



(11) **EP 2 581 567 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**17.04.2013 Patentblatt 2013/16**

(51) Int Cl.:  
**F01N 1/06 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **12184776.8**

(22) Anmeldetag: **18.09.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder:  
• **Krüger, Jan**  
**73765 Neuhausen (DE)**  
• **Nicolai, Manfred**  
**73730 Esslingen (DE)**  
• **Pommerer, Michael**  
**73066 Uhingen (DE)**

(30) Priorität: **14.10.2011 DE 102011084567**

(71) Anmelder: **J. Eberspächer GmbH & Co. KG**  
**73730 Esslingen (DE)**

(74) Vertreter: **BRP Renaud & Partner**  
**Rechtsanwälte Notare Patentanwälte**  
**Königstrasse 28**  
**70173 Stuttgart (DE)**

(54) **Aktiver Schalldämpfer**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft einen aktiven Schalldämpfer (3) für eine Abgasanlage (1) einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise eines Kraftfahrzeugs, umfassend ein Gehäuse (7), ein Verbindungsrohr (8) zum akustischen und fluidischen Verbinden des Gehäuses (7) mit der Abgasanlage (1), eine aktive Membran (10), die im Gehäuse (7) ein fluidisch mit dem Verbindungsrohr (8) verbundenes Vorvolumen (12) von einem Rückvolu-

men (13) trennt, und einen Aktuator (11) zur Schwingungsanregung der aktiven Membran (10).

Eine Beschädigungsgefahr durch Kondensat im Rückvolumen (13) lässt sich reduzieren durch wenigstens eine Kondensationsleitung (14), die das Rückvolumen (13) fluidisch mit dem Vorvolumen (12) verbindet, in der im Abgas enthaltener Dampf kondensiert und die das anfallende Kondensat zum Vorvolumen (12) leitet.

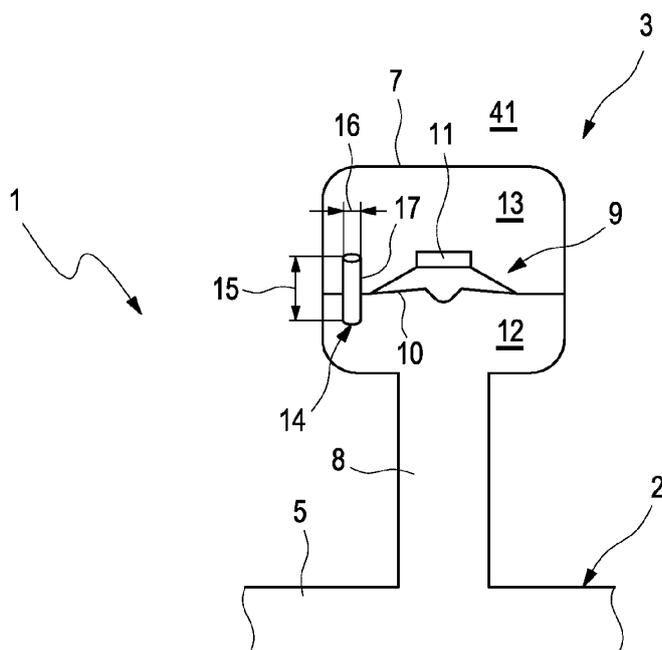


Fig. 2

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen aktiven Schalldämpfer für eine Abgasanlage einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise eines Kraftfahrzeugs mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

**[0002]** Aus der DE 10 2009 049 280 A1 ist ein aktiver Schalldämpfer bekannt, der ein Gehäuse aufweist sowie ein Verbindungsrohr zum akustischen und fluidischen Verbinden des Gehäuses mit der Abgasanlage. Im Gehäuse ist ein Lautsprecher angeordnet, der eine aktive Membran sowie einen Aktuator zur Schwingungsanregung der Membran umfasst. Die Membran trennt im Gehäuse ein fluidisch mit dem Verbindungsrohr verbundenes Vorvolumen von einem Rückvolumen.

**[0003]** Derartige aktive Schalldämpfer werden dazu verwendet, durch Einspeisen eines berechneten Schalls, insbesondere Gegenschall oder Antischall, ein Mündungsgeräusch der Abgasanlage in gewünschter Weise zu beeinflussen, vorzugsweise zu dämpfen. Hierzu steht das Vorvolumen über das Verbindungsrohr in fluidischer Verbindung mit der Abgasanlage. Das Vorvolumen hat typischerweise keine direkte Verbindung zur Atmosphäre außerhalb der Abgasanlage, also zur Umgebung der Abgasanlage. Das Rückvolumen wird durch die aktive Membran und das Gehäuse des Schalldämpfers begrenzt, so dass der Lautsprecher rückseitig auf ein geschlossenes Volumen und vorderseitig auf die Abgasanlage arbeitet.

**[0004]** Bauartbedingt ist die Membran eines derartigen Lautsprechers mit elektro-dynamischem Aktuator empfindlich gegenüber unterschiedlichen statischen bzw. quasi-statischen Drücken vor und hinter der Membran. Abhängig von der Fläche der Membran und der Steifigkeit einer Membranaufhängung wird die Membran des Lautsprechers durch einen Differenzdruck aus der Mittellage ausgelenkt, was die Leistungsfähigkeit des Lautsprechers herabsetzt, durch seinen elektro-dynamischen Antrieb (Aktuator) dynamische Wechseldrücke vor und hinter der Membran zu erzeugen. Hält diese Auslenkung aus der Mittellage außerdem über einen längeren Zeitraum und zusätzlich unter thermischer Belastung des Lautsprechers an, kann aufgrund des Kriechverhaltens einzelner Bauteile des Lautsprechers, insbesondere der Membranaufhängung, die Membran dauerhaft ausgelenkt bleiben, auch ohne dass weiterhin ein Druckunterschied zwischen Vorvolumen und Rückvolumen besteht und auf die Membran wirkt.

**[0005]** Die in diesem Zusammenhang auftretenden Differenzdrücke zwischen Vorvolumen und Rückvolumen können grob wie folgt voneinander unterschieden werden. Zum einen entsteht ein statischer Druckunterschied durch Änderung des äußeren Luftdrucks in der Atmosphäre bzw. Umgebung der Abgasanlage infolge des Wetters, z.B. bei einem Wechsel von einem Tiefdruckgebiet zu einem Hochdruckgebiet oder infolge einer Änderung der Höhe über dem Meeresspiegel, z.B. bei einer Bergfahrt. Diese statischen Druckänderungen

vollziehen sich relativ langsam, bspw. mit einer Zeitkonstante oder Periodendauer von mehr als 10 Sek., d.h. mit einer Frequenz von weniger als 0,1 Hz. Ferner entsteht ein quasistatischer Druckunterschied durch Änderung der Strömungsbedingungen in der Abgasanlage, insbesondere durch den Bernoulli-Effekt an der Verbindungsstelle zwischen dem Verbindungsrohr und der Abgasanlage. Die Strömungsbedingungen in der Abgasanlage ändern sich abhängig vom jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine, bspw. bei einem Wechsel von Leerlaufbetrieb zu höheren Lasten oder Volllast, was mit höheren Massenströmen und Abgastemperaturen einhergeht. Diese quasi-statischen Druckänderungen vollziehen sich bspw. mit einer Zeitkonstante oder Periodendauer zwischen 0,1 Sek. und 10 Sek., d.h. mit einer Frequenz zwischen 0,1 Hz und 10 Hz. Schließlich können auch dynamische Druckunterschiede entstehen, nämlich die bestimmungsgemäß vom Lautsprecher erzeugten Wechseldrücke, also die akustischen Signale zur Beeinflussung der Schallabstrahlung der Abgasanlage. Diese dynamischen Druckschwankungen besitzen typischerweise eine Periodendauer bzw. Zeitkonstante kleiner als 0,1 Sek., d.h. Frequenzen größer als 10 Hz.

**[0006]** Um die ordnungsgemäße Funktion des elektro-dynamischen Lautsprechers, also der Baugruppe aus aktiver Membran und zugehörigem elektro-dynamischem Aktuator zu gewährleisten, müssen daher alle Differenzdrücke mit einer Periodendauer größer als 0,1 Sek., also die statischen und quasi-statischen Druckschwankungen ausgeglichen werden. Zugleich muss sichergestellt werden, dass im relevanten Frequenzbereich ab 10 Hz die elektro-dynamisch erzeugten Wechseldrücke nicht wesentlich gemindert oder gar akustisch kurzgeschlossen werden.

**[0007]** Eine Kompensation bzw. ein Ausgleich der statischen Druckunterschiede, also der langsamen Schwankungen des atmosphärischen Luftdrucks gegenüber dem geschlossenen Rückvolumen lässt sich dadurch erreichen, dass zumindest eine relativ kleine Druckausgleichsöffnung vorgesehen wird, die das Rückvolumen mit der Umgebung des Schalldämpfers fluidisch verbindet. Unter Umständen kann hierbei bereits eine geringfügige Undichtigkeit des Gehäuses ausreichen, um die statischen Druckunterschiede auszugleichen.

**[0008]** Ein Ausgleich der quasi-statischen Druckschwankungen kann gemäß der eingangs genannten DE 10 2009 049 280 A1 durch wenigstens eine Druckausgleichsöffnung ermöglicht werden, die das Rückvolumen fluidisch mit dem Vorvolumen verbindet. Eine derartige Druckausgleichsöffnung ist dabei vergleichsweise klein dimensioniert, um einen akustischen Kurzschluss zwischen Vorvolumen und Rückvolumen zu vermeiden.

