

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. November 2017 (23.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/198797 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

E04B 1/82 (2006.01) *E04B 1/84* (2006.01)
E04B 1/86 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/062052

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Mai 2017 (18.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 109 079.4
18. Mai 2016 (18.05.2016) DE

(71) Anmelder: **KENNWERT RD GMBH** [DE/DE]; Karl-Liebknecht-Straße 9, 10178 Berlin (DE).

(72) Erfinder: **KLOOSTER, Thorsten**; Ritterstraße 50, 10969 Berlin (DE). **BECKER, David**; Am Wasserturm 8 A, 34128 Kassel (DE). **ECKE, Frederik**; Mozartstraße 3, 34121 Kassel (DE). **HELLMANN, Magdalena Ewa**; Kölnische Straße 126, 34119 Kassel (DE). **ECKHARDT, Anke**; Beethovenstraße 4, 50674 Köln (DE).

(74) Anwalt: **BECKORD & NIEDLICH PATENTANWALTSKANZLEI**; Marktplatz 17, 83607 Holzkirchen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: NOISE CONTROL STRUCTURE AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) Bezeichnung: SCHALLSCHUTZVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR IHRER ERSTELLUNG

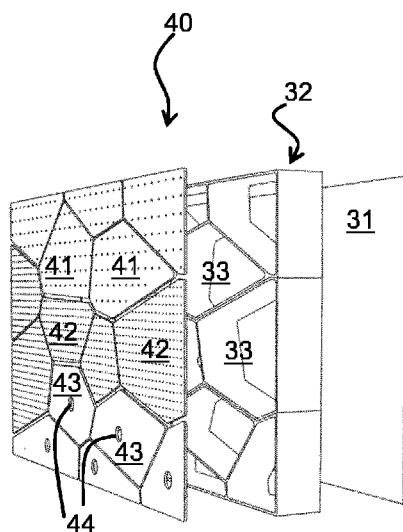


Fig. 7a

(57) Abstract: The invention relates to a wall-type noise control structure for outdoor or indoor noise control, comprising a wall-type assembly of Helmholtz resonators (4, 5, 6) as resonance absorbers with different natural frequencies. The invention also relates to the use of an assembly of resonance absorbers as a wall-type noise-control structure and to a method for producing a corresponding noise-control structure.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine wandartige Schallschutzvorrichtung zum Dämmen von Schall im Außenraum oder in Innenräumen, mit einer wandartigen Anordnung von Helmholtz-Resonatoren (4, 5, 6) als Resonanzabsorber mit unterschiedlicher Eigenfrequenz. Die Erfindung betrifft außerdem die Verwendung einer Anordnung von Resonanzabsorbem als wandartige Schallschutzvorrichtung und ein Verfahren zur Erstellung einer derartigen Schallschutzvorrichtung.



WO 2017/198797 A1

Schallschutzvorrichtung und Verfahren zur ihrer Erstellung

5 Die Erfindung betrifft eine flächige bzw. wandartige Schallschutzvorrichtung zum Dämmen von Schall im Außenraum oder in Innenräumen, mit einer flächigen, in der Wandebene in beiden Dimensionen neben einander liegenden Anordnung von Resonanzabsorbern. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass verschiedene Resonanzabsorber unterschiedlichen Typs miteinander kombiniert werden können, überwiegend jedoch Helmholtz-
10 Resonatoren eingesetzt werden. Die Anordnung der Resonatoren selbst bildet also eine wandartige Struktur. Dabei muss es sich nicht allein um Strukturen mit einer glatten Oberfläche handeln. Es sind auch Varianten mit im Grundriss dreidimensional strukturierten bzw. profilierten Oberflächen denkbar. Die Erfindung betrifft außerdem eine Anordnung Resonanzabsorbern, vorzugsweise von Helmholtz-Resonatoren, als flächige bzw. wandartige
15 Schallschutzvorrichtung und ein Verfahren zur Erstellung einer Schallschutzvorrichtung aus Helmholtz-Resonatoren.

Als Resonanzabsorber gelten Helmholtz-Resonatoren, darunter Lochflächen-Absorber, schlitzförmige Absorber und Membran-Absorber, außerdem Plattenabsorber, darunter Foli-
20 en-Absorber, Platten-Schwinger und Verbundplatten-Resonatoren, und auch Mikroperforierte Absorber (MPA), darunter MPA-Platten, MPA_Folien und MPA_Flächengebilde . (vgl. Helmut V. Fuchs: Schallabsorber und Schalldämpfer, 2.Auflage, Springer Verlag 2010). Die Begriffe „Resonator“ und „Resonanzabsorber“ werden im Folgenden synonym verwendet.

25 Laut dem Online-Nachschlagewerk WIKIPEDIA® besteht die Aufgabe von Schallabsorbern darin, Schallenergie in andere Energieformen umzuwandeln. Sie kommen im Bereich des Lärmschutzes und der Raumakustik zum Einsatz. Schallabsorber lassen sich entsprechend ihrer Funktionsweise in poröse Absorber, Resonanzabsorber und in Absorber unterteilen, die eine Kombinationen aus beiden Prinzipien darstellen

30

Bei den porösen Absorbern wird die Schallenergie durch Reibung der Luftmoleküle im Absorber in Wärme umgewandelt. Dieser Vorgang wird als Dissipation bezeichnet. Das Absorptionsvermögen ist frequenzabhängig und wird bestimmt von der Porosität, einem Strukturfaktor und einer längenbezogenen Strömungsresistenz. Die Vorteile der porösen Absorber lie-

gen in einer hohen Absorption im mittleren und oberen Frequenzbereich. Der Nachteil besteht im Allgemeinen in einer geringen Absorption bei tiefen Frequenzen.

Der Vorteil der Resonanzabsorber ist eine hohe Schallabsorption bei tiefen Frequenzen. 5
Nachteil ist die geringe Schalldämmung bei den mittleren und hohen Frequenzen. Das Absorptionsvermögen von Resonanzabsorbern wird beschrieben durch die äquivalente Schallabsorptionsfläche und ist abhängig von der Anordnung des Resonators im Raum. Die Kenntnis der Resonanzfrequenz reicht allerdings nicht aus, um das Absorptionsvermögen eines Resonators zu beschreiben. Die „Güte“ bzw. der Gütefaktor, die bzw. der beschreibt, 10
über welche Bandbreite ein Resonator dem Schallfeld Energie entzieht, ist ebenfalls eine wichtige Größe zur Kennzeichnung von Resonatoren. Darüber hinaus ist das maximale Absorptionsvermögen (bei der Resonanzfrequenz) von entscheidender Bedeutung. In den Raumkanten ist die Wirksamkeit größer als in der Mitte der Raumflächen. Deswegen ist bei der Anordnung in den Raumecken die Wirksamkeit am größten. Bei Einsatz mehrerer Re- 15
sonatoren können diese an den geschlossenen Flächen nebeneinander angeordnet werden.

Resonanzabsorber bestehen im Wesentlichen aus einer schwingenden Masse und einer Feder. Die auftreffende Schallenergie wird in kinetische Energie der Masse umgewandelt. Die maximale Absorption tritt im Bereich der Eigenfrequenz auf, wo die Masse am stärksten 20
schwingt. Als Masse können sowohl Platten, z. B. aus Sperrholz, Gipskarton, Pressspan, Kunstleder oder Folie (Plattenschwinger) zum Einsatz kommen, als auch bei gelochten Platten die im Loch schwingende Luft (Lochplatten- oder Lochflächenabsorber, und klassische Helmholtz-Resonatoren). Als Feder wirkt das hinter der Platte bzw. im Volumen eingeschlossene Luftvolumen. Ein klassischer Helmholtz-Resonator besteht aus einem Luftvolumen in 25
beliebiger Form, das einen zylindrischen engeren kurzen Hals mit einer Öffnung nach außen besitzt. Die Masse ist die im Hals befindliche Luft.

Die Einsatzmöglichkeiten von Resonatoren sind sehr vielfältig. In der Raumakustik können Helmholtz-Resonatoren gezielt zur Absorption schmalbandiger, tieffrequenter Raummoden 30
herangezogen werden. Sie können beispielsweise in Konzerthallen, Theatern, Studios, Büro- und Konferenzräumen oder Schulen zum Einsatz kommen. Sie können sowohl sichtbarer Bestandteil der Raumausstattung sein, als auch verdeckt hinter einer offenen Unterdecke bzw. gelochten Deckenplatten angeordnet werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit für Schallschutzvorrichtungen zu schaffen, die auf ein konkretes Schallemissionsprofil bzw. -spektrum ausgelegt sind und damit eine höhere Wirksamkeit als herkömmliche Schallschutzvorrichtungen bietet.

- 5 Diese Aufgabe wird bei der eingangs genannten Schallschutzvorrichtung durch die Anordnung mehrerer Resonatoren mit unterschiedlichen, nämlich voneinander abweichenden Eigenfrequenzen gelöst. Dies lässt sich einerseits durch die Kombination von Resonanzabsorb-
ber, beispielsweise von Helmholtz-Resonatoren, mit unterschiedlichen Abmessungen bewerkstelligen. Die Varianz der Abmessungen betrifft dabei nicht nur die Außenabmessungen
10 der Resonatoren, sondern alle ihre Abmessungen, beispielsweise auch die Abmessungen ihrer jeweiligen Öffnungsflächen, sofern gegeben.

- Unterschiedliche, nämlich voneinander abweichende Eigenfrequenzen lassen sich andererseits auch durch die Kombination von unterschiedlichen Typen von Resonanzabsorb-
15 zieren. Denn Abwandlungen von Resonanzabsorb-ern, zum Beispiel Mikroperforierte Platten- oder Folienabsorber, können sehr wirksam im mittleren und höheren F-Bereichen sein. Dabei können sie auch sehr breitbandig absorbieren. Da beispielsweise Helmholtz-Resonatoren nur unter Verwendung sehr großer Volumina auch hohe Frequenzen absorbieren können, ist in Fällen, in denen auch hohe Frequenzen absorbiert werden sollen, die
20 Kombination von Resonanzabsorb-ern verschiedenen Typs vorteilhaft.

- Durch Kombination beider oben genannter Prinzipien, also durch Kombination von unterschiedlich großen Absorb-ern verschiedenen Typs kann das funktionelle Merkmal der Breit-
bandigkeit erfindungsgemäß zuverlässig erreicht werden.

25

- Handelt es sich bei den Resonanzabsorb-ern um solche mit prismatischen, beispielsweise quaderförmigen Körpern, so lassen sie sich an ihren ebenen Außenwänden aneinander an-
liegend anordnen und so zu einer wandartigen Struktur aufbauen. Grundsätzlich sind die Resonanzabsorber aber auf keine spezielle geometrische Form beschränkt, können also als
30 Vielflächner (Polyeder) ebenflächig begrenzt oder mit gekrümmten Flächen ausgebildet sein. Ihre ebenflächige Ausführung lässt jedoch eine kompaktere Bauform der erfindungsgemä-ßen Schallschutzvorrichtung zu.

Aufgrund der unterschiedlichen Abmessungen der Resonatoren und der Öffnungen bei Helmholtzresonatoren, Mikroperforierte Platten etc. können sie unterschiedliche, voneinander abweichende Eigenfrequenzen aufweisen, die ihre jeweilige maximale Wirksamkeit definieren. Aus der Anordnung einer Vielzahl unterschiedlicher Resonatoren mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen ergibt sich ein breites akustisches Spektrum bzw. eine große Bandbreite an Frequenzen, die „geschluckt“ bzw. absorbiert werden. Da sich die jeweiligen Eigenfrequenzen der wandartig miteinander kombinierten Resonanzabsorbern auf das konkrete Schallprofil abstimmen lassen, gegen das die Schallschutzvorrichtung eingesetzt werden soll, erhält die erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung verglichen mit bekannten Schallschutzwänden eine wesentlich höhere Wirksamkeit bei vergleichbarem Aufwand.

Die Erfindung wendet sich also davon ab, die für den Außenraum bekannten Schallschutzwände mit porösen Absorbern auszustatten oder die für den Innenraum bekannten, quasi punktuell eingesetzten Resonatoren zu verwenden. Sie verfolgt vielmehr das Prinzip, hinsichtlich ihrer Abmessungen verschiedene und hinsichtlich ihres Typs unterschiedliche Resonanzabsorber flächig anzuordnen und auf das jeweils zu dämmende oder zu schluckende Schallemissionsprofil individuell abzustimmen. Vor allem auch durch die erfindungsgemäße Kombination verschiedener Typen von Resonanzabsorbern in einer wandartigen Schallschutzeinrichtung können breitbandig absorbierende Systeme gebildet werden. Die Erfindung zeichnet sich also dadurch aus, dass zum Erreichen einer großen Breitbandigkeit zum ersten Mal verschieden bemessene Resonatoren und unterschiedliche Resonatortypen nach Maßgabe akustischer Erfordernisse in einem zusammenhängend kompakten wandartigen Bauteil zusammengefasst werden. Die Resonatoren bilden erfindungsgemäß keine bloße Aggregation konstruktiv unabhängiger Resonatoren, sondern eine bauliche Einheit in einer zusammenhängenden konstruktiv geschlossenen Struktur. Dabei können Strukturen gebildet werden, in denen es keine zwei identischen Resonatoren gibt. Der Erfindung gelingt es damit, nicht nur eine höhere Wirksamkeit gegenüber bekannten Schallschutzeinrichtungen zu erzielen, sondern bietet auch vielfältige Möglichkeiten für eine ästhetisch ansprechende Gestaltung, insbesondere für Innenräume.

30

Das Prinzip der Erfindung, Resonanzabsorption in einer flächigen Anordnung und in einer individuellen Konstruktion jeder einzelnen Schallschutzvorrichtung durch separate Auslegung jedes einzelnen Resonators anzuwenden, lässt sich sowohl im Außenbereich in der Art klassischer Schallschutzwände einsetzen, die beispielsweise Verkehrswege begleiten oder In-

dustrieanlagen abschirmen, als auch als Fassadenkonstruktion oder in Innenräumen, beispielsweise in Büroräumen, Empfangs- oder Bahnhofshallen, großen Veranstaltungsräumen oder dergleichen. Insbesondere in Innenräumen werden an derartige Schallschutzvorrichtungen hohe gestalterische Anforderungen gestellt, die die erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung zufriedenstellen kann, wie weiter unten detailliert dargestellt wird.

Prinzipiell lässt sich die erfindungsgemäße wandartige Schallschutzvorrichtung mit in der Wandebene verlaufenden Deckplatten und einem aussteifenden Gerüst dazwischen ausbilden. Die Schallschutzvorrichtung als Ganze kann im Innenbereich an eine Boden- oder eine Deckenplatte angeschlossen sein. Für den Außenbereich kann sie einseitig an ihrer Basis im Boden verankert bzw. eingespannt sein. Das aussteifende Gerüst kann sich aus orthogonal zu den Deckplatten verlaufenden, weitgehend geschlossenen streifenförmigen Wandscheiben zusammensetzen, die voneinander getrennte Fächer oder Waben einschließen. Es bildet dann eine Voronoi-Struktur beziehungsweise eine Art Wabenstruktur, in der Außenwände zweier nebeneinanderliegender Resonatoren in einer einzigen Wandscheibe zusammenfallen. Die Deckplatten und das Gerüst haben u.a. den Zweck, Luftvolumina in den Waben schalldicht einzuschließen, die als Feder eines akustisch wirksamen Masse-Feder-Systems dienen soll. Die Deckplatten von Helmholtz-Resonatoren enthalten Öffnungen, so dass sie Resonatorhalse ausbilden, mit denen sie Luftvolumina definieren, die als Massen des Masse-Feder-Systems bilden. Darüber hinaus kann jedenfalls das aussteifende Gerüst die Aufgabe übernehmen, der Schallschutzvorrichtung eine ausreichende Steifigkeit zu bieten. Bei statisch höheren Anforderungen kann es darüber hinaus, gegebenenfalls auch im Zusammenwirken mit den Deckplatten, dafür ausgelegt sein, der Schallschutzvorrichtung eine ausreichende Eigenstabilität zu verleihen, womit die Schallschutzvorrichtung als eigenständiges, selbsttragendes und selbständiges oder sogar als lastabtragendes Bauteil ausgebildet sein kann.

