 2,2: 1 bis 4: 1 beträgt. Wenn drei Gruppen vorgesehen sind, dann ist es zu bevorzugen, dass das Verhältnis der Länge bzw. der maximalen Länge zur Breite bzw. zur maximalen Breite in der ersten Gruppe von 1,2: 1 bis 2: 1, in der zweiten Gruppe von 2,2: 1 bis 3: 1 und in der dritten Gruppe von 3,2: 1 bis 5: 1 beträgt. Auf diese Weise erhält man eine gute Verteilung der einzelnen Resonanzfrequenzen über den gesamten interessierenden Schallfrequenzbereich.

Bei einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemässen schallabsorbierenden Bauelements ist das Folienmaterial der Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen dünner als das Folienmaterial der Seitenwände der Vertiefungen und der Stege zwischen den einzelnen Vertiefungen bzw. zwischen den Seitenwänden benachbarter Vertiefungen. Auf diese Weise erreicht man ein kleines auf die Flächeneinheit bezogenes Flächengewicht der Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen, während gleichzeitig die Seitenwände der becherförmigen Vertiefungen und die Stege zwischen den becherförmigen Vertiefungen noch genügend fest bleiben, so dass sie dem gesamten Bauelement eine genügend grosse Stabilität verleihen. Gleichzeitig wird die Absorptionskurve bei den Plattenresonanzen der Bodenflächen sehr breit und hoch, weil die Bodenflächen aufgrund der vorstehenden Ausgestaltung einen hohen Verlustfaktor und eine kleine flächenbezogene Masse haben.

Um die Absorptionskurve nach den tieferen Frequenzen hin zu verbreitern, d.h. um den Schallabsorptionsgrad im Bereich der tiefen Frequenzen stark anzuheben, kann das schallabsorbierende Bauelement so ausgebildet sein, dass auf den Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen Körper angebracht sind, wobei die Grösse der Querschnittsfläche jedes der Körper klein gegen die Grösse der Bodenfläche der jeweiligen Vertiefung ist. Diese Körper können Kunststoff-Teilchen, insbesondere Kunststoff-Kugeln, sein, die auf den Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen haftend befestigt, insbesondere aufgeschmolzen sind. Ein solches Aufschmelzen lässt sich technisch sehr einfach durchführen, so dass sich trotz des Aufbringens der Kunststoff-Teilchen eine kostengünstige Herstellung des schallabsorbierenden Bauelements nach der Erfindung ergibt.

Will man eine stärkere «Verstimmung» der Resonanzfrequenzen nach tieferen Frequenzwerten erreichen, dann werden Körper verwendet, die aus einem Material bestehen, dessen spezifisches Gewicht gross gegenüber dem spezifischen Gewicht des Folienmaterials der becherförmigen Vertiefungen ist. Solche Körper sind vorzugsweise aus Metall, Glas, Mineral- und/oder Schlacke und weisen bevorzugt eine gerundete Oberfläche auf. Es werden also vorzugsweise Metall-, Glas-, Mineral- oder Schlackekugeln bzw. -kugeln verwendet.

Auch in diesen Fällen der Verwendung schwerer Materialien für die Körper lässt sich eine sehr kostengünstige Herstellung des schallabsorbierenden Bauelements nach der Erfindung erreichen, indem man die Körper soweit mit dem Folienmaterial der Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen formschlüssig umschliesst, dass sie von demselben festgehalten werden; diese feste Vertiefung der Körper und

der folie erhält man auf besonders einfache Weise dadurch, dass man die Körper in eine Tiefziehform legt, in der die becherförmigen Vertiefungen ausgebildet werden, so dass sich die Folie im Bereich der Böden der becherförmigen Vertiefungen beim Tiefziehen um die Körper legt und sie dadurch festhält.

Vorzugsweise beträgt der Durchmesser bzw. der mittlere Durchmesser der Körper zwischen 1 mm und 8 mm, während die Grösse der Bodenfläche der becherförmigen Vertiefungen zwischen 10 und 100 cm² beträgt. Diese Abmessungen haben, wie durch Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Erfindung festgestellt wurde, besonders günstige Schallabsorptionseigenschaften zur Folge.