**[0009]** Derartige Druckausgleichsöffnungen zwischen Vorvolumen und Rückvolumen sind gasdurchlässig und diffusionsoffen, wodurch insbesondere Abgas, das über das Verbindungsrohr von der Abgasanlage in das Vorvolumen gelangt, auch in das Rückvolumen eintreten kann. Hierbei tritt gleichzeitig ein Temperaturgradient

auf, da das Abgas in der Abgasanlage meist höheren Temperaturen ausgesetzt ist als im Rückvolumen. Dabei entsteht das Problem, das im Abgas gebundene Feuchtigkeit, also Dampf, im kühleren Rückvolumen kondensiert. Je nach Abgaszusammensetzung ist das dabei entstehende Kondensat vergleichsweise aggressiv, insbesondere kann das Kondensat Schwefelsäure umfassen. Das aggressive Kondensat kann auf Dauer den elektro-dynamischen Aktuator sowie Anschlusskabel beschädigen. Maßnahmen zur Verbesserung der Kondensatresistenz am Lausprecher sowie der Isolierung des Kabels und der Verbindung zwischen den Kabeln und dem Aktuator sind vergleichsweise aufwändig und erhöhen die Herstellungskosten. Vermeidet man diese kostenintensiven Maßnahmen zur Verbesserung der Kondensatresistenz, lässt sich der aktive Schalldämpfer an der Abgasanlage nur im Bereich eines Endrohrs positionieren, wobei durch konstruktive Maßnahmen am jeweiligen Endrohr dafür gesorgt werden kann, dass der durch die Strömungsgeschwindigkeit hervorgerufene quasi-statische Druckunterschied zwischen Vorvolumen und Rückvolumen dann möglichst klein ist. In der Folge kann auf die Druckausgleichsöffnung zwischen Vorvolumen und Rückvolumen verzichtet werden. Dies schränkt jedoch die Gestaltung der aktiven Schalldämpfung signifikant ein und behindert bzw. verhindert den Einsatz eines aktiven Schalldämpfers an einem vom Endrohr entfernten Bereich stromauf in Richtung Motor, obwohl dort die akustische Wirksamkeit des aktiven Schalldämpfers möglicherweise besser ist.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, für einen aktiven Schalldämpfer eine verbesserte Ausführungsform anzugeben, die sich dadurch auszeichnet, dass einerseits Nachteile, die sich durch quasi-statische Differenzdrücke zwischen Vorvolumen und Rückvolumen ergeben, reduziert oder behoben oder vermieden werden, wobei gleichzeitig Nachteile, die durch Kondensatbildung im Rückvolumen entstehen können, reduziert oder behoben oder vermieden werden.

**[0011]** Dieses Problem wird bei der Erfindung insbesondere durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0012]** Gemäß einer ersten Lösung beruht die Erfindung auf dem allgemeinen Gedanken, das Rückvolumen mit dem Vorvolumen über zumindest eine Kondensationsleitung fluidisch zu verbinden. Dabei ist diese Kondensationsleitung so konzipiert, dass darin im Abgas enthaltener Dampf kondensiert, wobei die Kondensationsleitung dann das darin anfallende Kondensat zum Vorvolumen leitet. Mit anderen Worten, die jeweilige Kondensationsleitung unterstützt die Kondensation derart, dass das Kondensat innerhalb der Kondensationsleitung anfällt, also während sich der Dampf vom Vorvolumen in Richtung Rückvolumen bewegt. Da das Rückvolumen geschlossen ist, kommt es zu keiner Durchströmung der Kondensationsleitung, sondern lediglich zu Diffusionsvorgängen bzw. zu sehr langsamen Volumenverschie-

bungen durch den jeweiligen Druckausgleich. Die große Verweildauer des Dampfes in der Kondensationsleitung, die sich einerseits durch die langsamen Gasbewegungen ergibt und andererseits durch eine entsprechend dimensionierte Leitungslänge erzielen lässt, kann die Kondensation im Wesentlichen bereits innerhalb der Kondensationsleitung stattfinden, so dass kaum Dampf in das Rückvolumen gelangt. Das bedeutet, dass das Kondensat nicht im Rückraum anfallen kann, sondern bereits auf dem Weg dahin, innerhalb der Kondensationsleitung, anfällt. Durch eine geeignete Anordnung der Kondensationsleitung kann diese das darin anfallende Kondensat leicht in das Vorvolumen leiten, wo es aufgrund der dort herrschenden Temperaturen wieder verdampft und vom Abgasstrom mitgenommen werden kann. Durch die Ausstattung des aktiven Schalldämpfers mit einer derartigen Kondensationsleitung kann somit die Entstehung von aggressivem Kondensat im Rückvolumen signifikant reduziert oder sogar vermieden werden. In der Folge reduziert sich auch die Gefahr von Beschädigungen durch aggressives Kondensat am Aktuator. Bemerkenswert ist außerdem, dass durch die mit Hilfe der Kondensationsleitung geschaffenen fluidischen Verbindung zwischen Vorvolumen und Rückvolumen gleichzeitig auch der gewünschte Druckausgleich zwischen Vorvolumen und Rückvolumen realisierbar ist. Insgesamt eröffnet die vorgeschlagene Maßnahme die Möglichkeit, den aktiven Schalldämpfer auch motornah einzusetzen, so dass quasi beliebige Positionierungen für den aktiven Schalldämpfer an der Abgasanlage realisierbar sind. Die Kondensationsleitung ersetzt dabei die aus dem Stand der Technik, vergleiche die vorstehende DE 10 2009 049 280 A1, bekannte Druckausgleichsöffnung zwischen Vorvolumen und Rückvolumen.

**[0013]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform kann die Kondensationsleitung darum das Rückvolumen zum Druckausgleich ohne akustischen Kurzschluss mit dem Vorvolumen fluidisch verbinden. Mit anderen Worten, die Kondensationsleitung ist so dimensioniert, dass sie für eine Übertragung dynamischer Druckschwankungen zwischen Vorvolumen und Rückvolumen ungeeignet ist, insbesondere aufgrund der in der Kondensationsleitung entstehenden Reibung. Zweckmäßig ist hierzu die Kondensationsleitung deutlich länger als ihr Innendurchmesser. Insbesondere ist die Leitungslänge wenigstens 10 mal größer als der Leitungsdurchmesser, vorzugsweise ist die Leitungslänge mindestens 100 mal größer als der Leitungsdurchmesser. Die Kondensationsleitung kann grundsätzlich geradlinig gestaltet sein. Ebenso ist eine Ausführungsform denkbar, bei welcher die Kondensationsleitung gekrümmt ist, z.B. spiralförmig und/oder schraubenförmig, um bei kurzer Baulänge eine große Leitungslänge zu realisieren.

**[0014]** Bei einer anderen vorteilhaften Ausführungsform kann die Kondensationsleitung vollständig im Inneren des Gehäuses angeordnet sein, so dass es sich um eine interne Kondensationsleitung handelt. Diese Bauweise reduziert die Gefahr von Leckagen.

**[0015]** Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung kann nun ein wesentlicher Abschnitt der im Inneren des Gehäuses verlaufenden Kondensationsleitung im Rückvolumen angeordnet sein. Zweckmäßig ist mehr als die Hälfte, also mehr als 50 % der Länge der Kondensationsleitung im Rückvolumen angeordnet. Insbesondere sind mindestens 75 % der Länge der Kondensationsleitung im Rückvolumen angeordnet. Hierdurch wirkt auf einen vergleichsweise großen Anteil der Kondensationsleitung die im Rückvolumen herrschende Temperatur, so dass ein wesentlicher Abschnitt der Kondensationsleitung im Vergleich zum Abgas kühl ist und die gewünschte Kondensation bewirkt.

**[0016]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform kann die Kondensationsleitung einen außerhalb des Gehäuses verlaufenden Abschnitt aufweisen. Dieser Abschnitt kann zweckmäßig einen mit dem Vorvolumen verbundenen Endabschnitt der Kondensationsleitung mit einem mit dem Rückvolumen verbundenen Endabschnitt der Kondensationsleitung verbinden. Auf diese Weise wird eine zumindest teilweise extern verlaufende Kondensationsleitung geschaffen, was Möglichkeiten eröffnet, die Kondensatbildung innerhalb der Kondensationsleitung zu unterstützen.

**[0017]** Bspw. kann gemäß einer Weiterbildung der außerhalb des Gehäuses angeordnete Abschnitt der Kondensationsleitung gekühlt sein. Denkbar ist bspw. eine rein passive Kühlung durch die in der Umgebung des Schalldämpfers herrschenden Temperaturen. Eine weitere passive Kühlung kann durch eine Umströmung des Schalldämpfers und des extern verlaufenden Abschnitts der Kondensationsleitung hervorgerufen werden, bspw. durch Fahrtwind eines mit der Brennkraftmaschine ausgestatteten Kraftfahrzeugs. Eine aktive Kühlung des außerhalb des Gehäuses verlaufenden Abschnitts der Kondensationsleitung ist ebenfalls denkbar, bspw. mit Hilfe eines Gebläses, das eine Luftströmung zur Beaufschlagung des Abschnitts erzeugt. Der Abschnitt kann dabei mit Kühlrippen oder dergleichen ausgestattet sein. Ebenso ist es möglich, besagten Abschnitt in einen Wärmeübertrager einzubinden, der außerdem in einen Kühlkreis eingebunden ist, so dass mit Hilfe des Wärmeübertragers Wärme von der Kondensationsleitung auf ein Kühlmittel des Kühlkreises übertragen werden kann.

**[0018]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform kann die Kondensationsleitung ein Rohr sein, das insbesondere aus einem metallischen Werkstoff hergestellt ist und sich durch eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit auszeichnet.

**[0019]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann das Rückvolumen gegenüber einer Umgebung des Schalldämpfers hermetisch abgedichtet sein. Das bedeutet, dass das Gehäuse des Schalldämpfers im Bereich des Rückvolumens keine Öffnung besitzt, durch die ein Fluid in das Rückvolumen gelangen kann oder daraus austreten kann. Mit anderen Worten, das Rückvolumen ist, abgesehen von der mithilfe der Kondensationsleitung geschaffenen fluidischen Verbindung mit dem Vorvolu-

men, vollständig gekapselt. Insbesondere ist in diesem Fall weder eine Druckausgleichsöffnung vorhanden, die das Rückvolumen mit der Umgebung fluidisch verbindet, noch ein sonstiger Anschluss vorgesehen, über den ein Fluid dem Rückvolumen zugeführt oder daraus abgeführt werden kann.