Dafür geeignete Materialien können beispielsweise Beton, insbesondere Textilbeton (TRC), aber auch Holz, Gipskarton, jener gegebenenfalls unter Einbindung von Aluminiumleichtbauprofilen, Metall, vorzugsweise aus Aluminiumleichtprofilen, und andere Materialien mehr darstellen. Für Beton mit all seinen Unterarten, beispielsweise hochfester Beton (HPC), ultrahochfester Beton (UHPC), Textilbeton (TRC), Leichtbeton usw., spricht seine Haltbarkeit, Belastbarkeit, Witterungsbeständigkeit, vielfältige Verarbeitbarkeit und seine vielfältigen ästhetischen Gestaltungsmöglichkeiten. Neben dem klassischen Vergießen von Beton in wie-

derverwendbaren und präparierbaren Schalungen kommen auch Betondruckverfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung in Frage, zumal da sich dabei in einem Arbeitsgang unregelmäßige, raue oder poröse Oberflächen der Deckplatten und Wandscheiben erzeugen lassen, die schalltechnisch günstig sind. .

5

Der Vorteil von Holz als Werkstoff für die erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung wiederum bietet den Vorteil schon von vorneherein günstiger poröser Oberflächen und einem geeigneten Schwingungsverhalten hölzerner Deckplatten und Wandscheiben. Holz bietet darüber hinaus die Möglichkeit einer beispielsweise CNC-gestützten Herstellung und Montage von Bauelementen mittels eines Roboters, was aufgrund der hohen Automatisierungsmöglichkeit Kostenvorteile bietet.

10

Aluminiumleichtbauprofile lassen sich je nach akustischem Erfordernis ganz oder teilweise mikroperforieren bzw. lochen, um ihre Rauigkeit zu erhöhen und ihre Oberflächeneigenschaften hinsichtlich eines geringeren Gütefaktors zu verbessern.

15

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung aus Beton bestehen und raue und offenporige Oberflächen auf der Innenseite ihrer Resonatoren aufweisen. Raue Oberflächen führen zu einer Erhöhung des Reibwiderstandes der bewegten Luft innerhalb der Resonatoren, womit sich höhere Strömungswiderstände an den Innenseiten erzielen, somit der Gütefaktor des Systems senken und damit die Breitbandigkeit des Resonators erhöhen lässt. Die Oberflächenqualitäten der Innenseiten gehen rechnerisch über den Gütefaktor in die Gesamtbewertung des Schallschutzverhaltens eines Resonators ein und sind daher ein bedeutender Faktor für die Schallschutzfunktion. Die Oberflächenrauigkeit kann vorteilhafterweise anwendungsbezogen, d.h. bezogen auf ein gegebenes Schallschutzproblem bzw. auf eine konkrete Emission hin gezielt ausgestaltet werden.

20

25

Eine raue Oberfläche lässt sich durch eine Beschichtung der Innenflächen der Resonatoren mit bekannten porösen Dämmstoffen erzeugen. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung jedoch eine profilierte Oberfläche der Innenseiten der Resonatoren aufweisen. Denn die Herstellung der Schallschutzvorrichtung aus Beton ermöglicht über die Manipulation der Schalungsoberfläche eine einfache Herstellung einer geeigneten, reibungsvergrößernden Oberfläche schon bei der Herstellung der Deckplatten und Wandscheiben an sich. Damit lässt sich ein Verarbeitungsschritt zum Auf-

30

bringen einer separaten, materialfremden und noch dazu im Regelfall weniger dauerhaften Beschichtung erübrigen. Profilierungen bzw. solche schalltechnisch günstigen Oberflächen lassen sich mit Gussbeton, insbesondere HPC, UHPC oder TRC herstellen. Dies erfordert i.d.R. die Präparierung der Schalung bzw. der Schalhaut, beispielsweise durch Behandlung mit Schaumbildnern, z. B. mit Aluminiumoxid, das zu einem „Anschäumen“ der Betonoberfläche führt, durch Säureanwendung (sog. „säuern“ bzw. „absäuern“), durch Strukturierung, insbesondere durch Mikrostrukturierung der Schalung, beispielsweise durch CNC-Verfahren als mechanischer Strukturierung, durch Applikation von Matrizen in Abdruckverfahren zum Zwecke der Texturierung oder Profilierung, oder mittels CNC-Verfahren strukturierte Klebefolien, die auf die Schalhaut appliziert werden, durch Verwendung von Grobholzplatten als Schalung, durch Herstellung rauer oder poröser Oberflächen in ggf. CNC-gestützten Betondruckverfahren etc. Auch andere bekannte Verfahren zum Aufrauen oder Profilieren von Beton lassen sich grundsätzlich einsetzen.

Nach einer dazu alternativen Ausgestaltungsform der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung bzw. können ihre Deckplatten und ihre Wandscheiben einen Schichtaufbau mit einem Betonkern und mit Betonschaumelementen auf ihren Oberflächen aufweisen. Während also der Betonkern für die Tragfähigkeit und Stabilität der Schallschutzvorrichtung dient, sorgen die Oberflächen in Wesentlichen für die hohe Luftreibung. Ein stabiler Betonkern lässt sich insbesondere aus HPC, UHPC oder TRC herstellen. Die Betonschaumelemente werden dann mit dem Betonkern zu einer Art Sandwichplatte gefügt, beispielsweise verklebt. Die Deckplatten können auch lediglich einseitig mit Betonschaumelementen ausgebildet sein, nämlich auf ihren dem Hohlraum bzw. Innenraum der Resonatoren zugewandten Seiten, die insbesondere nicht der Witterung ausgesetzt sind.

Nach einer weiteren alternativen Ausgestaltungsform der Erfindung kann die erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung über Wandscheiben und/oder Deckplatten aus aufgeschäumtem Beton, insbesondere HPC oder UHPC verfügen. Bei geeigneter Stabilität und Belastbarkeit können damit Bauteile mit einer tiefreichenden Porosität hergestellt werden, ohne dass sie nachbehandelt oder mit weiteren Bauteilen kombiniert werden müssten.

Nach einer weiteren alternativen Ausgestaltungsform der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung über grobkörnige partikelartige Zuschlagsstoffe oder Granulate zumindest an den Bauteiloberflächen verfügen. Geeignet sind dafür Feinkies, Blähton, Holzspäne, Kunststoff-

granulate, Glasbruch, Glaskugeln, keramische Partikel usw. Insbesondere durch eine oberflächige Abbindeverzögerung und ein anschließendes Freilegen der Zuschlagsstoffe durch Entfernen des nichtabgebundenen Zementleims lässt sich eine raue Oberfläche erzielen.

5 Die Wirkung von Resonanzabsorbern besteht – wie eingangs erläutert – auf dem Prinzip eines Masse-Feder-Systems. Beim Helmholtz-Resonatoren wirkt die im Hohlraum eingeschlossene Luft als Feder, die im Loch schwingende Luft als Masse. Zum Umkehren der Phase der schwingenden Luftmasse in der Resonatoröffnung gegenüber der Erregerschwingung wird ein Strömungswiderstand bzw. ein Reibwiderstand benötigt. Er verhindert, dass
10 der Resonator bzw. die Luftmasse mit dem auszulöschenden Schallsignal mitschwingt und es ggf. noch verstärkt. In konventionellen Resonatoren wird dazu eine Lage porösen Dämmmaterials im Resonatorvolumen oder eine Lage Vlies direkt vor oder hinter der Resonatoröffnung aufgebracht.

15 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung eine Mehrzahl an Resonatoröffnungen je Resonator aufweisen und/oder eine hohe Reibung in der Resonatoröffnung selbst aufweisen. Durch die Mehrzahl an Resonatoröffnungen kann bei gleichbleibender Masse eine größere potentielle Reibfläche an den Resonatoröffnungen erzeugt werden. Insbesondere, wenn die Reibung in den Resonatoröffnungen durch Oberflächenbehandlungen oder -beschichtungen der Innenflächen der Öffnungen erhöht ist, lässt
20 sich eine gute Dämmwirkung erzielen.

Die Resonatoröffnungen können vor allem bei Anwendungen im Außenraum mit einem schalltechnisch neutralen Material, zum Beispiel einer Gaze oder einem feinen Drahtgewebe
25 abgedeckt sein, um das Eindringen von Vögeln, Insekten und Staub etc. zu verhindern.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung über Deckplatten aus einem transparenten Material wie Acryl oder Glas verfügen. Dadurch lässt sich eine fast vollständig durchsichtige Schallschutzwand erzielen, die vielfa-
30 che optische Vorteile beispielsweise hinsichtlich der Sichtbeschränkung oder Orientierung von Verkehrsteilnehmern, der Belichtung und allgemein des ästhetischen Gesamteindrucks hat. Neben einer vollständig durchsichtigen Schallschutzwand lässt sich auch eine teilweise durchsichtige Schallschutzvorrichtung erstellen, die als gestalterisches Element Einblick in ihr Inneres zulässt. Auch die Kombination von undurchsichtigen, teildurchsichtigen und voll-

ständig durchsichtigen Abschnitten der Schallschutzvorrichtung bzw. ihrer entsprechenden Resonatorelemente kann vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten bieten.

Die Resonatoröffnungen sind in der Regel rund. Es können aber auch andere Formen gewählt werden, zum Beispiel polygonale Öffnungen. Sie können beispielsweise bei der Verwendung von Verbund-Sicherheitsglas (VSG) als Deckplatten erforderlich sein. Die Herstellung von kreisförmigen Öffnungen in VSG ist aufgrund der Verwendung von Klebefolien sehr aufwändig. Hier ist es vorteilhaft, sogenannte gerade Schnitte zu setzen, so die VSG-Scheiben annähernd auf die Größe einzelnen Fächer des Gerüsts zuzuschneiden und schließlich die einzelnen Scheiben so auf dem Resonatorgerüst anzuordnen, dass aufgrund des Größenverhältnisses von Resonatorfach und geringfügig kleinerer Scheibe als Deckplatte des Fachs eine Öffnung ausgebildet wird.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die Helmholtz-Resonatoren über eine Resonatoröffnung verfügen, an der ein rohrförmiger Hals oder Kragen ausgebildet ist. Er verleiht der Resonatoröffnung in einer Erstreckungsrichtung orthogonal zur Plattenebene eine größere Länge als nur die Materialdicke der Deckplatte. Der Hals kann in einer vom eingeschlossenen Luftvolumen weg weisenden Richtung oder in es hinein gerichtet verlaufen. Mit der Ausbildung eines derartigen Halses, dessen Querschnittsgeometrie funktional weitgehend unerheblich ist, kann sowohl die schwingende Masse des Masse-Feder-Systems als auch dessen Reibung im Hals des Resonators beeinflusst werden. Mit Veränderung allein dieser Größen bereits lassen sich die Resonanzfrequenz, die Breitbandigkeit und der Absorptionsgrad des Resonators bei im Übrigen unveränderten Hohlraumvolumen beeinflussen. Mit einem Hals, der in das Resonatorvolumen hinein gerichtet ist, lässt sich die Schallschutzvorrichtung mit ebenen Außenflächen ausbilden.

Grundlage der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung ist die Anordnung von Resonanzabsorbern, insbesondere von Helmholtz-Resonatoren in einer wandartigen Struktur nebeneinander. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung über eine Anordnung unterschiedlicher Resonatortypen in einer zur Wandebene orthogonalen Richtung bzw. hintereinander verfügen. Damit lässt sich eine platzsparende und konstruktiv kompakte Anordnung der unterschiedlichen Resonatortypen erzeugen, die zudem aufgrund ihrer unterschiedlichen Absorptionseigenschaften zu einem erhöhten Wirkungsgrad der Schallschutzvorrichtung beitragen kann. Beispielsweise lassen

sich Helmholtz-Resonatoren und mikroperforierte Platten- und Folienresonatoren in einer Art Sandwich und orthogonal zur Wandebene betrachtet hintereinander anordnen.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung Hälse der Helmholtz-Resonatoren an ihrer einer Schallquelle zugewandten Resonatoröffnungen verfügen, die als Abstandhalter von Absorberplatten auf der der Schallquelle zugewandten Deckplatte der Helmholtz-Resonatoren dienen. Als Absorberplatten lassen sich Lochplatten, geschlitzte Platten oder mikroperforierte Absorberplatten (Platten-Resonatoren, Helmholtz-Resonatoren und MPA) einsetzen. Die Hälse der Helmholtz-Resonatoren erhalten damit eine Doppelfunktion, nämlich einerseits die einer verlängerten Resonatoröffnung, die sich hinsichtlich ihres Durchmessers und ihrer Länge variieren lässt, und andererseits die von Abstandhaltern zur Definition eines weiteren Luftvolumens, das als Feder beispielsweise eines Mikroperforierten Platten-Absorbers fungiert.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die Hälse elastisch ausgebildet sein und eine geschlossene Platte oder mehrere geschlossene Platten in einem definierten Abstand von den Deckplatten der Helmholtz-Resonatoren halten. Die Hälse der Helmholtz-Resonatoren erhalten damit eine Doppelfunktion, nämlich einerseits die einer verlängerten Resonatoröffnung, die sich hinsichtlich ihres Durchmessers und ihrer Länge variieren lässt, und andererseits zugleich die von Federn eines klassischen Plattenschwingers, wobei die geschlossene Platte die Masse des Masse-Feder-Systems darstellt.

Alternativ kann auf die Doppelfunktion verzichtet werden. Die Hälse fungieren dann als Federn eines klassischen Plattenschwingers. Darüber hinaus ist auch eine Kombination von elastischen und steifen Hälsen möglich, wobei wenige, beispielsweise drei oder vier steife Hälse nach Art von Hohlrohren die Platte konstruktiv auf Abstand halten und eine im Prinzip beliebige Zahl elastischer Hälse in der von den steifen Hälsen definierten Fläche dazwischen mitfedern, sodass die Plattenschwingerfunktion gewährleistet ist.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die einer Schallquelle zugewandten Deckplatten der Helmholtz-Resonatoren gegenüber dem Gerüst aus den Wandscheiben elastisch gelagert sein. Insbesondere bei Deckplatten, deren Material von demjenigen des Gerüsts abweichen, kann die elastische Lagerung bzw. Entkoppelung der Kompensation der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Materialien die-

nen. Glas oder Acrylglas lässt sich beispielsweise mit einer Silikonverklebung als dauerelastische Masse gegenüber einem Gerüst aus Beton abdichten. Separate Rahmen mit Dichtstreifen dazwischen können für eine Anpressung der Deckplatten und für eine Abdichtung der Fugen zwischen den Bauteilen aus unterschiedlichen Materialien dienen.

5

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Schallschutzvorrichtung über sogenannte Sound-Screen-Improver an ihrer freien Oberseite verfügen. WIKIPEDIA® definiert Sound-Screen-Improver (SSI) als Vorrichtungen, mit denen versucht wird, den Wirkungsgrad von Schallschutzwänden zu erhöhen. Im Allgemeinen sind es im Querschnitt
10 zylinder- oder prismenförmige Objekte, die an einer Oberkante einer Schallschutzvorrichtung befestigt sind. Aufgrund ihrer besonderen Geometrie, ihrer Neigung zur Fahrbahn, der Verwendung von absorbierenden Materialien und ihrer im Gegensatz zu scharfen Kanten abgerundeten Form werden Beugungseffekte reduziert und so ein größerer Raum hinter der Schallschutzwand vor Schallwellen geschützt.

15

Die eingangs genannte Aufgabe wird außerdem gelöst durch die Verwendung einer Anordnung von Resonanzabsorbern, insbesondere von Helmholtz-Resonatoren nach einem der obigen Ansprüche, als flächige bzw. wandartige Schallschutzvorrichtung.

20

Die eingangs genannte Aufgabe wird außerdem durch ein Verfahren zur Erstellung einer Schallschutzvorrichtung insbesondere oben beschriebenen Art gelöst, die folgende Schritte umfasst:

25

- a) Erfassen des akustischen Profils eines Raums oder Prognostizieren einer Schallemission bzw. eines akustischen Emissions-Spektrums an einem Zielstandort für die
Schallschutzvorrichtung,
- b) Berücksichtigung konstruktiver Erfordernisse,
- c) Ausgabe eines Ergebnisses als Hilfsmittel zur Herstellung der Vorrichtung.