Schliesslich besteht eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Anzahl der Resonanzfrequenzen und damit zur Erzielung einer breitbandigen Absorption darin, dass die becherförmigen Vertiefungen zwei oder mehr Gruppen umfassen, die sich dadurch voneinander unterscheiden, dass die Menge und/oder das Gewicht und/oder die Verteilung und/oder die Grösse und/oder das Material der auf die Bodenflächen aufgebrachten Körper unterschiedlich sind, so dass die einzelnen Bodenflächen untereinander in ihren Resonanzfrequenzen «verstimmt» sind. Mit dieser Massnahme lassen sich die Resonanzfrequenzen so vielfältig und gut verteilen, dass man ein schallabsorbierendes Bauelement mit nahezu idealem Verlauf des Schallabsorptionsgrads über den Schallfrequenzen erhält.

Eine noch andere Möglichkeit der Verstimmung der einzelnen Bodenflächen untereinander besteht darin, dass die becherförmigen Vertiefungen zwei oder mehr Gruppen umfassen, die sich dadurch voneinander unterscheiden, dass die Anordnung und/oder die Grösse von in den Bodenflächen vorgesehenen Ausprägungen unterschiedlich ist. Der Durchmesser der Ausprägungen kann zwischen 1 mm und 10 mm, vorzugsweise zwischen 3 mm und 7 mm, variieren, während die Grösse der Bodenfläche der becherförmigen Vertiefungen jeweils zwischen 10 und 100 cm² beträgt. Hierbei ist es besonders zu bevorzugen, dass zwischen 0,5 und 5, vorzugsweise zwischen 1 und 2 Ausprägungen pro Quadratzentimeter vorgesehen sind. Die Ausprägungen können unregelmässig oder nach einem regelmässigen Muster auf der Bodenfläche verteilt sein. Da das zusätzliche Erzeugen von Ausprägungen in den Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen herstellungsmässig nur einen besonders geringen zusätzlichen Aufwand erfordert, ist diese Ausführungsform des schallabsorbierenden Bauelements gemäss der Erfindung in allen den Fällen zu bevorzugen, in denen es zwar auf eine breitbandige Absorption ankommt, die Kosten für das Schallabsorptionsmaterial aber besonders kritisch sind.

Die Erfindung betrifft auch die Verwendung des schallabsorbierenden Bauelements, die sich dadurch auszeichnet, dass das schallabsorbierende Bauelement als Auskleidung von umschlossenen Räumen verwendet wird. Solche umschlossenen Räume können Innenräume von Maschinen-, Apparate- und Geräteverkapselungen, von Zelten, Traglufthallen sowie Industrie-, Büro- und Wohnräumen sein. Das Bauelement wird dabei vorzugsweise auf die Resonanzmaxima des in diesen umschlossenen Räumen erzeugten Geräuschspektrums abgestimmt, so dass die am stärksten erzeugten Geräusche am intensivsten absorbiert werden. Insbesondere bei der Auskleidung von Maschinen-, Apparate- und Geräteverkapselungen und -räumen lässt sich die erwähnte Abstimmung sehr gut durchführen, weil hier Geräusche bestimmter Frequenzen maschinen-, apparate- oder gerätespezifisch sind. Beispielsweise wäre bei Transformatorstationen ein schallabsorbierendes Bauelement vorzusehen, das auf die Netzfrequenz sowie Harmonisch der-

selben abgestimmt ist. Handelt es sich bei den auszukleidenden Innenräumen um solche von Zelten, insbesondere grossen Ausstellungs-, Schaustellungs-, Bewirtschaftungs- und Vergnügungszelten, sowie von Tragluflhallen, so ist das geringe Gewicht und die lichtdurchlässige Ausführbarkeit des schallabsorbierenden Bauelements von besonderem Vorteil. Endlich kann das schallabsorbierende Bauelement erfindungsgemäss auch als Verkleidung von Schallschirmen verwendet werden. Als derartige Schallschirme kommen insbesondere im Freien befindliche Schallschirme, beispielsweise Betonschallschirme an Autobahnen, oder Schallschirme bei Schiessständen in Frage. In diesen Fällen sind die Witterungsbeständigkeit des schallabsorbierenden Bauelements und die Unempfindlichkeit seiner Schallabsorptionseigenschaften gegen Veränderungen durch Witterungseinflüsse von besonderem Vorteil.