**[0020]** Entsprechend einer zweiten Lösung beruht die vorliegende Erfindung auf dem allgemeinen Gedanken, wenigstens eine Druckausgleichskammer vorzusehen. Eine derartige Druckausgleichskammer umschließt dabei ein Ausgleichsvolumen, das über wenigstens eine Verbindungsleitung mit dem Vorvolumen fluidisch verbunden ist. Somit herrscht im Ausgleichsvolumen der Druck des Vorvolumens. Des Weiteren ist zumindest eine passive Membran vorgesehen, die so positioniert ist, dass sie einerseits dem im Ausgleichsvolumen herrschenden Druck und andererseits dem im Rückvolumen herrschenden Druck ausgesetzt ist. Mit anderen Worten, die passive Membran verformt sich abhängig von der daran angreifenden Druckdifferenz, die durch die fluidische Kopplung zwischen Ausgleichsvolumen und Vorvolumen letztlich der Druckdifferenz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen entspricht. Somit kann die passive Membran abhängig von ihrer Steifigkeit den im Vorvolumen herrschenden Druck auf das Rückvolumen übertragen, wodurch der gewünschte Druckausgleich mehr oder weniger realisiert wird. Bemerkenswert ist dabei, dass durch die Verbindung der passiven Membran ein Gasaustausch zwischen Vorvolumen und Rückvolumen nicht mehr möglich ist. Mit anderen Worten, bei der hier vorgestellten zweiten Lösung sind das Vorvolumen und das Rückvolumen fluidisch voneinander getrennt. In der Folge kann im Rückvolumen kein Kondensat anfallen. Insgesamt eröffnet die vorgeschlagene Maßnahme die Möglichkeit, den aktiven Schalldämpfer auch motorisch einzusetzen, so dass quasi beliebige Positionierungen für den aktiven Schalldämpfer an der Abgasanlage realisierbar sind. Sofern im Ausgleichsvolumen Kondensat anfällt, kann dieses durch die Verbindungsleitung zum Vorvolumen geleitet werden.

**[0021]** Um die Effizienz der Druckausgleichskammer zu steigern, ist die passive Membran biegeweicher konzipiert als die aktive Membran des Lautsprechers. Insbesondere ist die passive Membran wenigstens doppelt so elastisch wie die aktive Membran.

**[0022]** Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann die Druckausgleichskammer ein im Rückvolumen angeordnetes Kammergehäuse aufweisen, wobei dann die passive Membran zumindest einen Teil des Kammergehäuses bildet. Mit anderen Worten, die passive Membran trennt innerhalb des Gehäuses des Schalldämpfers das Ausgleichsvolumen vom Rückvolumen. Hierdurch können Leckageprobleme reduziert werden.

**[0023]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung kann die passive Membran das gesamte Kammergehäuse bilden. Mit anderen Worten, die passive Membran ist so geformt, dass sie das Kammergehäuse bildet und das

Ausgleichsvolumen umschließt. Insbesondere kann das Gehäuse als elastischer Ballon oder als elastischer Faltenbalg ausgestaltet sein. In diesem Fall definiert die passive Membran die elastische Haut des Ballons bzw. den elastischen Balgkörper. Sofern die passive Membran das gesamte Kammergehäuse bildet, kann sich abhängig von der Druckdifferenz zwischen Ausgleichsvolumen und Rückvolumen das Kammergehäuse ausdehnen bzw. schrumpfen, um die Drücke zwischen Ausgleichsvolumen und Rückvolumen aneinander anzugleichen. Ein vollständiger Druckausgleich ist dabei aufgrund der inneren Spannung der passiven Membran nicht möglich. Je weicher die passive Membran dabei ist, desto näher können sich die Drücke zwischen Ausgleichsvolumen und Rückvolumen angleichen.

**[0024]** Bei einer alternativen Ausführungsform kann die Druckausgleichskammer ein außerhalb des Rückvolumens bzw. außerhalb des Gehäuses angeordnetes Kammergehäuse aufweisen, wobei dann die passive Membran im Kammergehäuse das Ausgleichsvolumen von einem Kopplungsvolumen trennt. Eine Kopplungsleitung sorgt dann für eine fluidische Verbindung zwischen Kopplungsvolumen und Rückvolumen. Somit herrscht im Kopplungsvolumen der Druck des Rückvolumens. Eine Druckdifferenz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen führt somit zu einer entsprechenden Druckdifferenz zwischen Ausgleichsvolumen und Kopplungsvolumen, die durch eine entsprechende Deformation der passiven Membran mehr oder weniger ausgeglichen werden kann. Auch hier gilt, dass der gewünschte Druckausgleich umso besser gelingt, je weicher die passive Membran ist.

**[0025]** Gemäß einer weiteren alternativen Ausführungsform kann die Druckausgleichskammer im Gehäuse ausgebildet sein, wobei dann die passive Membran im Gehäuse das Ausgleichsvolumen vom Rückvolumen trennt. Auch diese interne Bauform reduziert Leckageprobleme.

**[0026]** Bei einer zweckmäßigen Weiterbildung kann die Verbindungsleitung im Gehäuse angeordnet sein und sich durch das Rückvolumen hindurch erstrecken. Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass sich aufgrund einer entsprechend gewählten Positionierung der passiven Membran innerhalb des Gehäuses das Ausgleichsvolumen distal zum Vorvolumen befindet, so dass insbesondere das Rückvolumen zwischen dem Ausgleichsvolumen und dem Vorvolumen angeordnet ist. Ferner ist das Ausgleichsvolumen innerhalb des Gehäuses zweckmäßig so angeordnet, dass die passive Membran keinen Kontakt zum Vorvolumen besitzt.

**[0027]** Bei einer anderen Ausführungsform kann die Verbindungsleitung so angeordnet sein, dass sie im Ausgleichsvolumen ggf. anfallendes Kondensat zum Vorvolumen leitet. Mit anderen Worten, die Verbindungsleitung ist auf die vorgesehene Einbausituation so abgestimmt, dass sie ein Gefälle in Richtung Vorvolumen besitzt.

**[0028]** Eine dritte Lösung der Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, die aufgrund einer Druckdiffe-

renz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen ausgebildete statische Auslenkung der aktiven Membran durch eine entsprechende Ansteuerung des Aktuators zu kompensieren. Hierzu ist der aktive Schalldämpfer mit einer Sensorik zum Messen einer Druckdifferenz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen ausgestattet. Diese Sensorik kann bspw. einen Differenzdrucksensor umfassen, der die Druckdifferenz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen direkt misst. Ebenso ist die Verwendung von zwei Absolutdrucksensoren denkbar, von denen der eine den Absolutdruck im Vorvolumen misst, während der andere den Absolutdruck im Rückvolumen misst. Die Differenz der beiden absoluten Drücke ergibt dann den gewünschten Differenzdruck. Die Sensorik ist ferner mit einer Steuerung gekoppelt, die zum Ansteuern des Aktuators dient. Diese Steuerung ist nun so programmiert bzw. ausgestaltet, dass sie den Aktuator abhängig von der gemessenen Druckdifferenz so ansteuert, dass dieser die aktive Membran entgegen der durch die Druckdifferenz verursachten Auslenkung auslenkt, wodurch die durch die Druckdifferenz verursachte Auslenkung der aktiven Membran mehr oder weniger kompensiert werden kann. Da eine Steuerung zum Betätigen des Aktuators im aktiven Lautsprecher ohnehin vorhanden ist, erfordert die hier vorgestellte Lösung nur eine zur Differenzdruckmessung geeignete Sensorik und eine entsprechende Kopplung in Verbindung mit einer geeigneten Programmierung. Somit lässt sich diese Ausführungsform vergleichsweise preiswert und nahezu ohne konstruktiven Aufwand realisieren. Insbesondere kommt eine derartige Ausführungsform ohne Druckausgleich zwischen Vorvolumen und Rückvolumen aus. Insbesondere kann sich diese Bauform daher dadurch charakterisieren, dass das Vorvolumen und das Rückvolumen fluidisch voneinander getrennt sind. Durch die fluidische Trennung des Rückvolumens vom Vorvolumen besteht auch die Gefahr einer Kondensatbildung im Rückvolumen nicht. Insgesamt eröffnet die vorgeschlagene Maßnahme die Möglichkeit, den aktiven Schalldämpfer auch motornah einzusetzen, so dass quasi beliebige Positionierungen für den aktiven Schalldämpfer an der Abgasanlage realisierbar sind.

**[0029]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform kann die Steuerung ein von der gemessenen Druckdifferenz abhängiges statisches Steuersignal dynamischen Steuersignalen überlagern, mit denen die Steuerung den Aktuator zum Antreiben der aktiven Membran ansteuert, damit diese Gegenschall zur Beeinflussung, insbesondere zur Bedämpfung von im Abgas mitgeführtem Luftschall erzeugt. Mit anderen Worten, das zum Kompensieren der durch die Druckdifferenz verursachten Auslenkung der aktiven Membran erzeugte statische Steuersignal wird auf die dynamischen Steuersignale aufmoduliert, mit denen die Steuerung den Aktuator ansteuert, damit dieser die aktive Membran so ansteuert, damit diese die gewünschten Druckpulsationen in die Abgasanlage einleiten kann.