30

Die Aufnahme einer Schallemission an einem Zielstandort zum Erfassen des akustischen Profils des Raums lässt sich durch eine frequenzabhängige Pegelmessung nach DIN leisten. Eine Prognose einer Schallemission kann sich auf Erfahrungen mit Hilfe vergleichbarer Werte bereits erfolgter Pegelmessungen stützen. Außerdem können, insbesondere durch entsprechende Software, virtuelle akustische Modelle eines Raums erstellt werden, die als Grundlage der Berechnung dienen können. Die erfasste oder prognostizierte Schallemission

stellt die Grundlage für einen gewünschte oder aufgrund vorhandener Regelungen bzw. Gesetze geforderten Geräuschpegel dar, um insbesondere vorgeschriebene Schallschutzanforderungen zu erfüllen. Mit der erfassten oder prognostizierten Schallemission einerseits und einem zu erreichenden Geräuschpegel liegen die Ausgangsdaten vor, um daraus geeignete
5 und erforderliche Resonatoren zu ermitteln. Entsprechend der oben beschriebenen Schallschutzvorrichtung können Helmholtz-Resonatoren als Grundlage für die wesentliche Absorptionsleistung der Schallschutzvorrichtung dienen. Unterstützend können weitere Resonatoren, wie Platten- oder Mikroperforierte Platten-Absorber (MPA) hinzutreten, die gemäß obiger Beschreibung in Schallrichtung „parallel“ oder „in Reihe“ geschaltet sein können.
10 Schließlich ist eine Anordnung der Resonatoren in einer Wandfläche vorzunehmen. Dabei ist nicht nur die rein räumliche Anordnung der einzelnen Resonatoren zueinander, sondern auch ihre Statik und diejenige der gesamten Schallschutzvorrichtung zu berücksichtigen. Denn sie kann sich – wie oben bereits erläutert – als selbständiges Bauteil, beispielsweise als fahrwegbegleitende Lärmschutzwand auf einem eignen Fundament darstellen oder als
15 vorgehängte Fassade an einem Bauwerk montiert werden.

Die Berücksichtigung konstruktiver Erfordernisse gemäß Schritt b lässt sich in die Definition von jeweils geeigneten Parametern für akustische und statische Erfordernisse untergliedern, die jeweils zu einem gemeinsamen oder mehreren geeigneten Absorberlayout(s) führen.
20 Mithilfe der Parameter lässt sich die Anwendung der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung nicht nur als klassische Lärmschutzwand entlang von Verkehrswegen, sondern auch in Tunneln und in Unterführungen, beispielsweise in den Wänden oder in der Decke integriert, auf öffentlichen Plätzen, als Fassadenelemente im öffentlichen Bereich und allgemein in Lärmschutzsanierungsmaßnahmen erfassen. Für Innenräume bietet sich die An-
25 wendung in Bürogebäuden und dort beispielsweise in Foyers und Treppenhäusern, als Raumtrenner oder Brüstung, als Decke von Großraumbüros und dergleichen, aber auch in anderen stark frequentierten öffentlichen Räumen wie Bahnhofshallen, Flughäfen, ÖPNV-Stationen, Einkaufszentren oder Veranstaltungsräumen wie Konzert- oder Messehallen. Diese Anwendungen beeinflussen das verwendbare Material, zum Beispiel Beton, Holz, Gips-
30 karton, Glas, Acrylglas, Holzzementplatten und dergleichen. Das Material ist zusammen mit der Statik daraufhin auszulegen, ob die Schallschutzvorrichtung als selbsttragend oder konstruktiv integriertes Element, als vorgehängte Fassade oder dergleichen zum Einsatz kommt. Die Geometrie insbesondere der Helmholtz-Resonatoren bestimmt sich einerseits nach der erforderlichen Akustik, Statik und dem gewählten Material, kann sich aber auch an gestalte-

rischen Kriterien orientieren und eine Polygonstruktur, Rechtecke, regelmäßige und unregelmäßige Vielecke oder runde Strukturen aufweisen. Die Gestaltung kann außerdem zu den ortsspezifischen Parametern gehören, zum Beispiel wenn die Schallschutzvorrichtung in einem historischen Umfeld angeordnet wird. Weitere ortsspezifische Parameter können eine
5 Baugrundbelastbarkeit für die Schallschutzvorrichtung sein, die eine Materialauswahl beeinflussen kann, mögliche Fundamentabmessungen oder eine verfügbare Fläche und dergleichen. Durch Berücksichtigung einer oder aller dieser Parameter führt die Erfindung zur Erzeugung von hoch individuellen Produkten. Ihr Entwurf kann auf einem Datenmodell beruhen und sich mit Hilfe moderner Datenverarbeitungstechnologien und Roboter bzw. CNC-
10 basierten Produktionstechnologien vorteilhaft automatisieren lassen.

Das Verfahren kann mit Schritt c in der Erstellung eines 3D-Modells und/oder der Erstellung von Ausführungsplänen für die erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung als Hilfsmittel bzw. Werkzeug zur Herstellung der Schallschutzvorrichtung münden. Beide Vorgänge können vorzugsweise digital ablaufen. Die daraus gewonnenen Daten können unmittelbar in
15 einer Produktionseinrichtung zur konkreten Schallschutzvorrichtung oder zu Bestandteilen davon verarbeitet werden.

Die Erfindung wendet sich also davon ab, lediglich auf allgemeinen Erfahrungen beruhende
20 Schallschutzkonstruktionen zu übernehmen. Sie verfolgt vielmehr das Prinzip, die konkreten Schallemissionen an einem Zielstandort zu erfassen und daraus eine auf die konkret vorliegenden Verhältnisse und auf eine zu erzielende Absorptionsleistung hin dimensionierte Schallschutzvorrichtung zu entwerfen und zu erstellen. Damit ermöglicht sie eine höhere Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung gegenüber bekannten Einrich-
25 tungen vergleichbaren Ausmaßes. Mit der steigenden Leistungsfähigkeit erhalten derartige Schallschutzvorrichtungen eine höhere Akzeptanz, so dass sie breiter angewendet werden können. Aufgrund der oben genannten ästhetischen Vorteile der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung lässt sich das Verfahren auch allgemein für den öffentlichen Raum jenseits von Verkehrswegen und in stark frequentierten Innenräumen anwenden.

30

Das Prinzip der Erfindung wird im Folgenden anhand einer Zeichnung beispielshalber noch näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

- Figuren 1 bis 3: einen Aufbau einer erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung aus Holzwerkstoffen,
- Figuren 4a bis 4d: einen Aufbau aus Beton,
- Figuren 5a bis 5d: einen Bestandteil eines Schalungssystems,
- 5 Figuren 6a bis 6c: eine Ausführungsform mit in Reihe kombinierten Resonatoren,
- Figuren 7a bis 7c: eine Ausführungsform mit parallel kombinierten Resonatoren,
- Figur 8: ein Ablaufdiagramm eines Herstellungsvorgangs
- Figur 9: eine Ausführungsform als Kontinuum,
- Figuren 10 und 11: einen Demonstrator eines Textilbeton-Leichtbauabsorbers, Anordnung
- 10 von drei Helmholtzresonatoren zu einem Modul,
- Figur 12: eine Prinzipdarstellung einer flexiblen Knotenschalung für die Fertigung eines Textilbeton-Leichtbauabsorber zur Verbindung von vier Stegen,
- Figur 13: eine Prinzipdarstellung des Anschlusses der Stegchalung an das Knotenelement für eine Verbindung von vier Stegen.

15

Die Figuren 1 bis 3 zeigen ein Element 1 einer erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung, das aus einer Anzahl an Helmholtz-Resonatoren besteht, die in einer Wandebene angeordnet sind: In Figur 1 sind zunächst eine hintere Deckplatte 2 und ein aussteifendes Gerüst 3 dargestellt. Die hintere Deckplatte 2 besteht aus einer ebenflächigen und vollständig geschlossenen Platte aus Holzzement bzw. Holzfasermaterial. Das aussteifende Gerüst 3 setzt sich aus einer Vielzahl an streifenförmigen geschlossenen Wandscheiben 3b zusammen, die eine unregelmäßige wabenartige Struktur bilden und von einem rechteckigen Rahmen 3a umgeben werden. Das Gerüst 3 ist beispielhaft aus Holz oder Holzwerkstoff ausgebildet und in an sich bekannter Weise montiert, kann aber aus jedem weiteren Material bestehen, das

20 die entsprechende Tragfähigkeit und eine akustisch wirksame Oberfläche besitzt. Das Gerüst 3 untergliedert das Gesamtvolumen des Element 1 in unterschiedlich große und unregelmäßig geformte viereckige, rechteckige und quadratische Fächer 4. Die Innenräume der Fächer 4 bilden später die Hohlräume der Helmholtz-Resonatoren. Das Gerüst 3 ist im Übrigen nach gewöhnlichen statischen Erfordernissen konstruiert, so dass sich das Element 1

30 selbst trägt und ohne weitere Abstützungen auf einem nicht dargestellten Fundament wandartig aufgestellt werden kann.

Wenngleich die Ausbildung als aussteifende Rahmenkonstruktion möglich ist, muss der Begriff Rahmen nicht im statisch konstruktiven Sinne verstanden werden. „Rahmen“ kann zu-

nächst nur den oberen und unteren Abschluss sowie die seitlichen geometrischen Begrenzungen eines Bauteils oder eines Wandsegmentes bezeichnen. Ist der Rahmen orthogonal ausgebildet, so beeinflusst dies in der Regel die Geometrie der Resonatoren im Randbereich. Sie erscheinen gleichsam wie abgeschnitten. Eine Variante ist die „Verzahnung“ von Bauteilen bzw. von Segmenten im Sinne eines Kontinuums, wie es Figur 9 zeigt. Die Resonatoren behalten ihre errechnete Geometrie bei, sodass sich ein unregelmäßig geformter Rand ergibt, der im Sinne einer Positiv-Negativ-Figur oder eines Puzzles passgenau mit dem benachbarten Segment zusammengefügt und beispielsweise mittels Schraubverbindungen kraftschlüssig bzw. gemäß statischer Erfordernis verbunden werden kann. Während durch die optische Dominanz der orthogonalen Rahmenstruktur einzelne Wandsegmente leicht identifiziert werden können, entsteht im zweiten Fall der Eindruck einer kontinuierlichen, ununterbrochenen Struktur. Ein Vorteil dieser Bauweise ist, dass nur wenige Resonatoren angeschnitten und hinsichtlich ihrer funktional-akustischen, schallabsorbierenden Wirkung beeinträchtigt oder justiert werden müssen.

Figur 2 zeigt zusätzlich die Lage von Resonatorhälsen 5 innerhalb der Fächer 4. Die Hälse 5 bestehen aus beidseits offenen zylindrischen Rohrstücken, die - hier vereinfacht - alle denselben Durchmesser und dieselbe Länge aufweisen. In real errechneten Modellen werden die Hälse 5 in ihren Dimensionen der akustischen Auslegung des einzelnen Resonators folgend weitestgehend unterschiedlich oder unterschiedlicher Anzahl bzw. unterschiedlichen Volumens sein. Die Hälse 5 sind an einer entsprechend gelochten, vorderen Deckplatte 6 befestigt, die in Figur 3 dargestellt ist. Die vordere Deckplatte 6 bedeckt das aussteifende Gerüst 3 vollflächig und vollständig, und hat die gleichen Außenabmessungen wie die hintere Deckplatte 2. Anders als jene ist die vordere Deckplatte 6 mit kreisrunden Löchern 7 perforiert, die denselben Durchmesser wie die Resonatorhälse 5 haben und mit ihnen korrespondieren. Die Resonatorhälse 5 sind von einer in Figur 3 nicht zu sehenden Rückseite der vorderen Deckplatte 6 aus an den Löchern 7 konzentrisch befestigt. Die Hälse 5 sind jedoch nicht so lang, wie das Element 1 und insbesondere das aussteifende Gerüst 3 tief ist. Sie reichen also nicht bis an die hintere Deckplatte 2 heran, sondern enden zuvor. Damit steht ein Luftinhalt 8 innerhalb der Hälse 5 in Verbindung mit Innenraum der Fächer 4.

Das vollständige Element 1, wie es Figur 3 zeigt, setzt sich also aus achtzehn beidseits verschlossenen Fächern 4 zusammen, die an der vorderen Deckplatte 6 jeweils eine Öffnung durch ein Loch 7 mit einem nach innen auskragenden Hals 5 haben. Damit setzt sich das

Element 1 aus achtzehn einzelnen Helmholtz-Resonatoren zusammen. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der Fächer 4 und der damit darin eingeschlossenen Luftvolumina bieten die achtzehn Helmholtz-Resonatoren eine unterschiedliche Charakteristik ihrer Schallabsorptionsleistung. Damit bietet das Element 1 bereits aufgrund seines Aufbaus aus unterschiedlich dimensionierten Helmholtz-Resonatoren eine beträchtliche Frequenz-Bandbreite, die es zu dämpfen vermag. Die Materialwahl, nämlich Holz für das aussteifende Gerüst 3 und Holzzementplatten für die hintere Deckplatte 2 und die vordere Deckplatte 6 mit seiner rauen offenporigen Oberfläche sorgt für einen hohen Strömungswiderstand von bewegter Luft innerhalb der Fächer 4 und insbesondere innerhalb der Hälse 5. Die hier beschriebene Struktur könnte in gleicher Form auch aus Textilbeton oder im Betondruckverfahren hergestellt werden. Sie hätte dann aber andere akustische Eigenschaften.

Jeder Helmholtz-Resonator wirkt dadurch als Schallabsorber, da auftreffender Luftschall die Luftvolumina 8 der Hälse 5 in Bewegung versetzt. Das Luftvolumen 8 ruht wie auf einer Feder auf dem Luftinhalt jedes Faches 4. Damit stellt das Luftvolumen 8 eine Masse und der Luftinhalt des zugehörigen Faches 4 eine Feder eines Masse-Feder-Systems dar, das in der Lage ist, eine Schwingung aus Luftschall in eine Bewegungsenergie einer schwingenden Masse umzusetzen und damit zu absorbieren. Die Reibung strömender Luft insbesondere in den Hälsen 5 verhindert, dass das Luftvolumen 8 die Schwingungsanregung aus dem Luftschall lediglich übernimmt und in derselben Frequenz schwingt. Die rauen Oberflächen der Fächer 4 bzw. des Helmholtz-Resonators sorgen vielmehr für eine Dämpfung der Schwingungsbewegungen der Masse bzw. des Luftvolumens 8 bis hin zu einem Umkehren seiner Phase, so dass es entgegen der anregenden Schwingung des Schalls schwingt. Darüber hinaus ändert sich das Absorptionsverhalten eines im Inneren bedämpften Resonators dahingehend, dass sich seine Absorptionsleistung auf ein breiteres Frequenzspektrum verteilt – er wirkt breitbandiger. Unbedämpfte Resonatoren wirken punktuell mit extrem hohem Wirkungsgrad, bedämpfte Systeme wirken i.d.R. breitbandiger mit etwas niedrigerem Wirkungsgrad.

Die Anordnung der Löcher 7 auf der vorderen Deckplatte 6 orientiert sich an den dahinterliegenden Fächern 4 und der Ausrichtung zum Außenraum. Hier wird eine Lage der Resonatoröffnung bevorzugt, die sich dem Maximum des Schalldruckpegels im zu bedämpfenden Raum zuwendet. Die Lage jedes Loches 7 relativ zum jeweiligen Fach 4 kann weitestgehend beliebig gewählt werden, so dass sich eine Vielzahl an Anordnungsmöglichkeiten

der Löcher 7 und damit breite Gestaltungsmöglichkeiten für die vordere Deckplatte 6 schon bei dem gegebenen aussteifendem Gerüst 3 bieten. Weitere Variationsmöglichkeiten ergeben sich durch die Gestaltung des aussteifenden Gerüsts 3 bzw. durch Form und Anordnung der Fächer 4, wie in den Beispielen der folgenden Figuren noch exemplarisch dargestellt wird.

Figur 4a zeigt ein vergleichbares Element 10 einer erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung. Es besteht prinzipiell aus den gleichen Bestandteilen, nämlich einer hinteren Deckplatte 12 und einem aussteifendem Gerüst 13, das eine Vielzahl an unregelmäßig und unterschiedlich geformten Fächern 14 ausbildet. Wie in der Darstellung in Figur 2 sind auch in Figur 4a jedem Fach 14 zugeordnete Resonatorhalse 15 gezeigt, die an einer nicht dargestellten vorderen Deckplatte befestigt sind.

Das aussteifende Gerüst 13 setzt sich aus einem Rahmen 13a und einer Vielzahl geschlossener Wandscheiben 13b zusammen, die sich an Knotenpunkten 16 in unterschiedlichen Winkeln treffen. Dadurch ergibt sich eine wabenartige Struktur des aussteifenden Gerüsts 13 aus den unterschiedlich geformten und unterschiedlich großen vieleckigen Fächern 14.