Die Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand einiger, besonders bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 Chladnische Klangfiguren einer quadratischen Bodenfläche einer becherförmigen Vertiefung, durch welche die Eigenschwingungen dieser Bodenfläche bei zwei verschiedenen Frequenzen veranschaulicht werden;

Fig. 2 zwei gleich grosse rechteckige Bodenflächen von nebeneinanderliegenden becherförmigen Vertiefungen;

Fig. 3 zwei verschieden grosse Bodenflächen zweier nebeneinanderliegenden becherförmiger Vertiefungen;

Fig. 4 den Schallabsorptionsgrad der Anordnung nach Fig. 2 und der Anordnung nach Fig. 3 in Abhängigkeit von der Schallfrequenz;

Fig. 5 eine Teilschnittansicht einer Tiefziehform, in welcher in einer Folie durch Tiefziehen rasterförmig nebeneinanderliegende becherförmige Vertiefungen ausgebildet werden, wobei auf dem Boden der Tiefziehform Kugeln aus einem relativ schweren Material angeordnet sind, um die sich der entstehende Boden der becherförmigen Vertiefung beim Tiefziehvorgang soweit herumlegt, dass sie von diesem Boden formschlüssig festgehalten werden;

Fig. 6 den Schallabsorptionsgrad von erfindungsgemässen schallabsorbierenden Bauelementen, wobei die Böden der Vertiefungen einmal nicht mit Kugeln beschwert sind, einmal mit Glaskugeln und einmal mit Bleikugeln;

Fig. 7 einen Schnitt durch eine becherförmige Vertiefung und eine zur Abdeckung derselben verwendete ebene Folie, wobei der Boden einmal ohne und einmal mit Ausprägungen versehen ist;

Fig. 8 den Schallabsorptionsgrad eines Bauelements nach der Erfindung, bei dem die Böden der Vertiefungen einmal glatt sind, wie in Fig. 7a gezeigt, und in dem diese Böden mit Ausprägungen versehen sind, wie in Fig. 7b veranschaulicht ist; und

Fig. 9 ein schallabsorbierendes Bauelement, das aus einer Folie mit becherförmigen Vertiefungen und einer ebenen Abdeckfolie besteht.

Es sei zunächst auf Fig. 1 Bezug genommen, die zeigt, dass die Anzahl der Eigenfrequenzen einer quadratischen Platte verhältnismässig beschränkt ist. Diese Eigenschwingungen lassen sich durch die Gleichung:

$$A = A_{m,n} \cdot \sin \frac{\pi}{a} \cdot n \cdot x \cdot \sin \frac{\pi}{a} \cdot m \cdot y \quad (1)$$

darstellen, wobei die einzelnen Formelzeichen folgendes bedeuten:

A = Auslenkung der Platte

$A_{m,n}$ = Amplitude bei der Eigenschwingung

a = Seitenlänge der quadratischen Platte

x, y = Koordinaten der Platte, wobei sich die eine Ecke der Platte im Nullpunkt des Koordinatensystems befindet, während sich die daran anschliessenden Seiten längs der x - bzw. y -Achse erstrecken.

m, n = ganze Zahlen, die grösser oder gleich 1 sind.

10 Aus Symmetriegründen treten bei quadratischen Platten die Eigenschwingungen (m, n) und (n, m) bei derselben Frequenz auf. Die Fig. 1 zeigt beispielsweise eine Überlagerung der Plattenschwingungen $(1, 3)$ und $(3, 1)$ bei 650 Hz und die Eigenschwingung $(3, 3)$ bei 1100 Hz, wobei die Seitenlänge a der quadratischen Platte in diesen Fällen 6,7 cm beträgt.

Dagegen lassen sich die Eigenschwingungen von rechteckigen Platten durch die Gleichung:

$$A = A_{m,n} \cdot \sin \frac{\pi}{a} \cdot n \cdot x \cdot \sin \frac{\pi}{b} \cdot m \cdot y \quad (2)$$

darstellen, wobei a die Länge und b die Breite der rechteckigen Platte bedeuten, während die übrigen Formelzeichen die gleiche Bedeutung wie in der obigen Gleichung haben.

25 Bei rechteckigen Platten liegen im Gegensatz zu quadratischen Platten die Eigenschwingungen (m, n) und (n, m) bei verschiedenen Frequenzen, so dass sich insgesamt wesentlich mehr Eigenschwingen bei rechteckigen Platten ergeben, was eine Verbesserung der Schallabsorption insgesamt bedeutet, da die Schallabsorption bei den Resonanzfrequenzen ein Maximum hat. Es ist infolgedessen von Vorteil, wenn die Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen bei den schallabsorbierenden Bauelementen rechteckig sind, und wenn weiterhin zwei oder mehr Gruppen unterschiedlich grosser rechteckiger Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen auf dem gleichen Bauelement vorgesehen sind, und zwar insbesondere mit unterschiedlichen Verhältnissen von Länge a zu Breite b .