**[0030]** Eine vierte Lösung der Erfindung beruht eben-

falls auf dem allgemeinen Gedanken, die aufgrund einer Druckdifferenz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen ausgebildete statische Auslenkung der aktiven Membran durch eine entsprechende Ansteuerung des Aktuators zu kompensieren. Abweichend von der vorstehend beschriebenen dritten Lösung wird bei der vierten Lösung nicht die Druckdifferenz gemessen, sondern die daraus resultierende Auslenkung der aktiven Membran aus deren Mittellage ermittelt, um die Auslenkung direkt als Basis für die Ansteuerung des Aktuators zu verwenden. Hierzu umfasst der Schalldämpfer eine Einrichtung zum Ermitteln einer Auslenkung der aktiven Membran aus deren Mittellage. Eine zum Ansteuern des Aktuators vorgesehene Steuerung ist mit besagter Einrichtung gekoppelt und steuert den Aktuator abhängig von der ermittelten Membranauslenkung zum Kompensieren der Membranauslenkung an. Auf diese Weise kann auf eine aufwändige Druckmessung verzichtet werden.

**[0031]** Die Ermittlung der Membranauslenkung kann auf unterschiedliche Weise durchgeführt werden. Beispielsweise kann die Einrichtung eine Sensorik zum Messen der Membranauslenkung aufweisen. Alternativ kann die Einrichtung die Stromaufnahme des Aktuators bei dessen Ansteuerung auswerten und in Abhängigkeit davon die Membranauslenkung ermitteln. Diese rein elektronische Maßnahme kommt ohne zusätzliche Sensorik aus. Insbesondere kann dabei die übliche, während des Schalldämpfungsbetriebs auftretende Stromaufnahme des Aktuators ausgewertet werden. Diese Maßnahme beruht auf der Überlegung, dass sich die Stromaufnahme des Aktuators abhängig von einer Auslenkung der Membran ändert, da der Aktuator gegebenenfalls mit oder gegen eine Vorspannung der Membran arbeitet. Alternativ ist ebenso denkbar, dass die Einrichtung ein Mikrofonsignal eines den von der aktiven Membran abgestrahlten Schall erfassenden Mikrofons auswertet und in Abhängigkeit davon die Membranauslenkung ermittelt. Diese Maßnahme beruht auf der Überlegung, dass sich der von der aktiven Membran abgestrahlte Schall abhängig von der Vorspannung der Membran verändert. Ein derartiges Mikrofon ist bei einem üblichen aktiven Schalldämpfungssystem ohnehin vorhanden, so dass auch bei dieser Lösung auf eine zusätzliche Sensorik verzichtet werden kann. Es ist klar, dass grundsätzlich auch andere Maßnahmen denkbar sind, um die tatsächliche Membranauslenkung zu ermitteln.

**[0032]** Gemäß einer fünften Lösung beruht die vorliegende Erfindung auf dem allgemeinen Gedanken, die Druckdifferenz zwischen Vorvolumen und Rückvolumen mit Hilfe einer Fördereinrichtung auszugleichen, die zu diesem Zweck fluidisch an das Rückvolumen angeschlossen ist. Ist der Druck im Rückvolumen höher als der Druck im Vorvolumen, kann mit der Fördereinrichtung Gas bzw. Luft, aus dem Rückvolumen abgesaugt und z.B. in die Umgebung oder in das Vorvolumen gefördert werden, um den Druckausgleich zu bewirken. Ist dagegen der Druck im Rückvolumen niedriger als im Vorvolumen, kann mittels der Fördereinrichtung Gas bzw.

Luft, z.B. aus der Umgebung oder aus dem Vorvolumen, angesaugt und dem Rückvolumen zugeführt werden, um den Druckausgleich zu bewirken. Als Ausgangssignal zum Ansteuern der Fördereinrichtung kann dabei ein mit der Druckdifferenz korreliertes Signal oder ein mit der Auslenkung der Membran aus deren Mittellage korreliertes Signal dienen. Die entsprechenden Einrichtungen sind bereits vorstehend beschrieben.

**[0033]** Entsprechend einer besonders vorteilhaften Ausführungsform, die insbesondere für alle vorstehend genannten Lösungen und Ausführungsformen anwendbar ist, kann zumindest eine Druckausgleichsöffnung vorgesehen sein, die das Rückvolumen fluidisch mit einer Umgebung des Gehäuses des Schalldämpfers verbindet. Mit Hilfe einer derartigen Druckausgleichsöffnung, die mit geeigneten Maßnahmen, bspw. mittels einer gasdurchlässigen und für Flüssigkeit undurchlässigen Membran, gasdurchlässig und flüssigkeitsdicht ausgestaltet sein kann, lassen sich die eingangs beschriebenen statischen Druckdifferenzen zwischen dem Rückvolumen und der atmosphärischen Umgebung ausgleichen. Die vorstehend beschriebene erste Lösung, bei welcher das Vorvolumen und das Rückvolumen durch die Kondensationsleitung miteinander fluidisch verbunden sind, kann ebenso wie die zugehörigen Ausführungsformen so ausgestaltet sein, dass das Rückvolumen von der Umgebung des Gehäuses des Schalldämpfers fluidisch getrennt ist. In diesen Fällen kann also auf eine derartige Druckausgleichsöffnung zwischen Rückvolumen und Umgebung verzichtet werden. Dagegen scheint es bei den anderen vorstehend beschriebenen Lösungen einschließlich der zugehörigen Ausführungsformen zweckmäßig zu sein, eine solche Druckausgleichsöffnung vorzusehen.

**[0034]** Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

**[0035]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0036]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Bauteile beziehen.

**[0037]** Es zeigen, jeweils schematisch,

Figur 1 eine teilweise geschnittene isometrische Ansicht einer Abgasanlage im Bereich eines aktiven Schalldämpfers,

Figuren 2 bis 10 stark vereinfachte Prinzipdarstellungen des aktiven Schalldämpfers bei

verschiedenen Ausführungsformen.

**[0038]** Entsprechend Figur 1 umfasst eine Abgasanlage 1 einer hier nicht gezeigten Brennkraftmaschine einen Abgasstrang 2 sowie wenigstens einen aktiven Schalldämpfer 3, der an den Abgasstrang 2 und somit an die Abgasanlage 1 angeschlossen ist. Im Beispiel ist der Schalldämpfer 3 an eine im Betrieb der Brennkraftmaschine einen in Figur 1 durch einen Pfeil angedeuteten Abgasstrom führende Abgasleitung 5 angeschlossen, wobei hierzu im Beispiel ein Y-förmiges Anschlussstück 6 verwendet wird, das in Figur 1 nur zur Hälfte dargestellt ist. Es ist klar, dass der Schalldämpfer 3 grundsätzlich an eine beliebige Komponente der Abgasanlage 1 angeschlossen werden kann, also nicht zwangsläufig an ein Abgasrohr 5. Der aktive Schalldämpfer 3 dient dabei zur Bedämpfung von Luftschall, der in der Abgasströmung 4 mitgeführt wird bzw. sich im Abgasstrang 2 ausbreitet.

**[0039]** Der Schalldämpfer 3 umfasst ein Gehäuse 7 sowie ein Verbindungsrohr 8 zum fluidischen Verbinden des Gehäuses 7 mit der Abgasanlage 1. Durch dieses Verbindungsrohr 8 hindurch erfolgt die akustische Kopplung zwischen dem Schalldämpfer 3 und der übrigen Abgasanlage 1. Das Verbindungsrohr 8 ist dabei nicht vom Abgas durchströmt. Das Abgas kann jedoch in das Verbindungsrohr 8 eintreten.

**[0040]** Entsprechend den Figuren 2 bis 10 umfasst der aktive Schalldämpfer 3 einen Lautsprecher 9, der eine aktive Membran 10 und einen Aktuator 11 umfasst. Die aktive Membran 10 trennt im Gehäuse 7 ein fluidisch mit dem Verbindungsrohr 8 verbundenes Vorvolumen 12 von einem Rückvolumen 13, das sich in den Darstellungen der Figuren 2 bis 8 an einer vom Verbindungsrohr 8 abgewandten Seite des Lautsprechers 9 befindet. Dementsprechend ist das Vorvolumen 11 dem Verbindungsrohr 8 zugewandt, während das Rückvolumen 13 vom Verbindungsrohr 8 abgewandt ist. Der Aktuator 11 arbeitet elektromagnetisch und dient zur Schwingungsanregung der aktiven Membran 10.

**[0041]** Bei den in den Figuren 2 und 3 gezeigten Ausführungsformen ist der Schalldämpfer 3 außerdem mit wenigstens einer Kondensationsleitung 14 ausgestattet, die bevorzugt aus einem metallischen Rohrkörper gebildet ist. Grundsätzlich kann die Kondensationsleitung 14 auch als elastischer Schlauch, insbesondere aus Kunststoff, konzipiert sein. Die Kondensationsleitung 14 führt zu einer fluidischen Verbindung des Rückvolumens 13 mit dem Vorvolumen 12, wodurch es zu einem Druckausgleich zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 kommt. Damit dieser Druckausgleich nur für statische oder quasi-statische Druckdifferenzen und nicht für dynamische Druckdifferenzen erfolgt, ist die Kondensationsleitung 14 so ausgelegt, dass sie das Rückvolumen 13 mit dem Vorvolumen 12 ohne akustischen Kurzschluss fluidisch verbindet. Dies wird bspw. durch eine entsprechende Drosselwirkung, insbesondere durch Reibung innerhalb der Kondensationsleitung 14 erreicht.

Bspw. ist eine Länge 15 der Kondensationsleitung 14 deutlich größer als ein Durchmesser 16 der Kondensationsleitung 14. Geeignete Verhältnisse sind bspw. mindestens 10:1 oder mindestens 100:1.

**[0042]** Die Kondensationsleitung 14 ist außerdem so konzipiert, dass Dampf, der im Abgas enthalten ist, das insbesondere durch Diffusionsvorgänge in die Kondensationsleitung 14 eindringt, in der Kondensationsleitung 14 kondensiert. Außerdem ist die Kondensationsleitung 14 so angeordnet, dass das darin anfallende Kondensat zum Vorvolumen 12 fließen kann. Dementsprechend besitzt die Kondensationsleitung 14 im Einbauzustand des Schalldämpfers 3 ein Gefälle in Richtung Vorvolumen 12.