Als Material für das aussteifende Gerüst 13 dient Beton. Um ihn in einer möglichst geringen Materialdicke für die geschlossenen Wandscheiben 13b bei einer gleichzeitig möglichst hohen Stabilität und Belastbarkeit einsetzen zu können, kann hochfester Beton (HPC), ultrahochfester Beton (UHPC), beides ggf. als Textilbeton (TRC) verwendet werden. Vor allem HPC und UHPC zeichnen sich durch ein dichtes und homogenes Gefüge mit einem geringen Kapillarporenanteil aus. Ihre Oberflächen sind also sehr glatt. Um ein für Absorptionszwecke geeignetes raues Oberflächengefüge zu erzielen, können die geschlossenen Wandscheiben 13b aus einem Betonkern 17 insbesondere aus einem der drei Spezialbetone bestehen und mit einer Beschichtung 18 aus einem porösen Material, beispielsweise einem herkömmlichen Dämmstoff oder einem geschäumten Beton versehen sein. Eine Schnittansicht einer derartigen sandwichartigen geschlossenen Wandscheibe 13b zeigt Figur 4b.

30

Figuren 4c und 4d stellen vergleichbare Schnittansichten durch eine geschlossene Wandscheibe 13b dar. Gemäß Figur 4c ist sie ebenfalls aus einem Betonkern 17 wie in Figur 4b hergestellt, nun aber einteilig mit einer Beschichtung 18 aus aufgeschäumtem Beton versehen. Dies gelingt in einem gemeinsamen Herstellungsprozess, bei dem auf der Schalhaut

ein Schaumbildner aufgebracht ist, der die Oberfläche des Betons aufschäumt. Damit lässt sich eine geschlossene Wandscheibe 13b herstellen, deren Kern 17 und deren poröse Beschichtung 18 einstückig und im selben Herstellungsprozess entstehen, und mit der ein separater Bearbeitungsschritt für das Aufbringen einer Beschichtung 18 entfallen kann. Die einstückige Herstellung des Kerns 17 und der Beschichtung 18 verspricht auch deren sehr dauerhafte Verbindung.

Figur 4d zeigt eine weitere Schnittansicht aus einer geschlossenen Wandscheibe 13b und der zu ihrer Herstellung verwendeten Schalungsteile 19. Die Wandscheibe 13b ist nun nicht mehr mit einer geschäumten Beschichtung versehen, sondern weist eine profilierte Oberfläche 20 auf. Sie wird bereits bei der Herstellung der geschlossenen Wandscheibe 13b erzeugt, indem das dafür verwendete Schalungsteil 19 eine entsprechende bzw. negativ profilierte Oberfläche aufweist. Auch die Vielzahl an Ecken und Kanten der profilierten Oberfläche 20 erzeugt einen hohen Reibwiderstand strömender Luft, der im gesamten Innenraum der Fächer 14 wünschenswert ist und die Absorptionsleistung der Helmholtz-Resonatoren erhöht. Die in den Schnitten 4b bis 4d dargestellten Herstellungsprinzipien für die geschlossenen Wandscheiben 13b lassen sich selbstverständlich auch auf die den Fächern 14 zugewandten Innenseiten der hinteren Deckplatte 12 und der nicht dargestellten vorderen Deckplatte sowie der Innenseiten der Rahmen 13a anwenden. Auch eine Kombination der in den Figuren 4c und 4d dargestellten Prinzipien ist möglich.

Ein wesentlicher Vorteil der Herstellung der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung aus Beton besteht in der Wiederverwendbarkeit der dabei eingesetzten Schalung. Wegen der Vielzahl an unterschiedlichen Winkeln, in der die geschlossenen Wandscheiben 13b an den Knotenpunkten 16 aufeinander treffen können, der unterschiedlichen Anzahl der an den Knotenpunkten 16 zusammentreffenden Wandscheiben 13b und der unterschiedlichen Länge der Wandscheiben 13b müssen die Bestandteile der Schalung eine hohe Flexibilität ihrer Kombinationsmöglichkeiten aufweisen. Die unterschiedlichen Längen der Wandscheiben 13b lassen sich durch entsprechende Schalungsteile 19 in unterschiedlicher Länge ausbilden. Für die unterschiedlichen Knotenpunkte allerdings jeweils ein eigenes Schalungsteil vorzuhalten, würde einen unvermeidbaren Aufwand und Bevorratungsbedarf darstellen. Sie lassen sich daher nach den Figuren 5a bis 5d mit flexiblen Schalungsabschnitten 21, 22 ausbilden, die beispielhaft nur für die Erstellung einer spitzen Außenecke erläutert werden, sich aber auch auf Knotenpunkte 16 (vergleiche Figur 4a) anwenden lassen, in der sich eine

Mehrzahl an geschlossenen Wandscheiben 13b in nahezu jedem beliebigen Winkel treffen, wie Figuren 12 und 13 verdeutlichen.

Dazu sind die Schalungsabschnitte 21, 22 gemäß Figur 5 a bis d aus jeweils zwei starren
5 Streifen 23 und einem dazwischen angeordneten flexiblen Streifen 24 zusammengesetzt. Die starren Streifen 23 werden spezifisch abgelängt und können aus herkömmlichen steifen Schalungsmaterialien ausgebildet sein, beispielsweise aus beschichtetem Multiplex bzw. Betoplan. Der dazwischen weitgehend bündig befestigte flexible Streifen 24 besteht aus einem flexiblen und betonbeständigen Kunststoff. Jeweils die linken starren Streifen 23 der
10 Schalungsabschnitte 21 und 22 werden gegenüberliegend parallel zueinander in herkömmlicher Weise z.B. mit bekannten Abstandhaltern gemäß Figur 5b fixiert. Anschließend kann der dem Betrachter zugewandte Schalungsabschnitt 21 im Bereich seines flexiblen Streifens 24 gebogen werden, bis die beiden starren Streifen 23 des Schalungsabschnitt 21 in einem gewünschten Winkel zueinander stehen. Anschließend kann gemäß Figur 5c auch der be-
15 trachterabgewandte Schalungsabschnitt 22 an seinem flexiblen Streifen 24 entsprechend ausgelenkt werden, so dass sein rechter steifer Streifen 23 demjenigen des Schalungsabschnitts 21 gegenüber liegt. In dieser Lage werden sie wieder in bekannter Weise parallel zueinander fixiert. Um nun auch während des Betoniervorgangs auch die gewünschte Position auch unter Belastung aufrecht zu erhalten, lassen sich Feststellwinkel 25 in die Innen-
20 ecken einsetzen gemäß 5d. Jetzt lassen sich die Schalungsabschnitte 21, 22 an solche für die geschlossenen Wandabschnitte 13b anschließen.

Für die Ausbildung unterschiedlicher Winkel und mehrfach verzweigter Knotenpunkte 16
25 (vgl. Figuren 4a bzw. Figuren 12, 13) brauchen folglich nicht jeweils individuelle Schalungsabschnitte 21, 22 vorgehalten zu werden. Sie lassen sich in einer Vielzahl unterschiedlicher Konstellationen anwenden, ohne dass sie selbst modifiziert werden müssten. Alleine die Feststellwinkel 25 stellen Bestandteile eines Schalungssystems dar, die weitgehend individuell und nur für einen einzigen konkreten Winkel eingesetzt werden können. Und selbst sie lassen sich insofern mehrfach einsetzen, als sie untereinander kombinierbar ausgestaltet
30 sein können, so dass mehrere Feststellwinkel für kleinere Winkel gemeinsam einen größeren Winkel ausbilden können. Damit lässt sich trotz der Vielzahl erforderlicher unterschiedlicher Knotenpunkte 16 ein Schalungssystem angeben, das keine unüberschaubare Anzahl an Einzelteilen erfordert und dennoch eine Vielzahl an Formen vorgeben kann.

Die Figuren 6a bis 6c zeigen drei Darstellungen (planar, perspektivisch und in Explosionsdarstellung) einer weiteren Ausgestaltungsform einer erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung. Sie enthält zwei Resonatortypen, nämlich Helmholtz-Resonatoren und MPA die in Schallrichtung betrachtet quasi „in Reihe“ hintereinander angeordnet sind. Eine erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung kann sich durch Kombination mehrerer Elemente 30 nebeneinander und übereinander zusammensetzen. Das Element 30 besteht aus einer geschlossenen hinteren Deckplatte 31, einem aussteifendem Gerüst 32, die prinzipiell hergestellt und ausgebildet sein können wie diejenigen aus den Figuren 1 bis 5. Im zusammengebauten Zustand ergeben sich dadurch die an sich bereits beschriebenen Fächer 33, deren Volumina jeweils Bestandteile einzelner Helmholtz-Resonatoren darstellen.

Jedes Fach 33 ist hier nun jedoch von einer eigenen vorderen Deckplatte 34 abgedeckt. Jede einzelne Deckplatte 34 ist in einem Falz, die sich an den Deckplatten 34 zugewandten Stirnseiten des Gerüsts 32 ausbilden lässt, dauerelastisch verklebt. Selbst benachbarte Deckplatten 34 weisen daher keine steife Verbindung untereinander auf. Jede Deckplatte 34 weist ein Loch 35 auf, auf dem ein zylindrischer Hals 36 befestigt ist, der anders als in den bisherigen Ausführungsbeispielen, nicht in das Fach 33 hineinragt, sondern von ihm weg weist und nach außen gerichtet ist. Die Hälse 36 stellen damit Abstandhalter und/oder Befestigungsmöglichkeiten für eine gelochte Frontplatte 37 dar, die einerseits eine zeilenförmiges gleichmäßiges Lochmuster 39 aus kleinen Perforationen und ein unregelmäßig verteiltes Lochmuster unterschiedlich großer Löcher 38 aufweist. Die Löcher 38 korrespondieren mit den Hälsen 36 bzw. den Löchern 35 in den vorderen Deckplatten 34. Die Frontplatte 37 ist darüber hinaus transparent, so dass sie einen Durchblick auf die hinter ihr liegenden Struktur bietet, wie Figuren 6b und 6c verdeutlichen.

Jedes Element 30 stellt sich als ein Schallabsorptionselement dar, das zwei Absorbertypen in Schallrichtung hintereinander aufweist. Denn jedes Fach 33 im Gerüst 32 bildet zusammen mit der hinteren Deckplatte 31 und ihrer jeweiligen vorderen Deckplatte 34, dem Loch 35 und dem zugehörigen Hals 36 einen Helmholtz-Resonator. Die unregelmäßige Form des aussteifenden Gerüsts 32 liefert Helmholtz-Resonatoren unterschiedlicher Größe und damit unterschiedlichen Absorptionsverhaltens. Die auf den Hälsen 36 aufgelagerte Frontplatte 37 wiederum stellt einen weiteren Absorbertyp dar, der nach dem Prinzip des MPAs funktioniert. Das zwischen der vorderen Deckplatte 34 und der Frontplatte 37 eingeschlossene Luftvolumen stellt demzufolge selbst wiederum eine Feder dar, auf dem das Luftvolumen in den Per-

forationen der Frontplatte 37 gelagert ist und als Masse wie auf einer Feder schwingen kann. Damit ergibt sich eine Kombination aus zwei Resonatortypen, wobei die Helmholtz-Resonatoren Frequenzen im Tieftonbereich und den unteren Mittelbereich absorbieren, während der MPA einen unteren und oberen Mitteltonbereich abdeckt. Dabei lassen sich insbesondere die einzelnen Helmholtz-Resonatoren des Elements 30 an ihre jeweilige Absorptionsleistung bzw. Resonanzfrequenzen anpassen, wofür nicht nur ihr Volumen, sondern auch die Größe bzw. der Durchmesser, Materialstärke (bzw. Halslänge) des jeweiligen Loches 35 variiert werden kann. Der MPA des Elements 30 wiederum lässt sich hinsichtlich des Perforationsgrads und des Durchmessers seiner zeilenförmigen Perforation und der Dicke seiner Frontplatte variieren. Insgesamt bieten sich dadurch beim Element 30 trotz unveränderter Außenabmessungen zahlreiche akustische Variationsmöglichkeiten. Insbesondere die Figuren 6b und 6c verdeutlichen zudem, dass deren Aufbau aus der transparenten Frontplatte 37 und gegebenenfalls der Wahl eines transparenten Materials für die vorderen Deckplatten 34 sowie durch die Anordnung der Löcher 38 bzw. 35 eine interessante Gestaltung entsteht, die ebenfalls vielfältige Variationsmöglichkeiten bietet.

Die Figuren 7a bis 7c stellen in vergleichbaren Ansichten eine Ausgestaltungsform einer weiteren erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung. Sie enthält ebenfalls zwei Resonatortypen, nämlich klassische Helmholtz-Resonatoren, MPA und Lochplattenabsorber, die in Schallrichtung betrachtet quasi „parallel“, nämlich nebeneinander bzw. übereinander angeordnet sind. Jedes Element 40 besteht wiederum aus einer geschlossenen hinteren Deckplatte 31, einem aussteifendem Gerüst 32, die prinzipiell hergestellt und ausgebildet sein können wie diejenigen aus den Figuren 6a bis 6c. Im zusammengebauten Zustand ergeben sich dadurch die an sich bereits beschriebenen Fächer 33, deren Volumina jeweils Bestandteile einzelner Resonatoren darstellen.

Jedes Fach 33 ist hier wiederum von einer eigenen vorderen Deckplatte 41, 42, 43 abgedeckt. Selbst benachbarte vordere Deckplatten 41, 42, 43 weisen wiederum keine steife Verbindung untereinander auf. Jetzt aber unterscheiden sich die Deckplatten 41, 42, 43 und bestimmen damit den jeweiligen Resonatortyp: die vorderen Deckplatten 41 sind in einem größeren Abstand, größeren Durchmesser und in geringerer Anzahl, die vorderen Deckplatten 42 in einem geringeren Abstand, sehr geringen Durchmesser (Mikroperforation) und in einer größeren Anzahl gelocht, so dass sie zusammen mit den dahinterliegenden Fächern 33 Lochplattenabsorber bzw. MPA ausbilden. Jedes Fach 33 enthält jeweils ein Luftvolumen

als Feder, auf dem mehrere Massen in den Löchern der jeweiligen gelochten Deckplatten 41, 42 schwingen können. Sie unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Größe und der Form der Fächer 33, sondern auch durch ihre vorderen Deckplatten 41, 42, womit eine große Gestaltungsvielfalt gegeben ist. Bereits damit lässt sich eine große akustische Bandbreite abdecken.

Die vorderen Deckplatten 43 dagegen weisen jeweils nur ein Loch 44 auf, womit sie die Wirkungsweise als klassischer Helmholtz-Resonator vorgeben. Damit kann jedes Element 40 durch den Einsatz von Lochplattenabsorbieren und zugleich von Helmholtz-Resonatoren auf eine große Bandbreite an Frequenzen ausgelegt werden, die absorbiert werden.

Figur 8 stellt einen stark schematisierten Ablauf für ein Verfahren zur Erstellung einer Schallschutzvorrichtung dar. Er Ablauf ist in drei Abschnitte A, B, C gegliedert:

Der erste Abschnitt A betrifft die Erfassung des akustischen Profils des Raums. Es wird eine Schallemission an einem Zielstandort konkret erfasst oder - insbesondere bei Neubauprojekten - prognostiziert. Für die Erfassung derartiger konkreter Schallemissionen gibt es Vorschriften, beispielsweise zur frequenzabhängigen Pegelmessung nach DIN. An bekannten Erfassungen wiederum können sich Prognosen orientieren. Der Schritt A stellt also eine abstrakte und objektive Erfassung der Schallquelle dar.

Der zweite Abschnitt B betritt die Berücksichtigung akustischer und statischer Erfordernisse. Er gliedert sich in zwei Stufen:

- erste Stufe B1: Berücksichtigung akustischer Erfordernisse über die Festlegung entsprechender Parameter, beispielsweise über die Anwendungen der Schallschutzvorrichtungen im Innenraum oder im Außenraum, über die (Raum-)Nutzung, über Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit sowie über einen oberen Grenzschaallpegel. Er ist erforderlich oder wünschenswert und orientiert sich beispielsweise an gesetzlichen Schallschutzerfordernissen. Er ergibt sich aus einem Ziel-Schallpegel, der nach Fertigstellung der erfindungsgemäßen Schallschutzvorrichtung erreicht werden soll oder muss. Anhand der genannten Parameter lässt sich sowohl ein Absorptionsspektrum als auch eine Resonatorkombination bzw. Resonatorauslegung ermitteln.

- zweite Stufe B2: Berücksichtigung statischer Erfordernisse: Die Resonatorkombination bzw. Resonatorauslegung wird in der zweiten Stufe in eine Konstruktion übersetzt. Hier werden

ebenfalls entsprechende Parameter berücksichtigt, insbesondere die Statik, beispielsweise eine statisch selbsttragende oder lastabtragende Konstruktion, eine freistehende oder eingespannte oder vorgehängte Konstruktion, das für das aussteifende Gerüst verwendete Material, wofür Holz, Beton, Gipskarton, gegebenenfalls mit einer Aluunterkonstruktion, und dergleichen zum Einsatz kommen können, sowie das Material für die Abdeckung des aussteifenden Gerüsts, wofür Acrylglas, Glas, Beton, Holz, Gipskarton und dergleichen dienen können, etc.