Zur Veranschaulichung der Wirkungen, die sich bei Anwendung unterschiedlich grosser Rechtecke als Bodenflächen von becherförmigen Vertiefungen ergeben, sind in Fig. 4 zwei Schallabsorptionskurven I und II dargestellt, von denen sich die Kurve I auf die Schallabsorption der Anordnung nach Fig. 2 und die Kurve II auf die Schallabsorption der Anordnung nach Fig. 3 bezieht. Die Anordnung nach Fig. 2 umfasst zwei Bodenflächen aus Polyvinylchlorid-Folie von 0,3 mm Durchmesser, die gleich grosse Rechtecke mit der Länge $a = 70$ mm und der Breite $b = 32,5$ mm sind. Die Anordnung nach Fig. 3 umfasst ebenfalls zwei Bodenflächen, die in gleicher Weise aus einer Polyvinylchlorid-Folie von 0,3 mm Stärke ausgebildet worden sind, wobei jedoch die eine rechteckige Bodenfläche 2 grösser als die andere rechteckige Bodenfläche 3 ist. Im Ausführungsbeispiel betrug zwar die Länge a der beiden Bodenflächen 2, 3 ebenfalls 70 mm, jedoch hatte die Bodenfläche 2 eine Breite von $b_1 = 35$ mm und die Bodenfläche 3 eine Breite von $b_2 = 30$ mm.

Wie die Fig. 4 zeigt, ergibt sich bei der Anordnung nach Fig. 3, deren Schallabsorptionsgrad über der Frequenz durch die Kurve II dargestellt ist, eine verbreiterte Absorptionskurve gegenüber der Anordnung nach Fig. 2, deren Schallabsorptionskurve I nur ein einziges Maximum hat.

Die vorstehenden Ausführungen gelten natürlich im Prinzip auch für andere Flächenformen, so dass man allgemein sagen kann, dass langgestreckte Bodenflächen gegenüber gedrungenen Bodenflächen vorzuziehen sind, also beispielsweise ellipsenförmige Bodenflächen gegenüber kreisförmigen Bodenflächen zu bevorzugen sind, weil erstere eine grössere Anzahl von Eigenfrequenzen als letztere haben.

Die Verstimmung, d.h. die Veränderung der Eigenfrequenzen der einzelnen Bodenflächen kann auch dadurch geschehen, dass man, wie in Fig. 5 angedeutet ist, Körper 4, vorzugsweise Kugeln, auf den folienförmigen Bodenflächen 5 der becherförmigen Vertiefungen 6 anbringt.

In Fig. 5 ist eine Teilschnittansicht durch eine Tiefziehform 7 gezeigt, in der die rasterförmig nebeneinanderliegenden becherförmigen Vertiefungen 6 mittels einer Kunststoff-Folie 8 ausgebildet werden. Einer der vielen Unterdruckkanäle, die in den Bereichen der Tiefziehform münden, an denen die Bodenflächen 5 beim Tiefziehen entstehen, ist bei 9 angedeutet. Ein besonders bevorzugtes Verfahren zum Befestigen von Körpern 4, beispielsweise von Glas- oder Bleikugeln an der Bodenfläche 5 der becherförmigen Vertiefungen 6 besteht darin, dass man die Körper 4 vor der Durchführung des Tiefziehens in den Bereichen der Tiefziehform 7 anordnet, in denen beim Tiefziehvorgang die Bodenflächen 5 der becherförmigen Vertiefungen 6 entstehen. Wenn nämlich beim Tiefziehvorgang die becherförmigen Vertiefungen 6 ausgebildet werden, während in den eben erwähnten Bereichen die Körper 4 angeordnet sind, dann legt sich die Kunststoff-Folie 8 infolge des durch die Unterdruckkanäle 9 erzeugten Unterdrucks um die Körper 4 formschlüssig herum, und zwar so weit, dass diese Körper 4 mehr als zur Hälfte von der Kunststoff-Folie 8 umfasst werden, so dass die sich nach Vollendung des Tiefziehvorgangs und nach Erkalten bzw. Verfestigen der Bodenflächen 5 nicht mehr von den Bodenflächen 5 lösen können sondern durch diese formschlüssig festgehalten werden.