**[0043]** Damit die Kondensationswirkung in der Kondensationsleitung 14 in gewünschtem Umfang auftritt, kann gemäß der in Figur 2 gezeigten Ausführungsform die Kondensationsleitung 14 vollständig im Inneren des Gehäuses 7 angeordnet sein. Dabei ist zweckmäßig ein wesentlicher Abschnitt 17, der sich über wenigstens 50 % der gesamten Kondensationsleitungslänge 15 erstreckt, im Rückvolumen 13 angeordnet. Hierdurch ist ein Großteil der Kondensationsleitung 14, nämlich der wesentliche Abschnitt 17, den im Rückvolumen 13 herrschenden Temperaturen ausgesetzt, die deutlich niedriger sind als die Temperaturen des in die Kondensationsleitung 14 eintretenden Abgases. Hierdurch kann die gewünschte Kondensation von Dampf in der Kondensationsleitung 14 realisiert werden.

**[0044]** Bei der in Figur 3 gezeigten Ausführungsform ist die Kondensationsleitung 14 so angeordnet, dass sie einem außerhalb des Gehäuses 7 verlaufenden Abschnitt 18 aufweist. Dieser außen liegende Abschnitt 18 verbindet einen mit dem Vorvolumen 12 verbundenen ersten Endabschnitt 19 der Kondensationsleitung 14 mit einem zweiten Endabschnitt 20 der Kondensationsleitung 14, der mit dem Rückvolumen 13 verbunden ist. Der außen liegende Abschnitt 18 kann bspw. mit Hilfe einer Kühlgasströmung 21 gekühlt werden, die in Figur 3 durch einen Pfeil angedeutet ist. Hierbei kann es sich um den Fahrwind handeln, der im Betrieb eines Fahrzeugs entsteht, das mit der Brennkraftmaschine ausgestattet ist, deren Abgase mit Hilfe der hier vorgestellten Abgasanlage 1 abgeführt werden. Alternativ lässt sich die Kühlgasströmung 21 bspw. auch mit Hilfe eines Gebläses 22 realisieren. Zur Verbesserung der Wärmeübertragung zwischen dem außen liegenden Abschnitt 18 und der Kühlgasströmung 21 kann die Kondensationsleitung 14 im außen liegenden Abschnitt 18 Kühlrippen 23 aufweisen. Zusätzlich oder alternativ kann die Kondensationsleitung 14 im außen liegenden Abschnitt 18 in einen Wärmeübertrager 24 eingebunden sein, der seinerseits in einen Kühlkreis 25 eingebunden ist, wobei eine Medientrennung zwischen dem Kühlmedium im Kühlkreis 25 und dem Abgas in der Kondensationsleitung 14 vorgeesehen ist.

**[0045]** Entsprechend den Figuren 4 bis 7 kann der Schalldämpfer 3 mit wenigstens einer Druckausgleichskammer 26 ausgestattet sein, die ein Ausgleichsvolumen

27 umschließt. Des Weiteren ist zumindest eine Verbindungsleitung 28 vorhanden, die das Ausgleichsvolumen 27 fluidisch mit dem Vorvolumen 12 verbindet. Außerdem ist wenigstens eine passive Membran 29 vorgesehen, die einerseits dem im Ausgleichsvolumen 27 herrschenden Druck und andererseits dem im Rückvolumen 13 herrschenden Druck ausgesetzt ist. Dementsprechend deformiert sich die passive Membran 29 abhängig von der Druckdifferenz zwischen Ausgleichsvolumen 27 und Rückvolumen 13. Da das Ausgleichsvolumen 27 durch die Verbindungsleitung 28 mit dem Vorvolumen 12 kommunizierend verbunden ist, entspricht der im Ausgleichsvolumen 27 herrschenden Druck dem im Vorvolumen 12 herrschenden Druck. Somit verformt sich die passive Membran 29 abhängig von der Druckdifferenz zwischen Rückvolumen 13 und Vorvolumen 12. In den Figuren 4 bis 7 ist für die passive Membran 29 mit durchgezogener Linie ein Ausgangszustand dargestellt, während gleichzeitig mit unterbrochener Linie ein Zustand wiedergegeben ist, in dem die passive Membran 29 aufgrund der Druckdifferenz zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 verformt ist.

**[0046]** Bei den Ausführungsformen der Figuren 4 und 5 umfasst die Druckausgleichskammer 26 ein Kammergehäuse 30, das im Rückvolumen 13 im Inneren des Gehäuses 7 angeordnet ist. Die passive Membran 29 bildet dabei zumindest einen Teil des Kammergehäuses 30. In der Folge trennt die passive Membran 29 im Inneren des Gehäuses 7 das Ausgleichsvolumen 27 vom Rückvolumen 13, so dass sie mittelbar dem Druck des Rückvolumens 13 ausgesetzt ist. In den gezeigten Beispielen ist dabei das gesamte Kammergehäuse 30 durch die passive Membran 29 gebildet. Bei der in Figur 4 gezeigten Ausführungsform ist das Kammergehäuse 30 als elastischer Ballon 30' ausgestaltet. Dieser Ballon 30' bzw. dessen Haut oder Hülle ist durch die passive Membran 29 gebildet. Bei der in Figur 5 gezeigten Ausführungsform ist das Kammergehäuse 30 als Faltenbalg 30" ausgestaltet. Der Balgkörper ist dabei durch die elastische passive Membran 29 gebildet.

**[0047]** Bei der in Figur 6 gezeigten Ausführungsform ist die Druckausgleichskammer 26 außerhalb des Gehäuses 7 angeordnet. Außerdem ist das Kammergehäuse 30 außerhalb des Gehäuses 7 angeordnet. Bei dieser Ausführungsform trennt die passive Membran 29 im Kammergehäuse 30 das Ausgleichsvolumen 27 von einem Kopplungsvolumen 31. Eine Kopplungsleitung 32 sorgt für eine fluidische Verbindung des Kopplungsvolumens 31 mit dem Rückvolumen 13. Im Beispiel der Figur 6 ist das Kammergehäuse 30 durch die Verbindungsleitung 28 und die Kopplungsleitung 32 beabstandet vom Gehäuse 7 des Schalldämpfers 3 angeordnet. Ebenso ist denkbar, das Kammergehäuse 30 unmittelbar an das Gehäuse 7 anzubauen, wobei sich dann die Kopplungsleitung 32 und die Verbindungsleitung 28 auf eine Verbindungsöffnung bzw. eine Kopplungsöffnung reduzieren. Die jeweilige Öffnung durchsetzt dann entweder eine Wand des Gehäuses 7 sowie eine Wand des Kammer-

gehäuses 30 oder eine gemeinsame Wand des Gehäuses 7 und des Kammergehäuses 30. Die Verbindungsöffnung sorgt dann für die fluidische Kopplung zwischen Ausgleichsvolumen 27 und Vorvolumen 12. Die Kopplungsöffnung sorgt dann für die fluidische Kopplung zwischen Kopplungsvolumen 31 und Rückvolumen 13.

**[0048]** Bei der in Figur 7 gezeigten Ausführungsform ist die Druckausgleichskammer 26 wieder im Inneren des Gehäuses 7 ausgebildet, wobei dann die passive Membran 29 im Gehäuse 7 das Ausgleichsvolumen 27 vom Rückvolumen 13 trennt. Im Beispiel der Figur 7 reduziert sich der bauliche Aufwand für das Kammergehäuse 30 auf eine Trennwand, die in Figur 7 ebenfalls mit 30 bezeichnet ist, die innerhalb des Gehäuses 7 einen das Rückvolumen 13 enthaltenden Bereich von einem das Ausgleichsvolumen 27 enthaltenden Bereich trennt. An dieser Trennwand 30 ist die passive Membran 29 gelagert bzw. aufgehängt. Die Verbindungsleitung 28 ist ebenfalls innerhalb des Gehäuses 7 angeordnet, wobei sie sich durch das Rückvolumen 13 hindurch erstreckt, um das Ausgleichsvolumen 27 mit dem Vorvolumen 12 verbinden zu können.

**[0049]** Bei den in den Figuren 4 bis 7 gezeigten Ausführungsformen ist die Verbindungsleitung 28 jeweils so angeordnet, dass sie Kondensat, das in der Verbindungsleitung 28 bzw. im Ausgleichsvolumen 27 anfallen kann, zum Vorvolumen 12 leitet. Hierzu kann die jeweilige Verbindungsleitung 28 im Einbauzustand ein entsprechendes Gefälle in Richtung Vorvolumen 12 besitzen.

**[0050]** Entsprechend Figur 8 kann der Schalldämpfer 3 grundsätzlich bei allen Ausführungsformen mit einer Steuerung 33 ausgestattet sein, die über eine entsprechende Steuerleitung 34 den Aktuator 11 ansteuern kann. Der Aktuator 11 treibt dann abhängig von seiner Ansteuerung die aktive Membran 10 zum Erzeugen von Druckwellen, insbesondere Schallwellen, an.