Beide Stufen B1, B2 lassen sich parametrisieren. Durch die Parametrisierung beider Stufen B1, B2 lassen sich durch Ändern einzelner Parameter mit geringem Aufwand verschiedene Varianten für Schallschutzvorrichtungen erstellen.

Prinzipiell werden Einflussfaktoren berücksichtigt, die sich aus der konkreten Bausituation ergeben können. Dazu gehören beispielsweise die Anwendungen der Schallschutzvorrichtungen im Außenraum, dort beispielsweise als Lärmschutzwand oder als vorgehängte oder selbsttragende vorzugsweise transparente Fassadenbekleidung, im Innenraum beispielsweise als abgehängte Decke, als Brüstungsbauwerk, als innere Atriums- oder Ladenfassade, als Trennwand oder dergleichen. Der Anwendungsbereich bestimmt zu einem Großteil auch das Material. Das Material wiederum und der Anwendungszweck können die jeweilige Statik bestimmen, die auf eine lastabtragende, selbsttragende Konstruktion oder auf ein konstruktiv integriertes Element bezogen sein kann. Schließlich kann eine gewünschte oder erforderliche Ästhetik zu berücksichtigen sein, die sich wiederum im Wesentlichen aus dem Material und dem Anwendungsbereich, aber auch gegebenenfalls aus dem Ehrgeiz eines zuständigen Architekten ergibt.

25

Nach einer geeigneten, vorzugsweise digitalen Verarbeitung aller erfassten Daten und Parameter kann im Abschnitt C das Ergebnis in einem 2D- oder 3D-Modell und vorzugsweise digital modelliert und dargestellt werden, woraus sich wiederum konkrete Ausführungspläne sowie der Code für die CNC- oder Roboter-basierte Herstellung ableiten lassen.

30

Die Erfindung in den Worten der Voranmeldung:

Die Projektbeteiligten beabsichtigen, für ihr geplantes gemeinsames Kooperationsprojekt Textilbeton-Leichtbauabsorber – Adaptierbares Schallschutzsystem Für Den Öffentlichen

Raum Für Den Unteren Mitten- Und Bassbereich In Selbsttragender Textilbeton-Leichtbauweise die Förderung zu beantragen. Die Förderung soll die Entwicklung eines technisch-funktional neuartigen flexibel einsetzbaren witterungsbeständigen Bauelementes aus textilbewehrtem HPC bzw. UHPC zur präzisen und umfassenden breitbandigen Absorption (Schallreduktion) der besonders kritischen Emissionen mittlerer und tiefer Schallfrequenzen unterstützen.

Das Erscheinungsbild des neuartigen Breitbandabsorbers wird von einer unregelmäßigen Polygonstruktur („unregelmäßig geformte Wabenstruktur“) bestimmt (Figur 10). Sie ist das Resultat der algorithmischen Kombination auf Basis von Messungen von schallabsorbierenden Helmholtzresonatoren mit jeweils verschieden großem Volumen. Deren zuvor berechnete Frequenzbereiche ergänzen sich in einer Leichtbaustruktur zu einem genau definierten schallschutztechnisch hocheffektiven Breitband. Eine typische Anwendung des projektierten Systems ist der Einsatz als Schallschutzwand zum Schutz vor Verkehrslärm.

Das Helmholtzresonatoren-Prinzip wird damit erstmalig in umfassender Weise für den Schallschutz im halböffentlichen und öffentlichen Raum bzw. im Außenbereich (open field) eingesetzt. Alleinstellungsmerkmale (Innovationskriterien) gegenüber vergleichbaren Systemen sind folgende Kennzeichen:

- Das projektierte Textilbeton-Schallschutzsystem ist für die Reduktion von Schallemissionen mittlerer und tiefer Frequenzen im open field geeignet.
- Jedes Schallschutzelement ist individuell. Es wird auf Grundlage von Schallmessungen und darauf basierender Berechnungen der Struktur speziell für die Erfordernisse eines Einsatzortes gebaut. Dabei wird die Wabenstruktur aus differenzierten Helmholtzresonatoren mit jeweils eigenem Frequenzanteil gebildet; die einzelnen (sich überlappenden) Frequenzanteile bilden ein auf die individuellen Schallschutzerfordernisse des Einsatzortes bezogenes Breitbandspektrum.
- Die Absorber werden erstmalig in Textilbeton-Leichtbauweise gefertigt. Das projektierte Textilbeton-Schallschutzsystem ist daher leichter und materialeffizienter als vergleichbare Resonator- und materialbasierte Absorber-Systeme. Bauelemente bis zur Größe von Schallschutzwänden können daher im Fertigteilverfahren vorproduziert und mit vergleichsweise geringem technischen Aufwand für Transport und Einbau implementiert werden.

- Für die Herstellung der Absorberelemente werden erstmalig Textilbetonqualitäten mit rauer oder offenporiger Oberfläche gemäß der schalltechnischen Anforderung eines „geringen Gütefaktors“ verwendet. Diese Kombination von „dünnwandig“ und „rau/ offenporig“ für die Konstruktion dünnwandiger TRC-Bauteile ist neuartig. Das Absorptionsverhalten eines Schallschutzsystems bzw. eines Resonators wird auch durch seine Material- und Oberflächenbeschaffenheit bestimmt, die als Gütefaktor bezeichnet wird. Für die breitbandige Absorption von Vorteil ist ein geringer (!) Gütefaktor. Dies entspricht Resonatoren mit einer im Inneren rauen oder offenporigen Oberfläche.
- Das dem projektierten Textilbeton-Schallschutzsystem zu Grunde liegende Schalungssystem ist neuartig. Es erlaubt die wirtschaftliche Herstellung individueller Schallschutzelemente in großer Zahl und kurzer Zeit (> customized solution anstelle von standardisierten Modulbauweisen).

Ziel des Vorhabens ist die Ausformulierung der Konstruktion und der Materialität des Textilbetonleichtbauabsorbers im Hinblick auf statische und akustische Erfordernisse sowie des zu seiner Herstellung erforderlichen einfach veränderbaren Schalsystems zur Produktionsreife. Die Herstellung der Absorber erfolgt mittels eines Fertigteilverfahrens. Bauliche Strukturen lassen sich bis zur Größe von (transportablen) Wänden vorfertigen oder aus Modulen zu beliebiger Größe aufbauen. Nachdem die funktionelle Wirksamkeit des dargestellten Absorberprinzips in Vorstudien durch die Antragsteller prototypisch nachgewiesen werden konnte, konzentriert sich das Entwicklungsvorhaben auf folgende Schwerpunkte:

- Entwicklung von Textilbetonqualitäten mit rauer oder offenporiger Oberfläche gemäß der schalltechnischen Anforderung eines „geringen Gütefaktors“
 - Entwicklung eines Schalungssystems zur Herstellung individualisierter Textilbetonfertigteile mit schallschutztechnisch optimierter unregelmässiger Polygonalstruktur („unregelmässige Wabenstruktur“) > flexibilisierte Betonfertigteileproduktion
 - Entwicklung eines Bauteil-Designtools zur Übertragung von Schall-Messergebnissen in ein Absorber-Layout (Prozessfolge Messung > CAD-Wandabwicklung bzw. -Modulusweisung > Schalungsbau > Betoniervorgang)
- Entwickelt werden soll ein kosteneffizientes, umweltverträgliches, nachhaltiges, in seinen technischen, funktionalen und ästhetischen Eigenschaften optimiertes System, das nach nationalen und internationalen Maßstäben angeboten werden kann. Das System soll robust, das heißt für den Einsatz im öffentlichen Raum im Allgemeinen geeignet sein. Eine wichtige Anwendung ist die Einsatzfähigkeit entlang von hochfrequentierten Verkehrswegen (Schall-

schutzwand für Autobahn), für die von den Antragstellern ein Marktpotential nachgewiesen werden kann.

2. Anwendung als Bauprodukt für den öffentlichen Raum

5

Das Helmholtzresonatoren-Prinzip wird damit erstmalig in umfassender Weise für den Schallschutz im halböffentlichen und öffentlichen Raum bzw. im Außenbereich (open field) eingesetzt. Bislang kommen entsprechende Systeme aufgrund der Einschränkungen, die sich aus bislang ungenügend entwickelten Bauweisen ergeben, nur vereinzelt und fast ausschließlich in geschlossenen Innenräumen zum Einsatz. So gilt allgemein der Einsatz passiver Absorber im tiefen Frequenzbereich als nicht praktikabel, da der erforderliche physikalische Effekt nur durch den Einsatz enorm großer Mengen porösen Materials erreichbar ist. Vor diesem Hintergrund wurden die schallabsorbierenden Eigenschaften von masseoptimierten Helmholtzresonatoren vereinzelt untersucht und gelegentlich in Produkte überführt, jedoch handelt es sich dabei ausschließlich um standardisierte Elemente mit sehr geringen Kombinationsmöglichkeiten, aus denen sich einfache Schallschutzsysteme für ein eingeschränktes Frequenzspektrum bilden lassen. Technisch darüber hinaus gehende aktive Systeme wie die sogenannte Active Noise Control (ANC) sind schließlich nicht für mittlere (und hohe) Frequenzen geeignet und zudem sehr aufwendig in der Installation und im Betrieb.

20

Die projizierten Textilbeton-Absorberelemente können nun aufgrund ihrer neuartigen Bauweise und Materialität sowie aufgrund ihres neuartigen Herstellungsverfahrens ungleich präziser und effektiver auf die zu dämmenden Schallemissionen im open field abgestimmt werden als bisher. Die schallabsorbierenden Elemente werden nicht wie bislang üblich aus einer geringen Auswahl standardisierter Elemente gebildet, sondern aus einer Anordnung von im Hinblick auf den Einzelfall bzw. den Einsatzort präzise definierten Resonatoren von schallschutztechnisch erforderlicher Größe zu selbsttragenden Raumstrukturen parametrisch kombiniert. Der störende Frequenzbereich im unteren Mitten- und Bassbereich lässt sich breitbandig reduzieren und zwar so differenziert, dass die in Bezug auf ihre Amplitude vor allem störenden Frequenzen als Resonanzfrequenzen der Helmholtzresonatoren maximal abgesenkt werden. Der Absorptionseffekt wird durch die geringe Gütequalität der Oberfläche nochmals verbessert. Die Oberflächenstruktur verhindert unter anderem...

30

Die Funktion dieses Bauproduktes mit sehr hohem Wirkungsgrad basiert auf dem schall-
technischen Prinzip des Helmholtzresonators. Typische Bauform ist ein mit einer Öffnung
versehener Hohlraum. Trifft Schall über die Öffnung auf den Hohlraum, so verhält sich die
Luft innerhalb des Volumens wie eine schwingungsfähige Feder, auf auf der ein „Luftfrop-
5 fen“ (d. h. das Luftvolumen im Bereich der Öffnung als Masse) schwingt.

Die auf die definierbaren Luftvolumina von Feder und Masse auftreffende Schallenergie wird
durch die sich einstellende Resonatorfrequenz in eine auf diese Luftmasse bezogene kineti-
sche Energie umgewandelt, dadurch wird die ursächliche und als störend empfundene
10 Schallfrequenz effektiv reduziert („Schallschutz mithilfe von Luft“). Diese prinzipiell sehr gute
Wirkungsweise wird durch die gezielte Anordnung bzw. frequenzabhängige Kombination von
mehreren Resonatoren mit einem jeweils eigenen Frequenzbereich nochmals gesteigert (>
Frequenzkombination mit überlappenden Frequenzbereichen). Mindestens drei oder mehr
verschieden große Resonatoren bilden ein wabenartiges Modul (vgl. Figur 10) bzw. eine
15 Fertigteil-Wand (Figur 11).

Schall mittlerer und tiefer Frequenzen wird mit minimalen Materialeinsatz maximal absor-
biert. Wirtschaftlicher und effektiver Schallschutz im Bereich mittlerer und tiefer Frequenzen
wird erstmalig mit den Mitteln des Textilbeton-Strukturleichtbaus verwirklicht. Das bewährte
20 Prinzip des Helmholtzresonators wird bautechnisch schlüssig und in eigenständiger anwen-
dungsbezogener Weise neu interpretiert.

Schall- und Lärmschutz ist eines der heute wichtigen Umweltthemen. Wir haben uns zu einer
lauten Gesellschaft entwickelt. Die Gesundheit der Individuen wird deutlich durch als Lärm
25 empfundenen Schall beeinflusst. Im Kontext wachsender Städte und neuer, veränderter Bau-
typologien ist Lärm ein bedeutender Risikofaktor für stressbezogene Krankheiten geworden.
Schall des unteren Mitten- und Bassbereichs ist wird häufig als dumpf und dröhnend wahr-
genommen.

30 Für den Schall- und Lärmschutz in diesen Frequenzbereichen sind Helmholtzresonator eine
technisch sehr gute Lösung. Für die Konzeption besonders nachhaltiger Leichtbaulösungen
sind sie gleichsam prädestiniert.

Allgemein wird bisher das Potential der Helmholtzresonatoren nicht ausgeschöpft. Am Markt erhältliche Lösungen sind nicht differenziert genug auf einen breiten Frequenzbereich in Bezug auf funktionale raumspezifische und bauliche Anforderungen abgestimmt. Es gibt derzeit nur sehr eingeschränkt anwendungsbezogene Lösungen, die sinnvoll in einen Raum bzw. 5 baulichen Kontext integriert werden können, ohne dass dessen Nutzungsweise eingeschränkt bzw. dessen Erscheinungsbild zerstört wird. Anforderungen an die Witterungs- und Temperaturbeständigkeit, an geringes Gewicht, einfache Montage und Wartung werden von derzeit handelsüblichen Lösungen nur zum Teil erfüllt. Aktuell werden Helmholtzresonatoren zumeist aus Holz, Span oder Gispkartonplatten gebaut; z. B. in Form abgehängter gelochter 10 Decken in weitgehend standardisierter Bauweise, mit standardisierter Lochung und definierten Plattenformaten. Zudem gibt es keine transparenten Lösungen.

Aufgrund seiner variablen parametrisch-generativen Struktur zeichnet sich der projektierte neuartige Textilbeton-Leichtbauabsorber durch eine extrem hohe Adaptabilität in Bezug auf 15 akustisch-raumspezifische Erfordernisse aus. Die Materialkombination mit Acryl oder Glas auf der Vorder- und Rückseite der Resonatorstruktur ermöglicht transparente Bauweisen. In baulicher Hinsicht kann das System wahlweise punktuell, wie eine tragende Wand oder wie ein Fassadensystem eingesetzt werden. Damit bildet es keine zusätzliche bauliche Maßnahme, sondern ist als Teil des baulich-konstruktiven Systems eines Bauwerks vollständig 20 integrierbar. Aufgrund seiner besonderen Charakteristik kann erstmalig ein umfassender Schallschutz für den Bereich der bislang kritischen mittleren und tiefen Frequenzen technisch und zugleich wirtschaftlich sinnvoll verwirklicht werden.

Mögliche Anwendungsbereiche sind alle geschlossenen sowie halbgeschlossenen Räume, 25 besonders aber öffentliche Räume wie z. B. Eingangshallen sowie die heute üblichen, sich über mehrere Geschosse erstreckenden atriumartigen Erschließungen von Bahnhöfen, Flughäfen, Einkaufszentren und Bürogebäuden. Ferner öffentliche Wartebereiche, Tunnel, Fußgängerunterführungen, Versammlungsstätten und Sporthallen. Außerdem ist das System als Gebäudefassadensystem (Schallreduktion im innerstädtisch verdichteten Straßenraum / 30 in „Straßenschluchten“) sowie für die Reduktion von Verkehrslärm entlang hochfrequentierter Verkehrsstraßen (Autobahn-Schallschutzwand) geeignet.

3. Zusammenfassung der patentfähigen Neuerungen > Erfindungsanteil

A > BREITBANDIGKEIT DES ABSORBERSYSTEMS

Ein Vorteil des projektierten Systems ist die Möglichkeit der Absorption eines größeren Frequenzbereichs. Diese Funktionalität wird als Breitbandigkeit des Absorbersystems bezeichnet. Das projektierte System/ die Erfindung zeichnet sich zudem gegenüber vergleichbaren Systemen durch seine ortsbezogenheit aus. Dies wird durch folgende Maßnahmen erreicht, die einander stützen bzw. ergänzen:

- Es werden verschieden große Absorber mit jeweils eigenem Frequenzanteil kombiniert; die einzelnen (sich überlappenden) Frequenzanteile bilden ein Breitbandspektrum. Die das Bauteil bildenden ortsbezogene Absorberstruktur (Verteilung und Größe) wird auf Basis von Messungen berechnet und baulich umgesetzt.
- Schalltechnische Eigenschaften wie z. B. das Absorptionsverhalten eines Resonators werden ferner durch seine Oberflächenbeschaffenheit bestimmt, der als Gütefaktor bezeichnet wird. Für die breitbandige Absorption von Vorteil ist ein geringer (!) Gütefaktor. Dies entspricht HR mit einer im Inneren rauhen oder offenporigen Oberfläche.