Die Fig. 6 veranschaulicht den Schallabsorptionsgrad verschiedener schallabsorbierender Bauelemente, die gemäss der DE-OS 2 758 041 rasterförmig nebeneinanderliegende becherförmige Vertiefungen aufweisen, deren beim Einbau dem Schallfeld auszusetzende Bodenflächen zu verlustbehafteten Schwingungen anregbar sind, wobei die oberen Ränder der becherförmigen Vertiefungen gemeinsam durch eine weitere, ebenfalls schwingungsfähige, aber ebene Folie abgedeckt sind, welche die in den einzelnen becherförmigen Vertiefungen enthaltenen Luftvolumina luftdicht abschliesst. Die strichpunktierte Kurve III veranschaulicht den Verlauf des Schallabsorptionsgrads bei einem Bauelement, bei dem die Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen glatt und nicht mit Körpern beschwert sind; die Bodenflächen waren hierbei rechteckig und hatten eine Länge von 9 cm und eine Breite von 8 cm.

Dagegen zeigt die in ausgezogenen Linien dargestellte Kurve IV und die gestrichelt gezeigte Kurve V jeweils den Einfluss einer Beschwerung der Bodenflächen durch Körper; die Bodenflächen hatten auch hier jeweils eine Länge von 9 cm und eine Breite von 8 cm und wurden in jedem Falle durch jeweils zehn Körper beschwert. Die Kurve IV zeigt den Schallabsorptionsgrad bei einer Beschwerung der Bodenflächen durch Glaskugeln von 5 mm Durchmesser, und die Kurve V zeigt den Schallabsorptionsgrad bei einer Beschwerung der Bodenflächen durch Bleikugeln von 5 mm Durchmesser. Wie man sieht, ergibt sich durch die Körper insgesamt eine Erhöhung des Schallabsorptionsgrads und eine Verbreiterung des nutzbaren Frequenzbereichs nach tieferen Frequenzen hin. Durch die Bleikugeln wird, wie die Kurve V deutlich zeigt, insbesondere die Absorption im Frequenzbereich von 400 bis 1200 Hz erheblich verbessert, d.h. der Schallabsorptionsgrad stark angehoben, wobei ausserdem der Schallabsorptionsgrad auch bei den höheren Frequenzen von 1200 bis 3500 Hz noch über dem Schallabsorptionsgrad des Bauelements liegt, bei dem Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen nicht beschwert sind; erst oberhalb von 3500 Hz sinkt der Schallabsorptionsgrad nach der Kurve V unter den der Kurve III ab.

Wie man aus der Kurve IV ersieht, bringt zwar die Beschwerung durch Glaskugeln in dem beschriebenen Ausführungsbeispiel keine so starke Anhebung des Schallabsorptionsgrads im niedrigeren Frequenzbereich, wie das bei der Beschwerung der Bodenflächen mit Bleikugeln der Fall ist, was im übrigen auch wegen des geringeren Gewichts der Glaskugeln verständlich ist, dafür ergibt sich aber sowohl insgesamt eine Erhöhung des Schallabsorptionsgrads durch die Beschwerung mit Glaskugeln praktisch im gesamten in Frage stehenden Frequenzbereich von 400 bis fast 5000 Hz als auch eine Einebnung des Verlaufs des Schallabsorptionsgrads über der Frequenz, d.h. die Unterschiede zwischen Maxima und Minima der Kurve IV sind geringer als diejenigen der Kurve III, was eine geringere Abhängigkeit des Schallabsorptionsgrads von der jeweiligen Schallfrequenz bedeutet.

Schliesslich besteht, wie die Fig. 7 und 8 veranschaulichen, eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Anzahl der Resonanzfrequenzen und damit zur Erzielung einer breitbandigen Absorption darin, dass man die einzelnen Bodenflächen der becherförmigen Vertiefungen durch Ausprägungen in diesen Bodenflächen untereinander verstimmt, so dass es also zwei oder mehr Gruppen von becherförmigen Vertiefungen 10 gibt, die sich dadurch unterscheiden, dass ihre Bodenflächen 11 mit unterschiedlich angeordneten oder ausgebildeten Ausprägungen 12 versehen sind, wie durch Fig. 7b angedeutet ist. Zum Vergleich ist in Fig. 7a eine becherförmige Vertiefung 10 mit glatter Bodenfläche 11 gleicher Grösse dargestellt; beide becherförmigen Vertiefungen der Fig. 7a und 7b sind durch eine Abdeckfolie 13 abgedeckt.