**[0051]** Darüber hinaus kann die in Figur 8 gezeigte Ausführungsform des Schalldämpfers 3 eine Sensorik 35 aufweisen, mit deren Hilfe eine Druckdifferenz zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 gemessen werden kann. Im Beispiel der Figur 8 umfasst die Sensorik 35 einen Differenzdrucksensor 36, der einerseits auf geeignete Weise, z.B. über eine erste Sensorleitung 37, mit dem Vorvolumen 12 gekoppelt ist und der andererseits auf geeignete Weise, z.B. über eine zweite Sensorleitung 38, mit dem Rückvolumen 13 gekoppelt ist. Über eine Signalleitung 39 ist die Sensorik 35 mit der Steuerung 33 gekoppelt, so dass die Steuerung 33 die Druckdifferenz zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 kennt. Die Steuerung 33 ist nun so ausgestaltet bzw. programmiert, dass sie den Aktuator 11 abhängig von der gemessenen Druckdifferenz ansteuert. Durch die gezielte Ansteuerung des Aktuators 11 kann nun eine durch die zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 herrschende Druckdifferenz bewirkte Auslenkung der aktiven Membran 10 mehr oder weniger kompensiert werden. Bspw. bewirkt ein Überdruck im Vorvolumen 12

eine Auslenkung der aktiven Membran 10 in Richtung Rückvolumen 13. Durch entsprechendes Ansteuern des Aktuators 11 kann dieser die aktive Membran 10 statisch in Richtung Vorvolumen 12 antreiben und insbesondere wieder in die Ausgangsstellung zurückverstellen. Somit ist die durch die Druckdifferenz zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 bewirkte Auslenkung der aktiven Membran 10 im Wesentlichen neutralisiert bzw. kompensiert.

**[0052]** Die Steuerung 33 ist dabei zweckmäßig so konfiguriert, dass sie ein von der gemessenen Druckdifferenz abhängiges statisches Steuersignal generiert, um die gewünschte statische Verstellung der aktiven Membran 10 zur Kompensation der durch die Druckdifferenz bedingten Auslenkung der aktiven Membran 10 zu erzeugen. Im Unterschied dazu generiert die Steuerung 33 zum Erzeugen von Druckschwingungen, die über das Verbindungsrohr 8 in den Abgasstrang 2 übertragen werden sollen, dynamische Steuersignale, mit denen die Steuerung 33 den Aktuator 11 zum Antreiben der aktiven Membran 10 ansteuert. Abhängig von dieser Ansteuerung kann nun die aktive Membran 10 die gewünschten Druckschwingungen erzeugen. Insbesondere handelt es sich dabei um Gegenschall zur Bekämpfung von im Abgas mitgeführtem Luftschall. Die statischen Steuersignale, die zur Kompensation der von der Druckdifferenz verursachten Auslenkung der aktiven Membran 10 vorgesehen sind, werden nun den dynamischen Steuersignalen überlagert, die zum Erzeugen der Druckschwingungen bzw. des Gegenschalls vorgesehen sind.

**[0053]** Figur 9 zeigt eine Ausführungsform, bei der anstelle einer Druckdifferenz, die eine Auslenkung der aktiven Membran 10 aus deren Mittellage zur Folge hat, die Membranauslenkung direkt ermittelt wird und als Eingangsgröße für das statische Steuersignal zur Kompensation herangezogen wird. So kann gemäß Figur 9 eine Einrichtung 42 vorgesehen sein, mit deren Hilfe die Membranauslenkung ermittelt werden kann. Ermittelt wird die Auslenkung der aktiven Membran 10 aus deren Mittellage, die sie dann einnimmt, wenn die Drücke im Vorvolumen 12 und im Rückvolumen 13 gleich groß sind. Im Beispiel der Figur 9 umfasst die Einrichtung 42 ein Mikrofon 43, das den von der aktiven Membran 10 abgestrahlten Luftschall erfassen und messen kann. Die Mikrofon signale werden über eine entsprechende Signalleitung 44 der Steuerung 33 zugeführt, um diese auszuwerten. Da sich die Schallabstrahlung der Membran 10 von ihrer Vorspannung bzw. von ihrer Auslenkung ändert, kann durch einen Soll-Ist-Vergleich die Membranauslenkung ermittelt werden. Alternativ kann die Einrichtung 42 gemäß Figur 10 eine Sensorik 45 aufweisen, mit deren Hilfe die Auslenkung der Membran 10 gemessen werden kann. Ein entsprechendes Signal kann dann über eine Signalleitung 46 wieder der Steuerung 33 zugeführt werden.

**[0054]** Figur 10 zeigt nun eine Ausführungsform, bei welcher eine Fördereinrichtung 47 vorgesehen ist, die fluidisch an das Rückvolumen 13 angeschlossen ist. Eine

Steuerleitung 48 verbindet die Steuerung 33 mit der Fördereinrichtung 47. Die Fördereinrichtung 47, z.B. eine Pumpe, kann als Über- bzw. Unterdruckerzeuger dienen, um je nach Bedarf das Rückvolumen 13 mit Über- bzw. mit Unterdruck beaufschlagen zu können, derart, dass die unerwünschte statische Membranauslenkung ganz oder teilweise kompensiert wird. Als Basissignal für die Betätigung der Fördereinrichtung 47 kann dabei direkt die Membranauslenkung dienen, die wieder mit Hilfe der Einrichtung 42 ermittelt werden kann. Alternativ kann auch die Druckdifferenz zwischen Vorvolumen 12 und Rückvolumen 13 zur Ansteuerung der Fördereinrichtung 47 verwendet werden, da die Druckdifferenz mit der Membranauslenkung korreliert. Zur Ermittlung der Druckdifferenz kann wieder die Sensorik 35 herangezogen werden. Im Beispiel ist die Fördereinrichtung 47 außen am Gehäuse 7 angeordnet. Es ist klar, dass die Fördereinrichtung auch im Inneren des Gehäuses 7 angeordnet werden kann. Ferner fördert die Fördereinrichtung 47 im Beispiel in die Umgebung 41 bzw. saugt aus der Umgebung 41 an, um im Rückvolumen 13 den Druck an den im Vorvolumen 12 herrschenden Druck anzugleichen.

**[0055]** Bei den in den Figuren 4 bis 10 gezeigten Ausführungsformen ist der Schalldämpfer 3 außerdem mit zumindest einer Druckausgleichsöffnung 40 ausgestattet, die im Gehäuse 7 bzw. in einer Wandung des Gehäuses 7 ausgebildet ist und die das Rückvolumen 13 fluidisch mit einer Umgebung 41 des Schalldämpfers 3 verbindet. Dabei kann die Druckausgleichsöffnung 40 durchaus so konzipiert sein, dass sie für Gas durchlässig, jedoch für Flüssigkeit undurchlässig ist. Bspw. kann die Druckausgleichsöffnung 40 hierzu mit einer gasdurchlässigen Membran verschlossen sein, die hier jedoch nicht dargestellt ist. Bei den in den Figuren 2 und 3 gezeigten Ausführungsformen kann grundsätzlich ebenfalls eine derartige Druckausgleichsöffnung 40 vorhanden sein. Bevorzugt ist jedoch eine Ausführungsform, bei welcher auf eine derartige Druckausgleichsöffnung 40 verzichtet wird. Insbesondere ist daher bei den Ausführungsformen der Figuren 2 und 3 das Rückvolumen 13 von der Umgebung 41 entkoppelt.

**[0056]** Obwohl hier nicht so dargestellt, ist klar, dass Merkmale, die nur bei einer Ausführungsform gezeigt sind, auch bei den anderen Ausführungsformen realisierbar sind, soweit dies sinnvoll ist.

## Patentansprüche

1. Aktiver Schalldämpfer für eine Abgasanlage (1) einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise eines Kraftfahrzeugs,
  - mit einem Gehäuse (7)
  - mit einem Verbindungsrohr (8) zum akustischen und fluidischen Verbinden des Gehäuses (7) mit der Abgasanlage (1)

- mit einer aktiven Membran (10), die im Gehäuse (7) ein fluidisch mit dem Verbindungsrohr (8) verbundenes Vorvolumen (12) von einem Rückvolumen (13) trennt,  
 - mit einem Aktuator (11) zur Schwingungsanregung der aktiven Membran (10), **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Kondensationsleitung (14), die das Rückvolumen (13) fluidisch mit dem Vorvolumen (12) verbindet, in der im Abgas enthaltener Dampf kondensiert und die das anfallende Kondensat zum Vorvolumen (12) leitet.
2. Schalldämpfer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensationsleitung (14) das Rückvolumen (13) zum Druckausgleich ohne akustischen Kurzschluss mit dem Vorvolumen (12) fluidisch verbindet.
3. Schalldämpfer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensationsleitung (14) im Inneren des Gehäuses (7) angeordnet ist.
4. Schalldämpfer nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein wesentlicher Abschnitt (17) der Kondensationsleitung (14) im Rückvolumen (13) angeordnet ist.
5. Schalldämpfer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensationsleitung (14) einen außerhalb des Gehäuses (7) verlaufenden Abschnitt (18) aufweist, der einen mit dem Vorvolumen (12) verbundenen Endabschnitt (19) der Kondensationsleitung (14) mit einem mit dem Rückvolumen (13) verbundenen Endabschnitt (20) der Kondensationsleitung (14) verbindet.
6. Schalldämpfer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der außerhalb des Gehäuses (7) angeordnete Abschnitt (18) der Kondensationsleitung (14) aktiv oder passiv gekühlt ist.
7. Schalldämpfer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensationsleitung (14) ein Rohr ist.
8. Schalldämpfer nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensationsleitung (14) im Einbaustand des Schalldämpfers (3) ein Gefälle in Richtung Vorvolumen (12) aufweist.
9. Schalldämpfer nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rückvolumen (13) gegenüber einer Umgebung (41) des Schalldämpfers (3) hermetisch abgedichtet ist.
10. Aktiver Schalldämpfer nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Druckausgleichskammer (26), die ein Ausgleichsvolumen (27) umschließt, wobei zumindest eine Verbindungsleitung (28) das Ausgleichsvolumen (27) fluidisch mit dem Vorvolumen (12) verbindet, wobei zumindest eine passive Membran (29) vorgesehen ist, die einerseits dem im Ausgleichsvolumen (27) herrschenden Druck und andererseits dem im Rückvolumen (13) herrschenden Druck ausgesetzt ist.
11. Schalldämpfer nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckausgleichskammer (26) ein im Rückvolumen (13) angeordnetes Kammergehäuse (30) aufweist,  
 - **dass** die passive Membran (29) zumindest einen Teil des Kammergehäuses (30) bildet.
12. Schalldämpfer nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die passive Membran (29) das gesamte Kammergehäuse (30) bildet.
13. Schalldämpfer nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kammergehäuse (30) als elastischer Ballon (30') oder als elastischer Faltenbalg (30'') ausgestaltet ist.
14. Schalldämpfer nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckausgleichskammer (26) ein außerhalb des Rückvolumens und/oder außerhalb des Gehäuses (7) angeordnetes Kammergehäuse (30) aufweist,  
 - **dass** die passive Membran (29) im Kammergehäuse (30) das Ausgleichsvolumen (27) von einem Kopplungsvolumen (31) trennt,  
 - **dass** eine Kopplungsleitung (32) das Kopplungsvolumen (31) fluidisch mit dem Rückvolumen (13) verbindet.
15. Schalldämpfer nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckausgleichskammer (26) im Gehäuse (7) ausgebildet ist,  
 - **dass** die passive Membran (29) im Gehäuse (7) das Ausgleichsvolumen (27) vom Rückvolumen (13) trennt.

men (13) trennt.