Eine übliche und effektive Methode zur Erzielung eines geringen Gütefaktors ist der Einsatz von offenporigen Dämmstoffen. Während Dämmstoffe aus nachhaltigen Rohstoffen allgemein bei Anwendungen im Außenbereich besonders gegen Umwelteinflüsse (UV-Strahlung, Feuchtigkeit) geschützt werden müssen, sind dauerhaftere Dämmstoffe wie beispielsweise Steinwolle als mineralische Dämmstoffe nicht biologisch abbaubar. Im Falle einer Entsorgung sind hohe Umweltauflagen zu beachten. Eigens entwickelte Rücknahmesysteme großer Hersteller wie z. B. Rockwool zeigen, dass der Einsatz solch mineralischer Dämmstoffe ökologisch nicht unbedenklich ist. Häufig zerfallen Dämmstoffe im Laufe der Zeit auch und können als Stäube die Luftqualität beeinflussen.

Das projektierte System bringt die bautechnischen Vorteile von textilbewehrten Beton (> Leichtbauweise) mit den schalltechnischen Vorteilen einer geringen Oberflächengüte zur Kombination. Für die Herstellung der geforderten Kombination „Dünnwandigkeit + Rauigkeit / Offenporigkeit“ der Bauelemente stehen mehrere Verfahren zur Verfügung:

- Herstellung einer geeignet rauhen Oberfläche eines TRC-Elementes durch eine entsprechend profilierte Schalhaut,
- Herstellung einer geeignet rauhen Oberfläche eines TRC-Elementes durch eine mikroprofilierte Schalhaut,

- Herstellung einer offenporigen Oberfläche eines TRC-Elementes durch Einsatz von Schaumbildnern an der Oberfläche, z. B. durch Auftrag mittels einer mit Schaumbildner vorbehandelten Schalhaut,
- Kombination von textilbewehrten Betonelementen mit dünnen Betonschaumelementen zu Sandwichelementen, wobei das TRC-Element je nach Lage den Kern oder die der Witterung ausgesetzte Außenseite eines Elementes bildet sowie
- Aufschäumen von HPC oder UHPC > nur geeignet für geringere Elementlängen und Bauteilgrößen bzw. Elemente mit dickeren Wandstärken
- Applikation/ Implementierung von grobkörnigen oder partikelartigen Zuschlagsstoffen oder granulare Materie an der Oberfläche des TRC-Elementes, z. B. Feinkies, Blähton, Holzspäne, Kunststoffgranulate, Glasbruch, Glaskugeln, keramische Partikel.

B > HERSTELLUNG DES BAUPRODUKTS DURCH FLEXIBLE FERTIGUNG

Die für die Effektivität und den Einsatz des Bauprodukts wichtige sehr hohe Adaptabilität verdankt sich einer flexibilisierten Betonfertigteileproduktion. Mittels eines Bauteil-Designtools auf Basis einer Modifizierung des Rhino/ Grasshopper-Moduls (Eigenentwicklung der Antragsteller) werden Schall-Messergebnisse über die Prozessfolge

Messung > CAD-Wandabwicklung bzw. -Modulusausweisung > Schalungsbau > Betoniervorgang

baulich in ein individuell anwendungsbezogenes Absorber-Layout übertragen. Individualisierte Textilbetonfertigteile, deren Gestalt das Ergebnis präziser ortsbezogener schalltechnischer Messungen ist, werden so mithilfe einer flexibilisierten Fertigung in wirtschaftlicher Weise gefertigt.

Die individuellen, d. h. geometrisch variierenden Absorber-Bauelemente werden mithilfe eines flexiblen Fertigteile-Schalungssystems aus textilbewehrtem HPC bzw. UHPC hergestellt. Die Entwicklung dieses Fertigteile-Schalungssystems zur kostengünstigen Herstellung ist Teil des projektierten Vorhabens. Gefordert ist die schnelle und einfache Adaption des Schalungslayouts unter Verwendung weitgehend gleicher oder ähnlicher Elemente und handelsüblichen Schalmaterials (Schalplatten). Die Wabenstruktur der Absorber konstituiert sich aus Knoten und stegartigen Stäben. Die zuvor errechneten Bauteilvarianzen werden im Wesentlichen über die Anzahl und die Winkel der in einem Knoten koordinierten Stege sowie

über die Steglänge erzeugt. Das Schalsystem differenziert daher zwischen geometrisch ähnlichen, lediglich winkelvariierenden Knoten als Verbindungspunkte der Wabenstruktur (Knotenausbildung gemäß Statik) sowie in ihrer Länge variierenden Verbindungsstegen. Zur Positionierung der Absorberschalung wird zunächst das ermittelte CAD-Schalungslayout winkelgetreu auf den Schaltisch projiziert. Die Schalungselemente werden „hochkant liegend“ auf die Schalungsrückwand aufgestellt. An die Knotenschalungen aus elastischem Schalmaterial (Figur 12), das sich selbst durch die Justierung der Winkel und die sich dabei einstellenden Kurvenradien stabilisiert, werden mittels Schnellverbinder einfache Schalplatten stets gleich Höhe (entsprechend der erforderlichen Modul- bzw. Wanddicke) für das Betonieren der Stege angeschlossen (Figur 13). Nach Fertigstellung der Schalung wird die Textilbewehrung positioniert, es folgt das Betonieren. Alle Teile der Schalung können wiederverwendet werden.

4. Zusammenfassung der Innovationspotentiale

15

- das dem projektierten System zugrundeliegende Prinzip der präzisen differenzierten Abstimmung von in ihrer Frequenz voneinander verschiedener Helmholtzabsorber in parametrischer Anordnung ist schalltechnisch hocheffektiv
- eine differenzierte Abstimmung auf einen Frequenzbereich (gemäß Anforderung Schallschutz) ist möglich
- eine differenzierte Abstimmung auf einen breiten Frequenzbereich ist möglich
- die differenzierte Anpassung an eine bauliche Situation (z. B. gemäß Anforderung Statik) ist möglich
- es werden die Vorteile von Beton als Baumaterial (Brandsicherheit, Witterungsbeständigkeit, Baumethodik) für den Schallschutz eingesetzt
- Schallschutz im Bereich mittlerer und tiefer Frequenzen wird mit den Mitteln des Leichtbaus erreicht („Luftmasse statt Baumasse“)
- es werden die Vorteile von Textilbeton mit denen des Strukturleichtbaus vereint (Synergie im Sinne einer konstruktiv besonders effizienten und ressourcenschonenden nachhaltigen Bauweise)
- das System ist schallschutztechnisch bewährt, wartungsarm und langlebig
- das System ist konstruktiv selbsttragend und kann auch für den Lastabtrag verwendet werden

30

- Komponenten bilden keine zusätzliche bauliche Maßnahme, sondern sind baulich-konstruktiv vollständig integrierbar
- Individualisierte Textilbetonfertigteile werden mithilfe einer flexibilisierten Betonfertigteilproduktion wirtschaftlich hergestellt
- 5 • das System ist kostengünstig
- durch Applikation mikroperforierter Oberflächen kann es ggfs. zu einem Breitbandresonator ausgebaut werden

Bei den vorhergehenden, detailliert beschriebenen Beispielen für die erfindungsgemäße Schallschutzvorrichtung handelt es sich um Ausführungsbeispiele. Sie und das zugehörige Verfahren können in üblicher Weise vom Fachmann in einem weiten Umfang modifiziert werden, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Insbesondere können auch die konkreten Ausgestaltungen der Fächer in anderer Form als in der hier beschriebenen erfolgen. Ebenso kann jedes einzelne Element in einer anderen als einer regelmäßigen rechteckigen Form ausgestaltet werden, wenn dies aus Platzgründen bzw. gestalterischen Gründen notwendig ist. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrmals oder mehrfach vorhanden sein können.

10

15

Bezugszeichenliste

	1	Schallschutzelement
	2	hintere Deckplatte
5	3	aussteifendes Gerüst
	3a	Rahmen
	3b	geschlossene Wandscheibe
	4	Fach
	5	Resonatorhals
10	6	vordere Deckplatte
	7	Loch
	8	Luftvolumen
	10	Element
	12	hintere Deckplatte
15	13	aussteifendes Gerüst
	13 a	Rahmen
	13 b	geschlossene Wandscheibe
	14	Fach
	15	Resonatorhals
20	16	Knotenpunkt
	17	Kern
	18	Beschichtung
	19	Schalungsteil
	20	profilierte Oberfläche
25	21	Schalungsabschnitt
	22	Schalungsabschnitt
	23	starrer Streifen
	24	flexibler Streifen
	25	Feststellwinkel
30	30	Element
	31	hintere Deckplatte
	32	Gerüst
	33	Fach
	34	vordere Deckplatte

	35	Loch
	36	Hals
	37	Frontplatte
	38	Loch
5	39	zeilenförmige Perforationen
	40	Element
	41	vordere Deckplatte
	42	vordere Deckplatte
	43	vordere Deckplatte
10	44	Loch

A bis C Verfahrensschritte

a bis h Parameter

Patentansprüche

1. Wandartige Schallschutzvorrichtung zum Dämmen von Schall im Außenraum oder in Innenräumen, mit einer wandartigen Anordnung von Resonanzabsorbern, insbesondere von Helmholtz-Resonatoren, **gekennzeichnet durch** Resonatoren (4, 5, 6) mit unterschiedlicher Eigenfrequenz.
5
2. Schallschutzvorrichtung nach Anspruch 1 mit in der Wandebene verlaufenden Deckplatten (2; 6; 12) des Resonators und einem aussteifenden Gerüst (3; 13; 32) aus orthogonal dazu verlaufenden weitgehend geschlossenen Wandscheiben (13a) des Resonators aus Beton, insbesondere Textilbeton (TRC), oder Holz oder Gipskarton.
10
3. Schallschutzvorrichtung nach Anspruch 2 aus Beton, gekennzeichnet durch eine raue/offenporige Oberfläche einer Innenseite der Resonatoren.
15
4. Schallschutzvorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine profilierte Oberfläche (20) der Innenseite.
5. Schallschutzvorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch einen Schichtaufbau aus Beton, insbesondere UHPC, als Kern (17) und Betonschaumelementen als Oberflächen (18).
20
6. Schallschutzvorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Wandscheiben () und/oder Deckplatten (2; 6; 12) aus aufgeschäumtem Beton (18).
25
7. Schallschutzvorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch grobkörnige Zuschlagstoffe zumindest an der Bauteiloberfläche.
8. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche mit Helmholtz-Resonatoren umfassend eine Resonatoröffnung, gekennzeichnet durch eine Mehrzahl an Resonatoröffnungen je Resonator und/oder durch eine hohe Reibung in der Resonatoröffnung.
30
9. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch Deckplatten (3; 41; 42; 43) aus einem transparenten Material.

10. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche mit Helmholtz-Resonatoren umfassend eine Resonatoröffnung (35), gekennzeichnet durch die Ausbildung eines rohrförmigen Halses (36) an der Resonatoröffnung (35), der in seiner Erstreckungsrichtung
5 eine größere Länge aufweist als die Materialdicke der Deckplatte (34).
11. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche mit einer Erstreckungsebene, gekennzeichnet durch eine Anordnung unterschiedlicher Resonatortypen in einer zur Wandebene orthogonalen Richtung hintereinander.
10
12. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche mit Helmholtz-Resonatoren mit Halsen (36) an ihren einer Schallquelle zugewandten Resonatoröffnungen (35), gekennzeichnet durch die Halsen (36) als Abstandhalter einer perforierten, der Schallquelle zugewandten Deckplatte (38).
15
13. Schallschutzvorrichtung nach dem obigen Anspruch 12, gekennzeichnet durch elastische Halsen als Abstandhalter einer geschlossenen Platten.
14. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche mit Helmholtz-Resonatoren,
20 gekennzeichnet durch eine Deckplatte, die gegenüber dem Gerüst aus Wandscheiben elastisch gelagert ist.
15. Schallschutzvorrichtung nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch die Anordnung von Sound-Screen-Improvern an ihrer freien Oberseite.
25
16. Verwendung einer Anordnung von Resonanzabsorbern nach einem der obigen Ansprüche als wandartige Schallschutzvorrichtung.
17. Verfahren zur Erstellung einer Schallschutzvorrichtung insbesondere nach einem der
30 Ansprüche 1 bis 15, mit den folgenden Schritten:
- a) Erfassen des akustischen Profils eines Raums,
 - b) Berücksichtigung konstruktiver Erfordernisse,
 - c) Ausgabe eines Ergebnisses als Hilfsmittel zur Herstellung der Vorrichtung.