In Fig. 8 ist der Schallabsorptionsgrad eines Bauelements mit becherförmigen Vertiefungen 10, dessen Bodenflächen 11 glatt sind, durch die in ausgezogenen Linien gezeichnete Kurve VI dargestellt, während die Kurve VII den Schallabsorptionsgrad eines Bauelements veranschaulicht, bei dem die Bodenflächen 11 der becherförmigen Vertiefungen 10 mit Ausprägungen 12 versehen sind. Im einzelnen lagen den Kurven VI und VII folgende beispielsweise Ausgestaltungen der becherförmigen Vertiefungen zugrunde:

In beiden Fällen waren die Bodenflächen 11 der becherförmigen Vertiefungen 10 quadratisch, wobei die Seitenlänge $a = 9$ cm betrug; die Höhe h , d.h. der Abstand zwischen der Bodenfläche 11 und der Abdeckfolie 13, betrug ebenfalls in beiden Fällen 3 cm. In den Bodenflächen 11 der Ausführungsform nach Fig. 7b waren jeweils 100 Ausprägungen unregelmässig verteilt vorgesehen, wobei die Durchmesser der Ausprägungen zwischen 3 mm und 7 mm und die Tiefen der Ausprägungen zwischen etwa 3 mm und etwa 4 mm variierten. Die Bodenflächen 11 verschiedener becherförmiger Vertiefungen 10 eines Bauelements unterschieden sich dadurch, dass die Anordnung der Ausprägungen von Bodenfläche zu Bodenfläche verschieden war.

Wie man aus Fig. 8 ersieht, wurde durch diese Ausbildung und Anordnung der Ausprägungen 12 in den Bodenflächen 11 ein wesentlich gleichmässigerer Verlauf des Absorptionsgrads im in Frage stehenden Frequenzbereich von etwa 500 bis etwa 5000 Hz gegenüber glatten Bodenflächen 11 erzielt.

Die Abdeckfolie 13 kann, wie Fig. 7b zeigt, zur Versteifung mit Profilierungen 14, beispielsweise Sicken, versehen sein. Ausserdem kann die Rückseite, d.h. die der Bodenfläche 11 abgewandte Seite der Abdeckfolie 13 aus Montagegründen selbstklebend sein. Die Profilierung ergibt eine Versteifung des Bauelements, und die Selbstklebeeigenschaft ermöglicht es, das Bauelement in sehr einfacher und kostensparender Weise an Decken und Wänden von Innenräumen anzubringen.

Das in Fig. 9 in Draufsicht im Schnitt nur in perspektivi-

scher Darstellung gezeigte Bauelement besteht aus einer Kunststoff-Folie 15 mit rasterförmig nebeneinander angeordneten becherförmigen Vertiefungen 16 mit einer Tiefe t von zum Beispiel 30 mm. Die becherförmigen Vertiefungen 16 haben eine rechteckige Form mit der Breite b von beispielsweise 80 mm und der Länge a von beispielsweise 90 mm und einen gegenseitigen Abstand c von zum Beispiel 7 mm. Die Folie 15 besteht aus Kunststoff, zum Beispiel Polyäthylen, mit einer Dicke von vorzugsweise 0,1 bis 0,3 mm. Die Folie kann bis zu 0,5 mm dick sein, sie kann auch eine Stärke von beispielsweise 0,1 mm aufweisen. Diese Dicke von 0,1 bis 0,5 mm der Folie gilt im übrigen auch für die becherförmigen Vertiefungen der anderen Ausführungsformen.

Die becherförmigen Vertiefungen 16 der Folie 15 sind an ihrem offenen Rand durch eine ebene Abdeckfolie 17 von etwa 0,3 mm abgedeckt, so dass das Luftvolumen jeder einzelnen becherförmigen Vertiefung 16 für sich luftdicht abgeschlossen ist.

Die Folien 15 und 17 können glasklar oder auch farbig sein. Ausserdem kann das Bauelement so ausgebildet werden,

dass über den Bodenflächen mehrerer becherförmiger Vertiefungen, vorzugsweise aller becherförmiger Vertiefungen, eine gemeinsame Schutzfolie vorgesehen ist, welche die Zwischenräume zwischen diesen becherförmigen Vertiefungen überspannt. Dadurch lässt sich das Bauelement auf seiner dem Schallfeld bzw. dem auszukleidenden Innenraum zugewandten Fläche noch leichter reinhalten und reinigen.