16. Schalldämpfer nach Anspruch 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Verbindungsleitung (28) im Gehäuse (7) angeordnet und sich durch das Rückvolumen (13) hindurch erstreckt. 5
17. Schalldämpfer nach einem der Ansprüche 10 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Verbindungsleitung (28) so angeordnet ist, dass sie im Ausgleichsvolumen (27) anfallendes Kondensat zum Vorvolumen (12) leitet. 10
18. Aktiver Schalldämpfer nach dem Oberbegriff des Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Sensorik (35) zum Messen einer Druckdifferenz zwischen Vorvolumen (12) und Rückvolumen (13), wobei eine zum Ansteuern des Aktuators (11) vorgesehene Steuerung (33) mit der Sensorik (35) gekoppelt ist und den Aktuator (11) abhängig von der gemessenen Druckdifferenz zum Kompensieren einer durch die Druckdifferenz verursachten Auslenkung der aktiven Membran (10) ansteuert. 15 20
19. Schalldämpfer nach Anspruch 18,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Steuerung (33) ein von der gemessenen Druckdifferenz abhängiges statisches Steuersignal dynamischen Steuersignalen überlagert, mit denen die Steuerung (33) den Aktuator (11) zum Antreiben der aktiven Membran (10) ansteuert, damit diese Gegenschall zur Bedämpfung von im Abgas mitgeführtem Luftschall erzeugt. 25 30
20. Aktiver Schalldämpfer nach dem Oberbegriff des Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (42) zum Ermitteln einer Auslenkung der aktiven Membran (10) aus deren Mittellage, wobei eine zum Ansteuern des Aktuators (11) vorgesehene Steuerung (33) mit der Einrichtung (42) gekoppelt ist und den Aktuator (11) abhängig von der ermittelten Membranauslenkung zum Kompensieren der Membranauslenkung ansteuert. 35 40 45
21. Schalldämpfer nach Anspruch 20,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Einrichtung (42) eine Sensorik zum Messen der Membranauslenkung aufweist. 50
22. Schalldämpfer nach Anspruch 20,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Einrichtung (42) die Stromaufnahme des Aktuators (11) bei dessen Ansteuerung auswertet und in Abhängigkeit davon die Membranauslenkung ermittelt. 55
23. Schalldämpfer nach Anspruch 20,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Einrichtung (42) ein Mikrofonsignal eines den von der aktiven Membran abgestrahlten Schall erfassenden Mikrofons auswertet und in Abhängigkeit davon die Membranauslenkung ermittelt.

24. Aktiver Schalldämpfer nach dem Oberbegriff des Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine mit dem Rückvolumen (13) fluidisch verbundene Fördereinrichtung (47), wobei eine mit der Fördereinrichtung (47) gekoppelte Steuerung (33) die Fördereinrichtung (47) abhängig von einer Druckdifferenz zwischen Vorvolumen (12) und Rückvolumen (13) oder abhängig von einer Auslenkung der aktiven Membran (19) aus deren Mittellage zum Reduzieren der Druckdifferenz und der Membranauslenkung zum Ansaugen aus dem Rückvolumen (13) oder zum Fördern in das Rückvolumen (13) ansteuert.
25. Schalldämpfer nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und 10 bis 24, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Druckausgleichsöffnung (40), die das Rückvolumen (13) fluidisch mit einer Umgebung (41) des Gehäuses (7) des Schalldämpfers (3) verbindet.