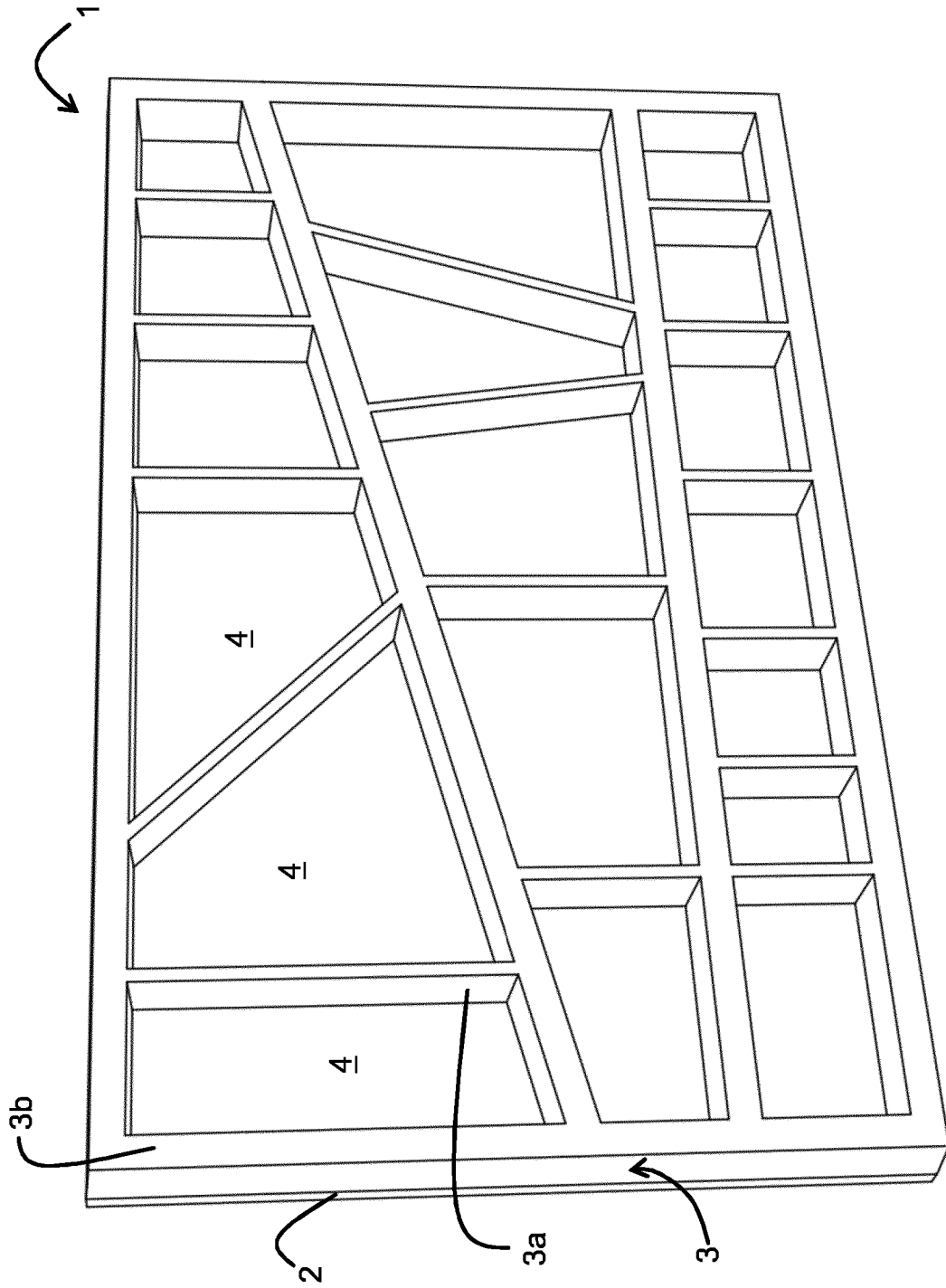


Fig.1

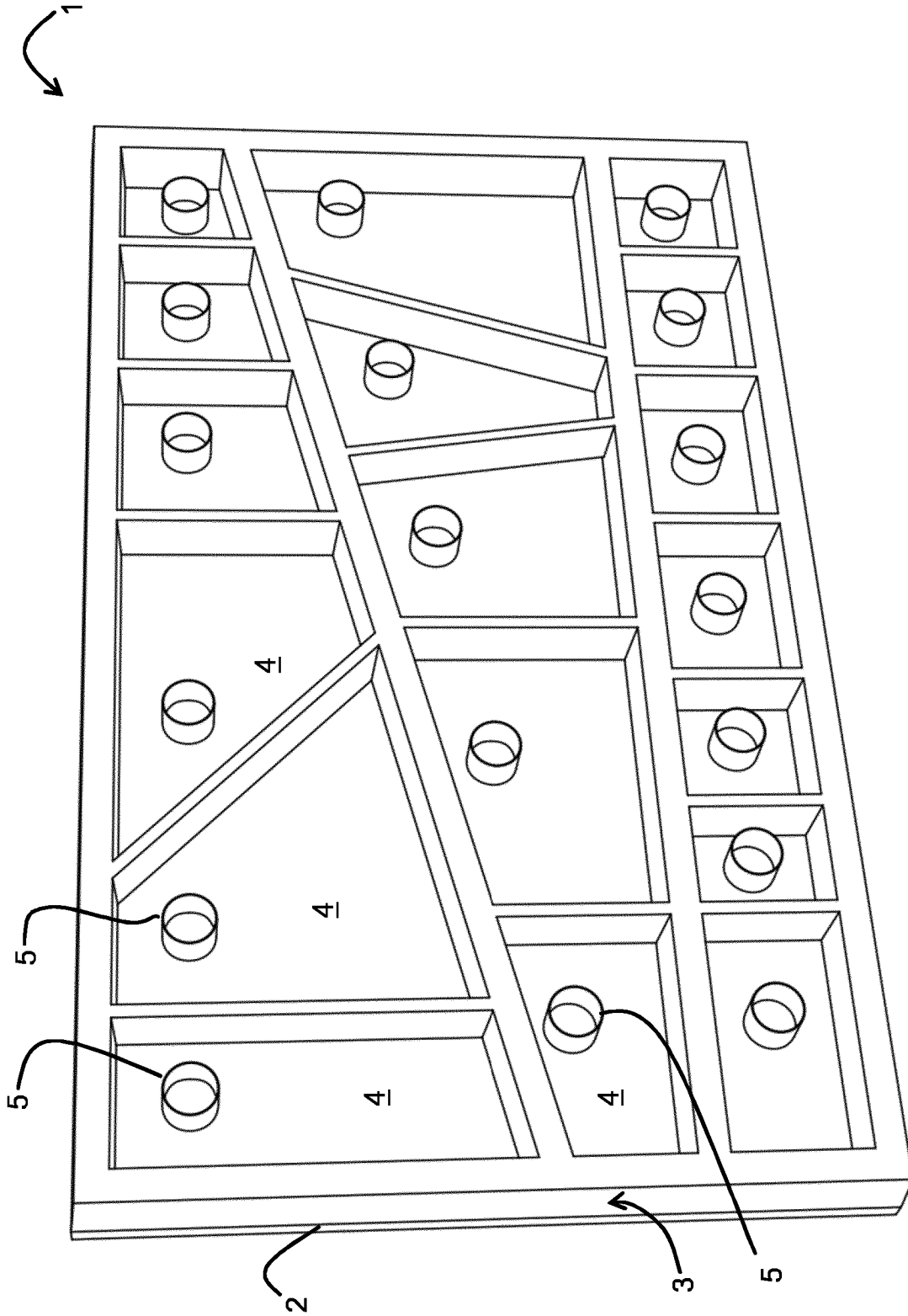


Fig.2

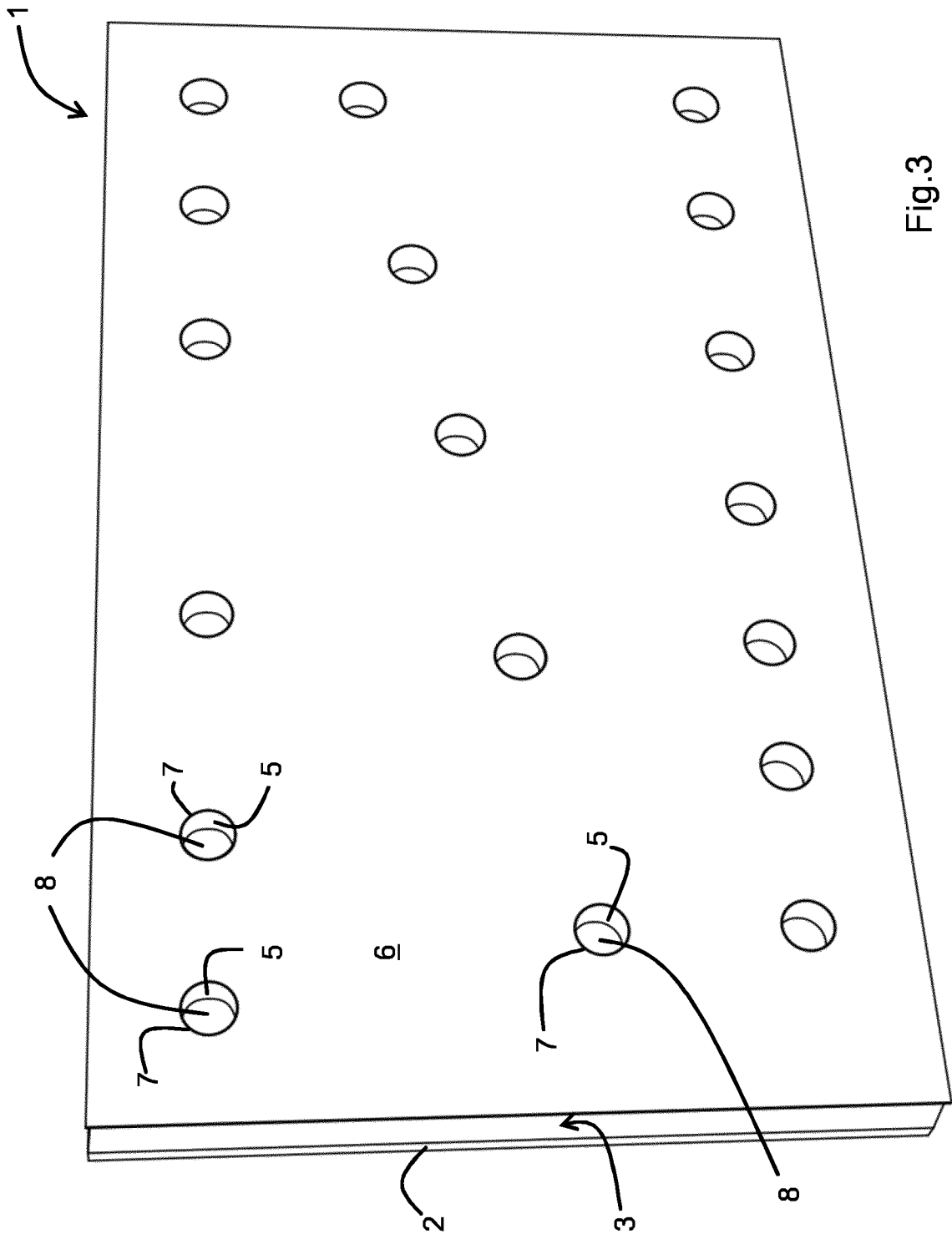


Fig.3

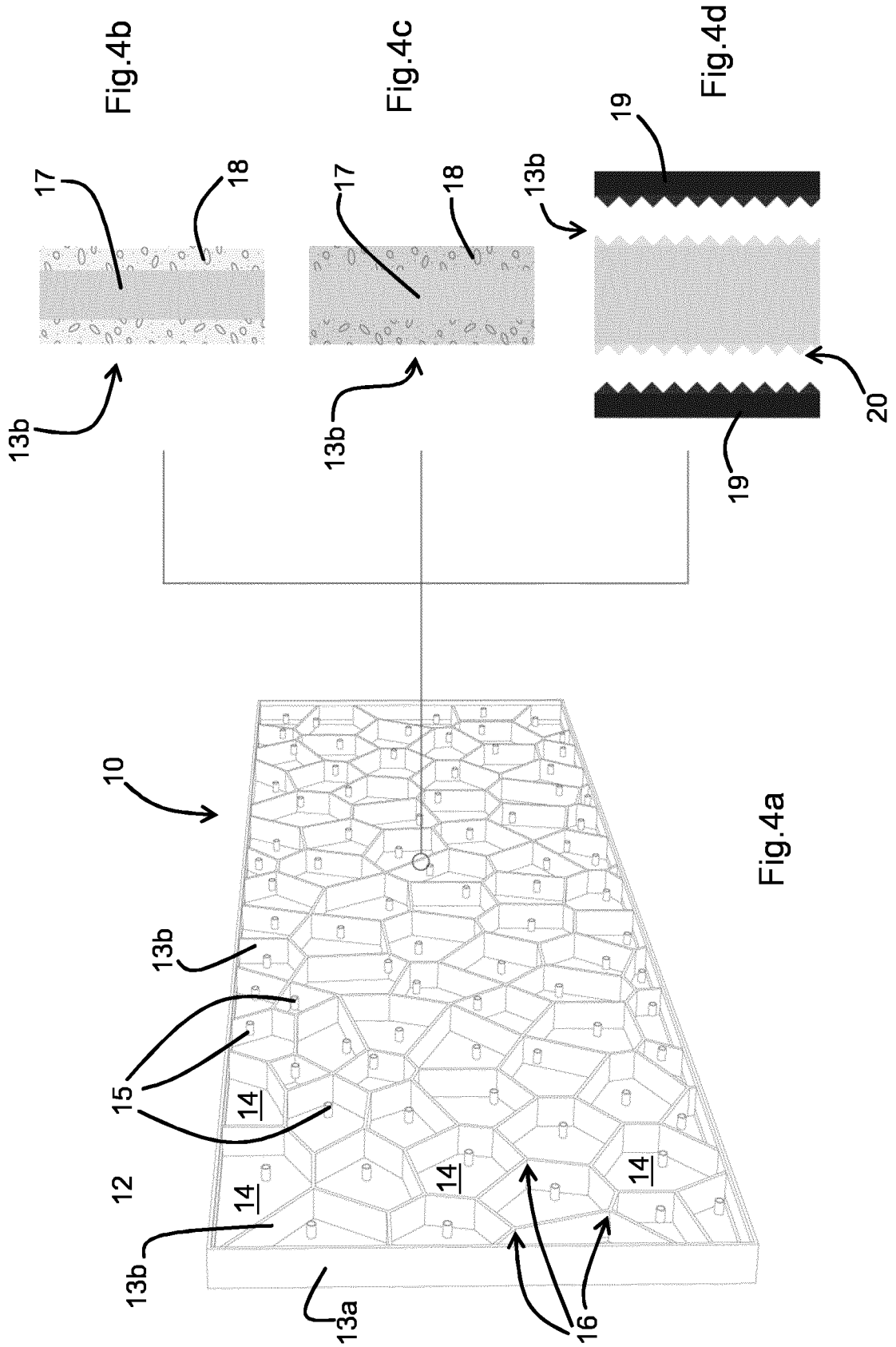


Fig.4b

Fig.4c

Fig.4d

Fig.4a

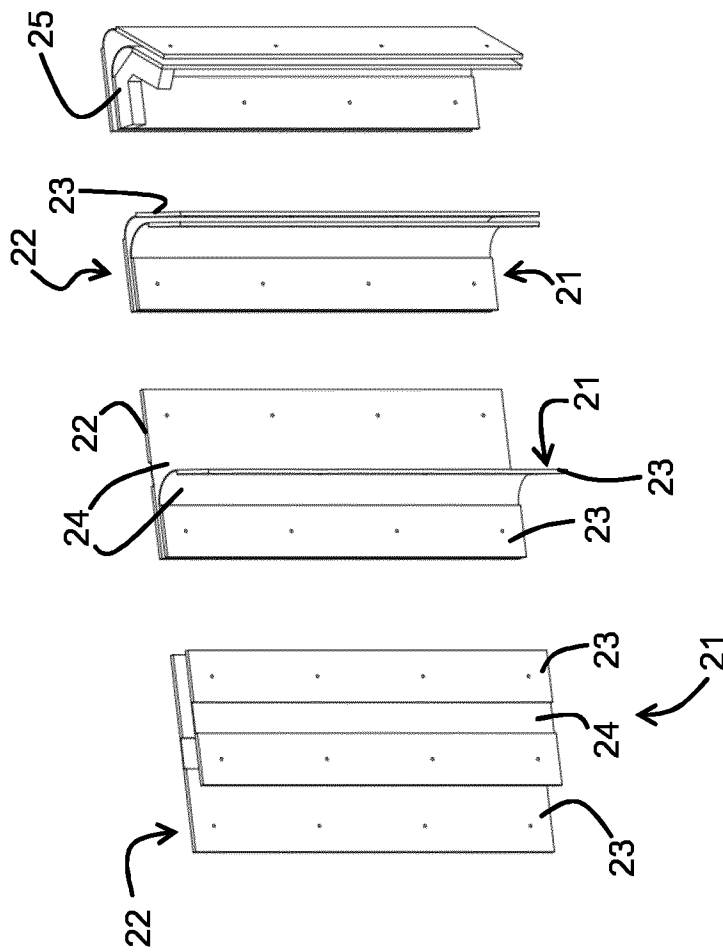


Fig. 5a Fig. 5b Fig. 5c Fig. 5d

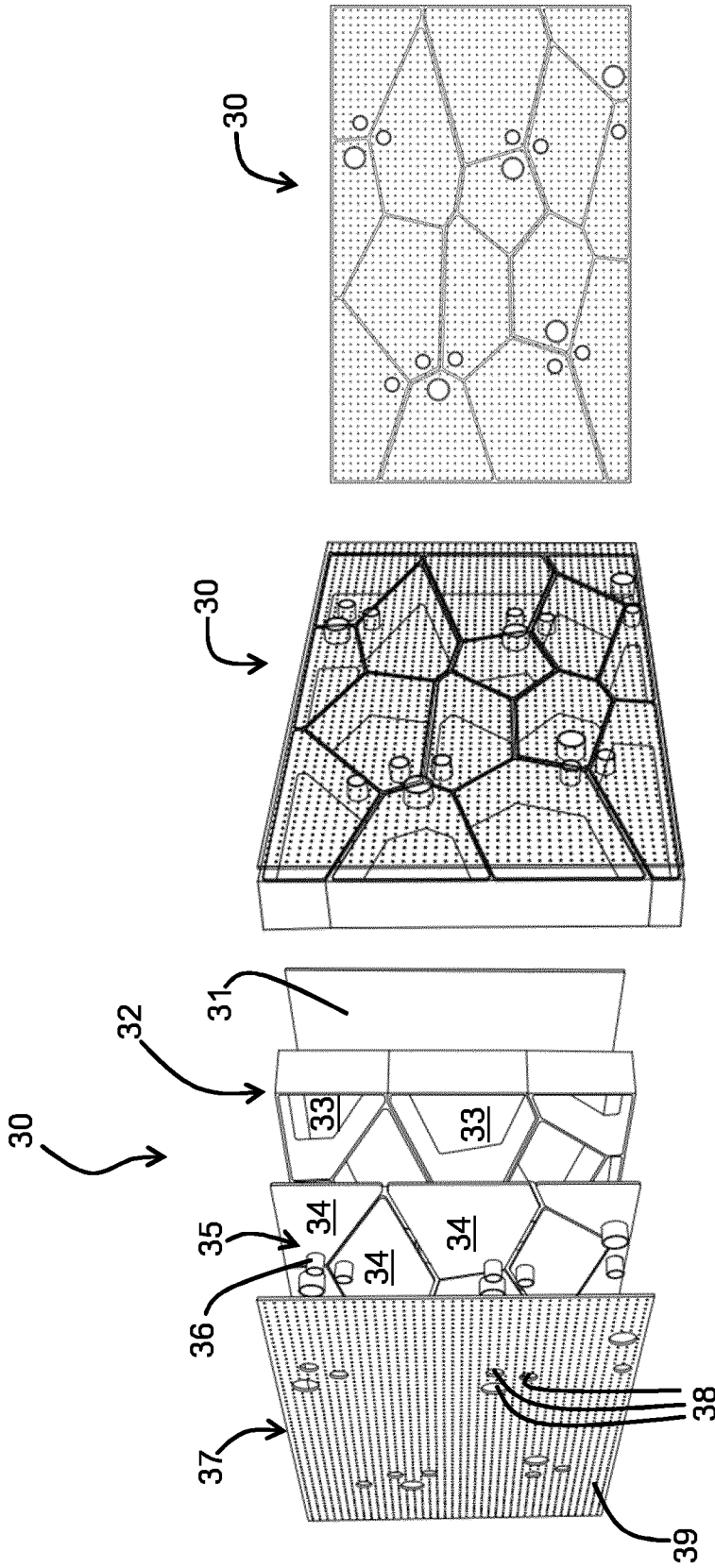


Fig.6c

Fig.6b

Fig.6a

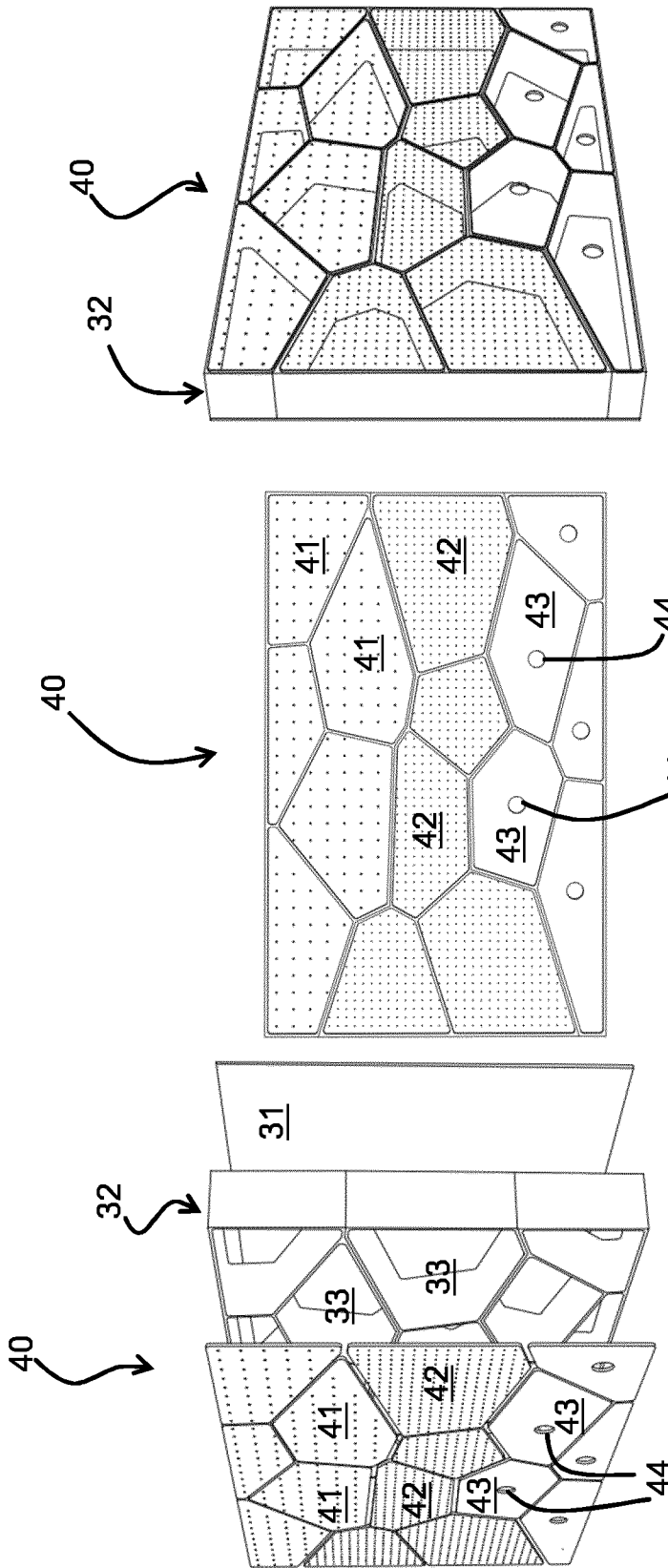


Fig.7c

Fig.7b

Fig.7a

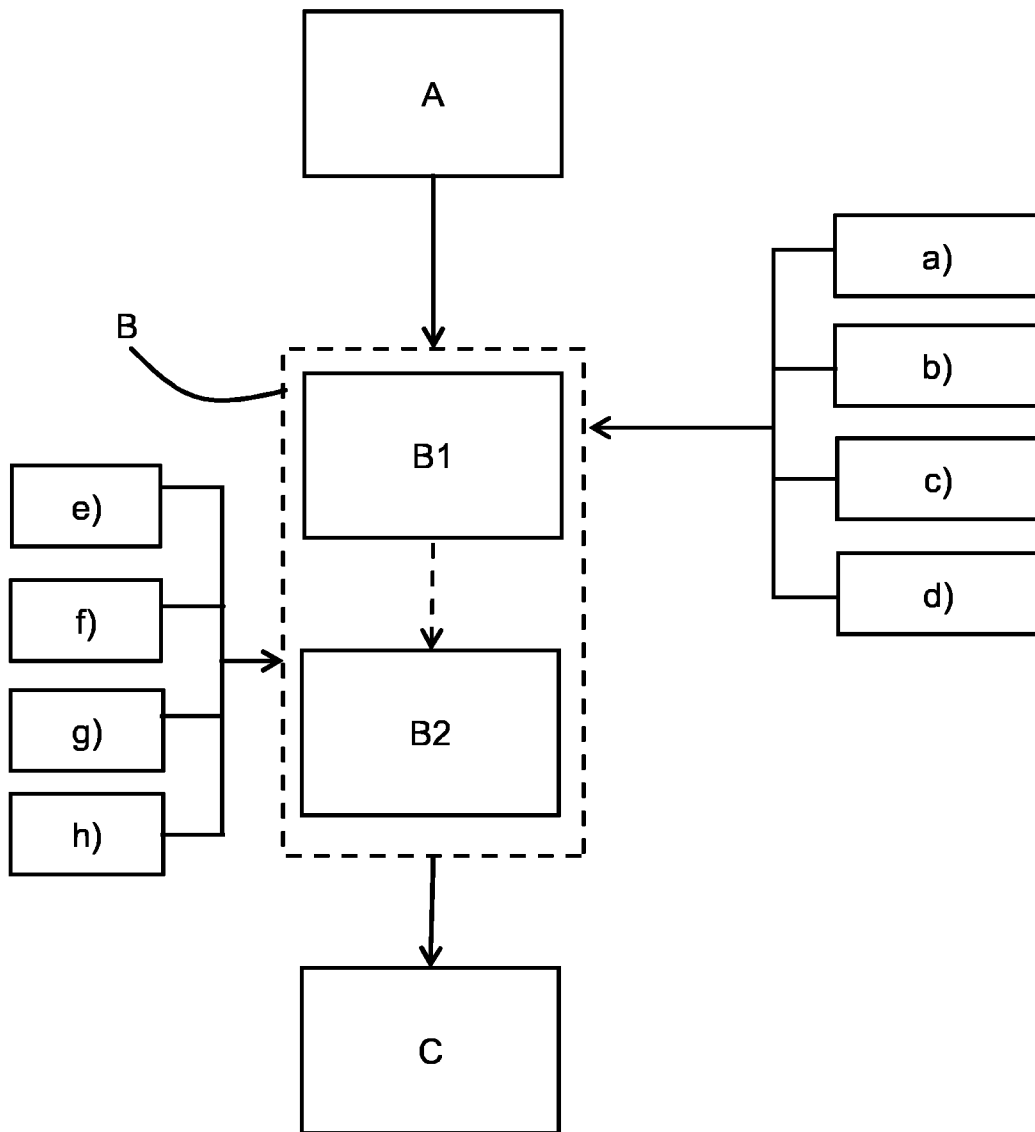


Fig.8

9/11

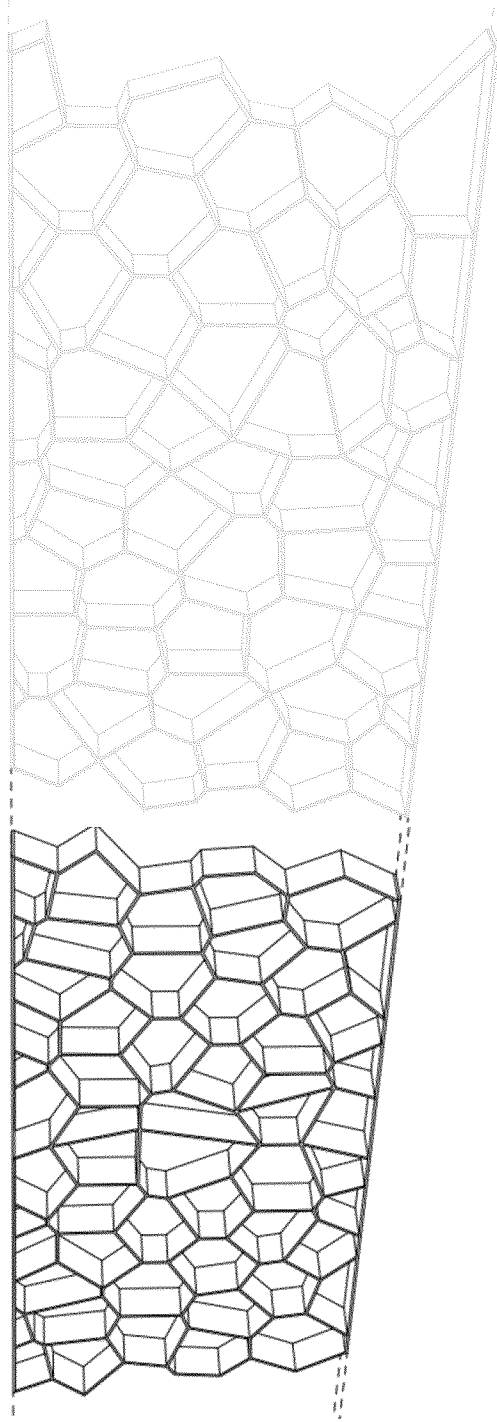


Fig.9

10/11

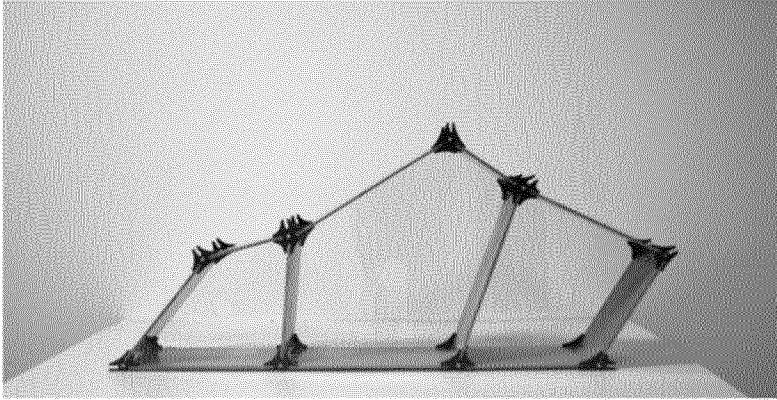


Fig.10

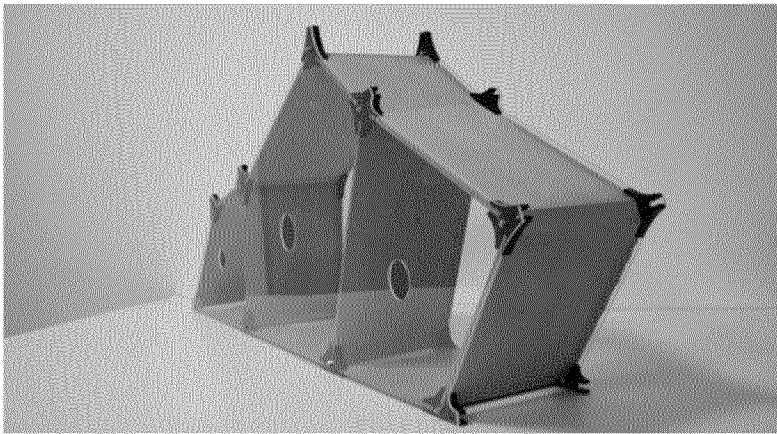


Fig.11

11/11

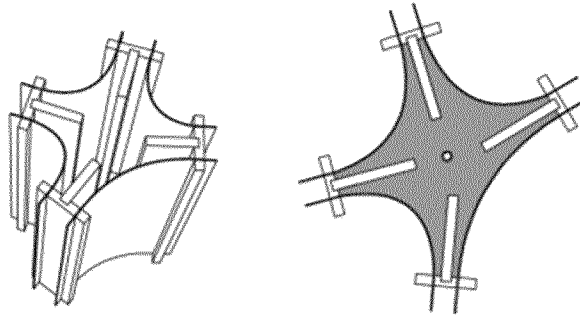


Fig.12

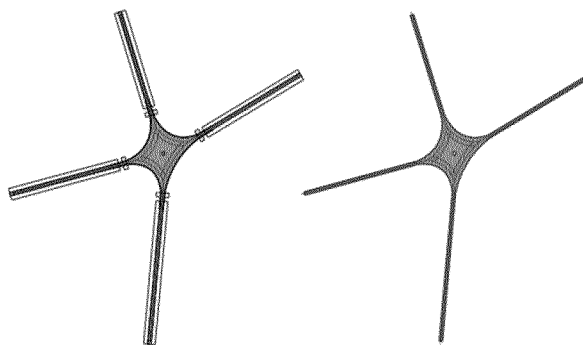


Fig.13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/062052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. E04B1/82 E04B1/86 E04B1/84
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 E04B G01K E01F
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/186380 A1 (BEAUVILAIN THIERRY [FR] ET AL) 4 August 2011 (2011-08-04) paragraph [0002] - paragraph [0027] paragraph [0038] - paragraph [0068] figures 1,3,5,6 -----	1-17
X	US 4 084 367 A (SAYLOR CHARLES J ET AL) 18 April 1978 (1978-04-18) column 9, line 24 - column 10, line 30; figures 8-10 -----	1-17

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search <p align="center">26 July 2017</p>	Date of mailing of the international search report <p align="center">02/08/2017</p>
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <p align="center">Delzor, François</p>
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/062052

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2011186380	A1	04-08-2011	BR PI0910982 A2	05-01-2016