Schliesslich können zwischen den becherförmigen Vertiefungen in der Abdeckfolie und/oder in der Schutzfolie 10 Löcher vorgesehen sein. Dadurch wird die Schallabsorption noch erweitert, denn ein Teil des Schalls kann durch die Löcher in der Abdeckfolie in einen Zwischenraum, der zwischen dem Bauelement und der Wand oder Decke, woran das Bauelement angebracht ist, vorgesehen ist, gelangen und dort 15 absorbiert werden. Durch die erwähnten Löcher in der Schutzfolie gelangt der Schall in die von der Schutzfolie und den Seitenwänden benachbarter becherförmiger Vertiefungen sowie Bereichen der Abdeckfolie begrenzten Räume, deren Begrenzungen infolgedessen eine verstärkte Schallabsorption bewirken. 20

FIG. 1

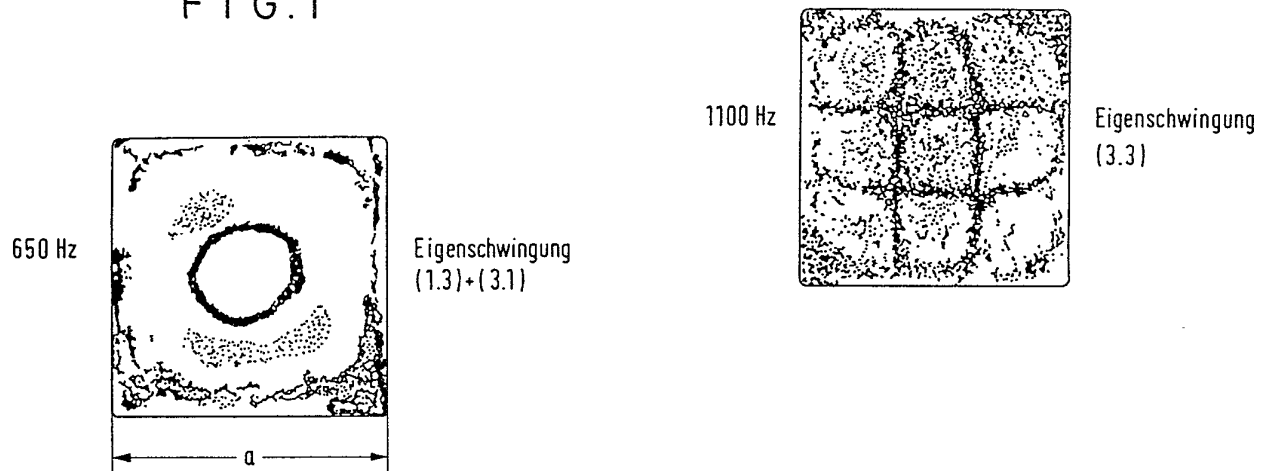


FIG. 2

KURVE I

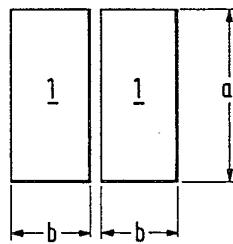


FIG. 3

KURVE II

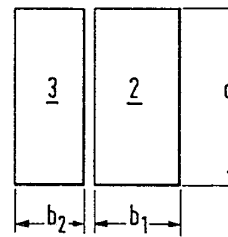


FIG. 4

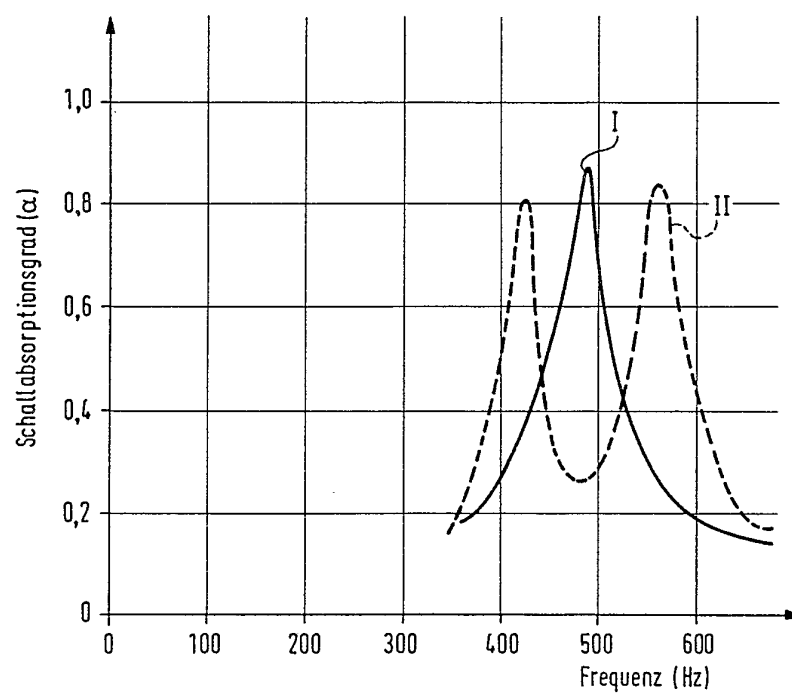


FIG. 5

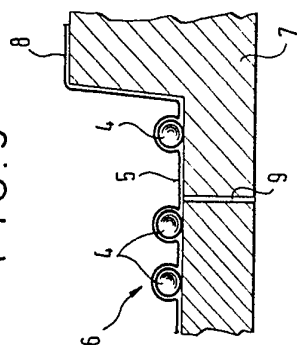


FIG. 6

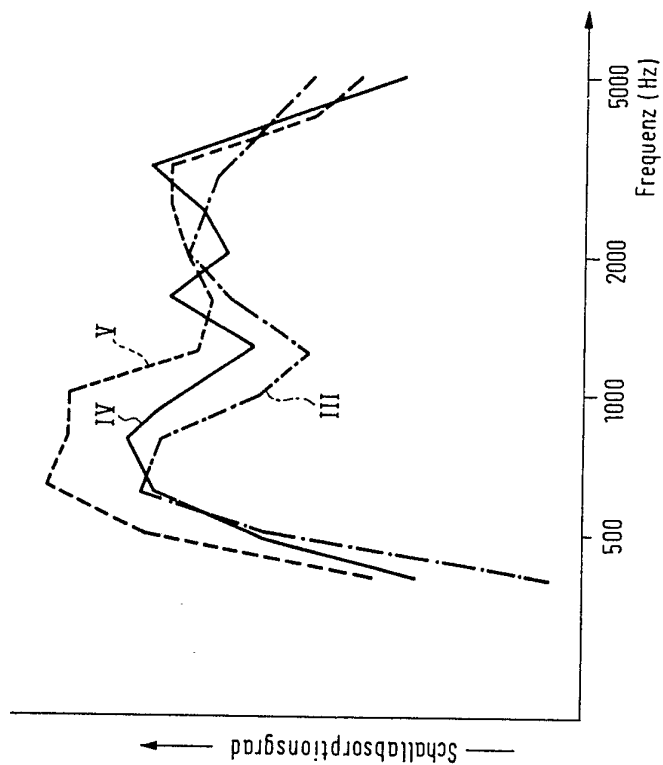


FIG. 7

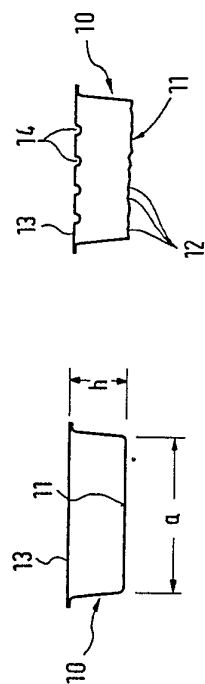


Fig. 7a

Fig. 7b

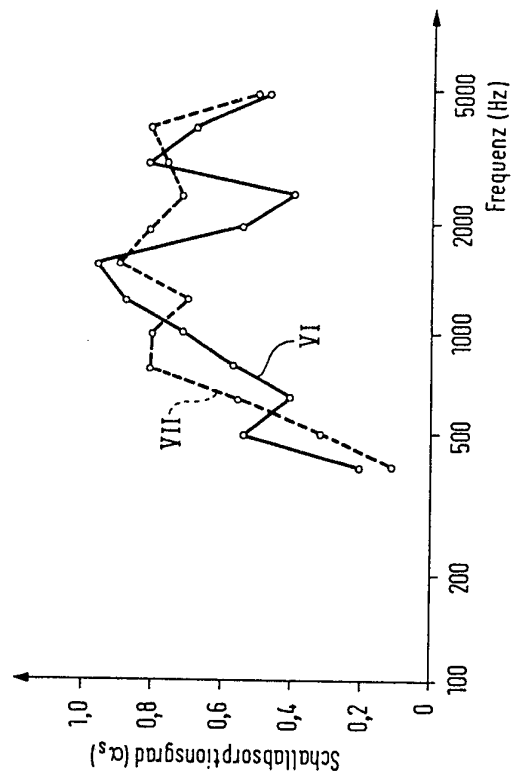


FIG. 8