			CA 2720841 A1	03-12-2009
			EP 2274740 A2	19-01-2011
			FR 2929746 A1	09-10-2009
			HU E026192 T2	30-05-2016
			US 2011186380 A1	04-08-2011
			WO 2009144404 A2	03-12-2009

US 4084367	A	18-04-1978	CA 1067415 A	04-12-1979
			DE 2650886 A1	18-05-1977
			GB 1572177 A	23-07-1980
			HK 72385 A	04-10-1985
			JP S5275020 A	23-06-1977
			JP S6334263 B2	08-07-1988
			US 4084366 A	18-04-1978
			US 4084367 A	18-04-1978

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/062052

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. E04B1/82 E04B1/86 E04B1/84 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) E04B G01K E01F		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/186380 A1 (BEAUVILAIN THIERRY [FR] ET AL) 4. August 2011 (2011-08-04) Absatz [0002] - Absatz [0027] Absatz [0038] - Absatz [0068] Abbildungen 1,3,5,6 -----	1-17
X	US 4 084 367 A (SAYLOR CHARLES J ET AL) 18. April 1978 (1978-04-18) Spalte 9, Zeile 24 - Spalte 10, Zeile 30; Abbildungen 8-10 -----	1-17
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
26. Juli 2017		02/08/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Delzor, François

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/062052

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011186380 A1	04-08-2011	BR PI0910982 A2	05-01-2016
		CA 2720841 A1	03-12-2009
		EP 2274740 A2	19-01-2011
		FR 2929746 A1	09-10-2009
		HU E026192 T2	30-05-2016
		US 2011186380 A1	04-08-2011
		WO 2009144404 A2	03-12-2009

US 4084367 A	18-04-1978	CA 1067415 A	04-12-1979
		DE 2650886 A1	18-05-1977
		GB 1572177 A	23-07-1980
		HK 72385 A	04-10-1985
		JP S5275020 A	23-06-1977
		JP S6334263 B2	08-07-1988
		US 4084366 A	18-04-1978
		US 4084367 A	18-04-1978