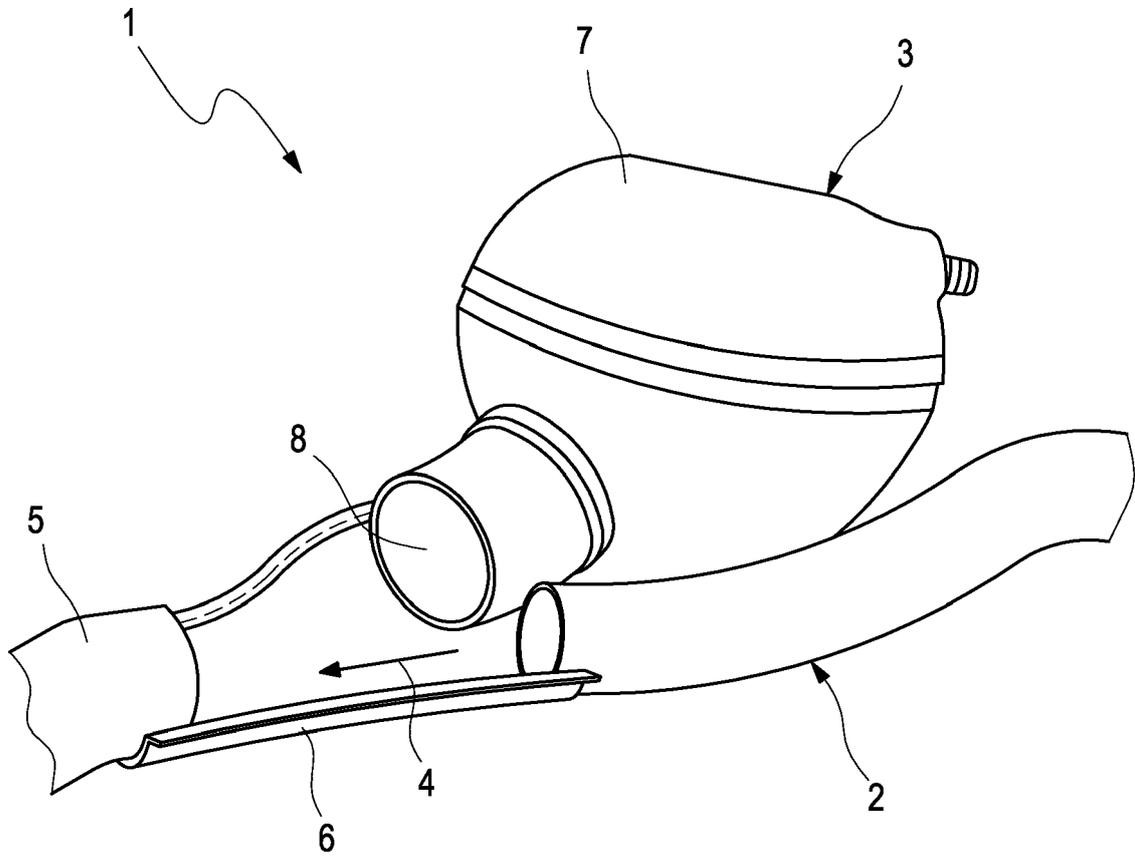


Fig. 1

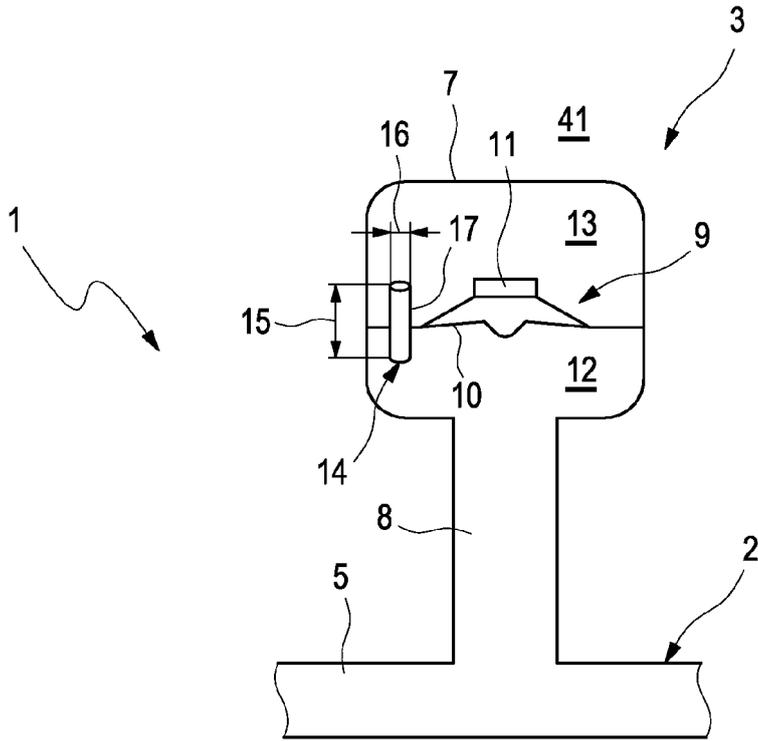


Fig. 2

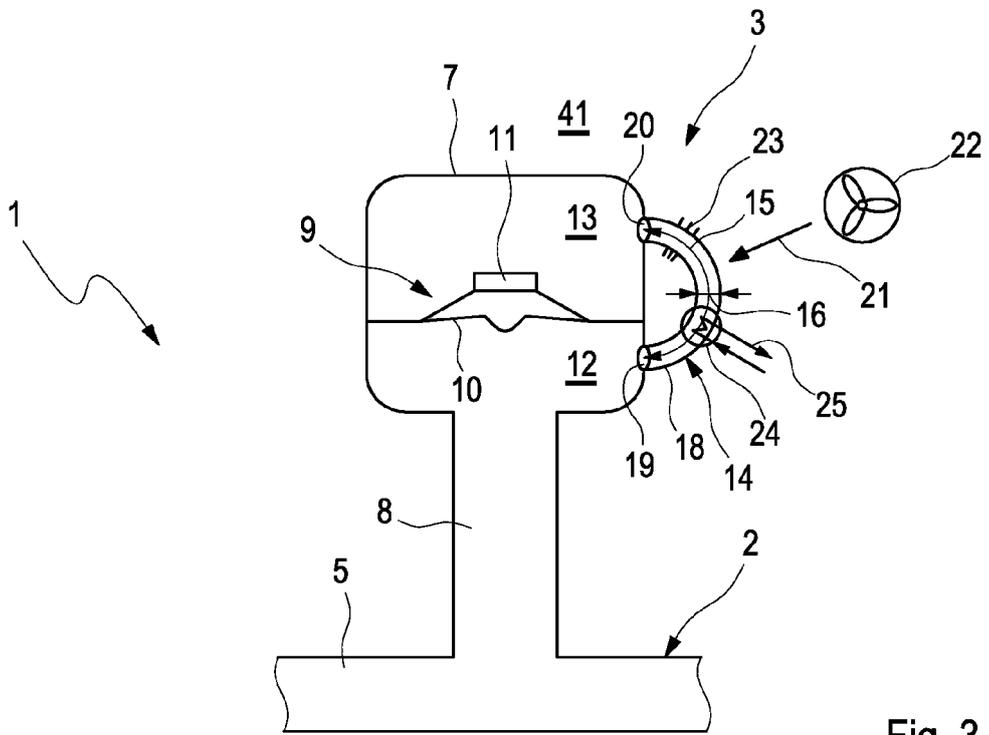


Fig. 3

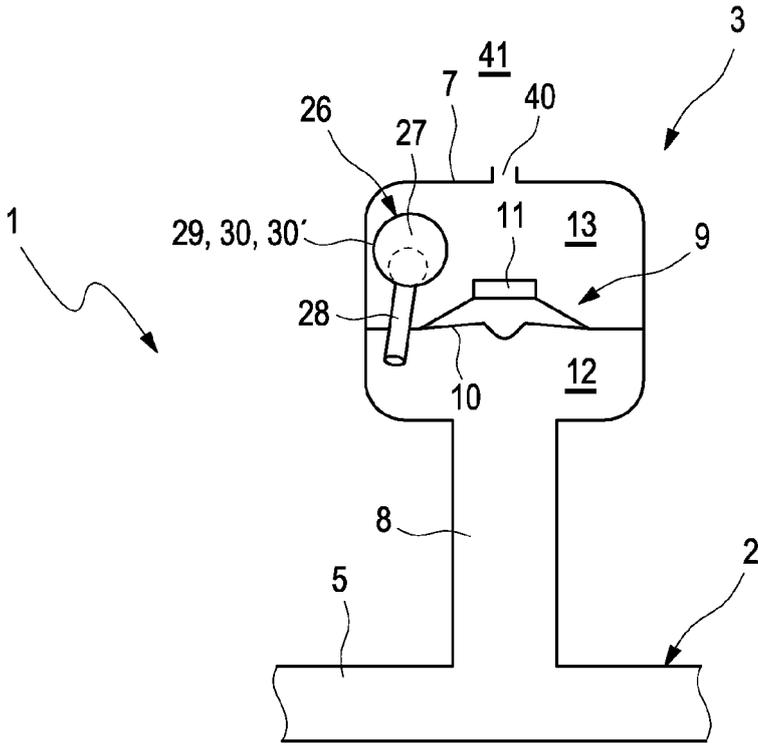


Fig. 4

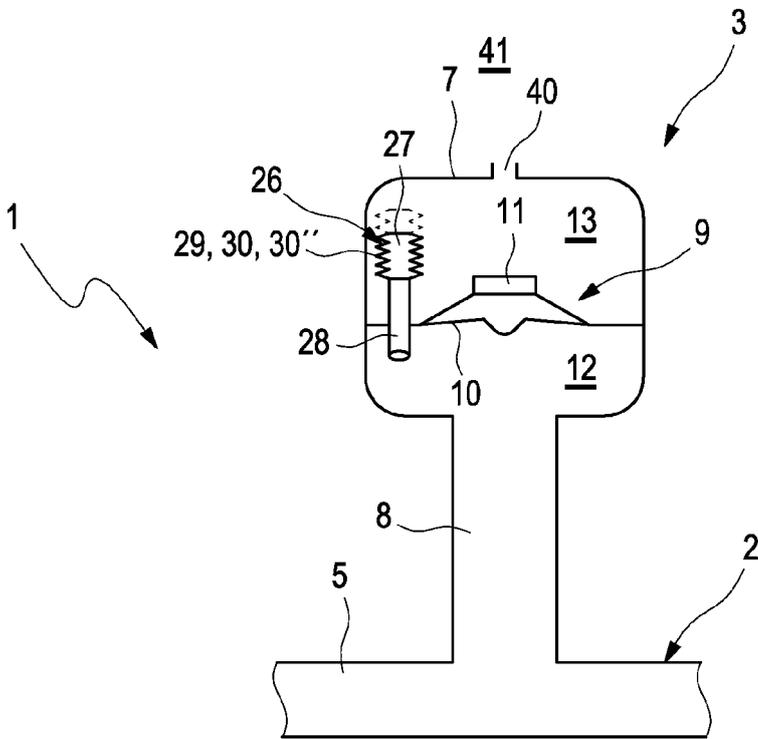


Fig. 5

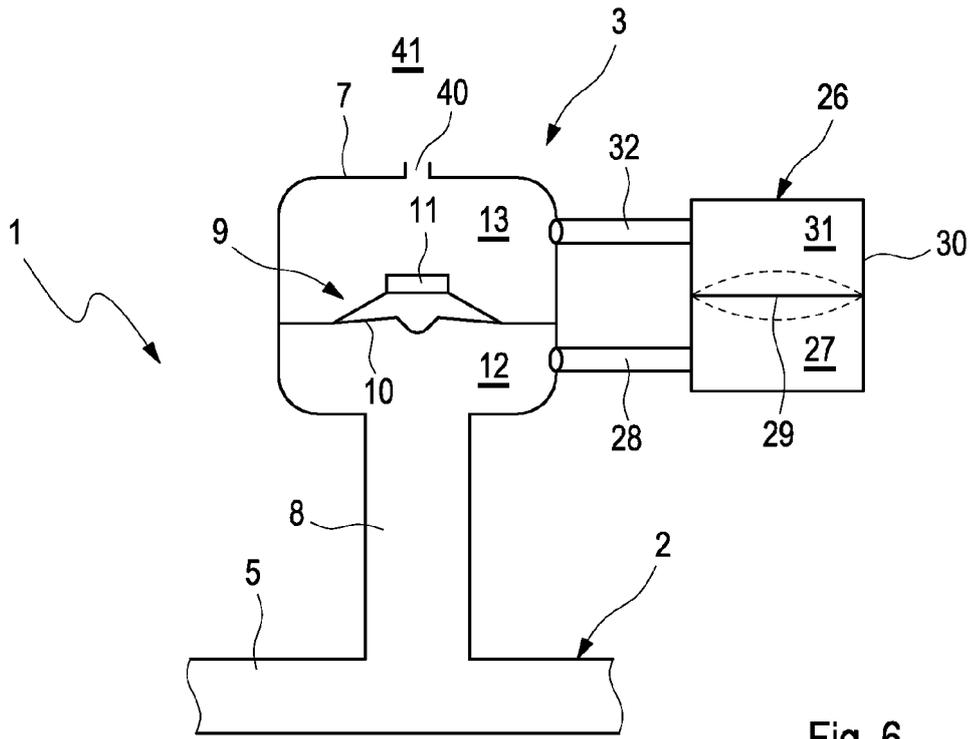


Fig. 6

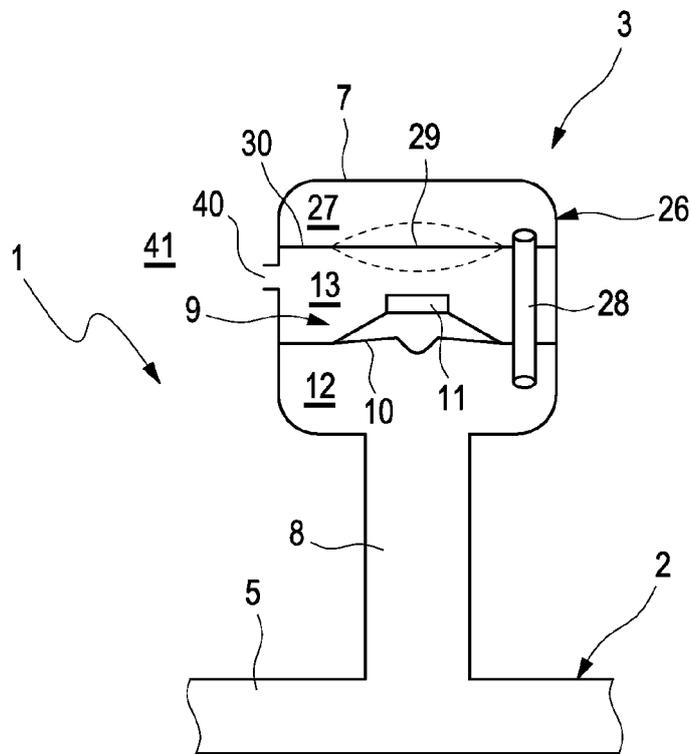


Fig. 7

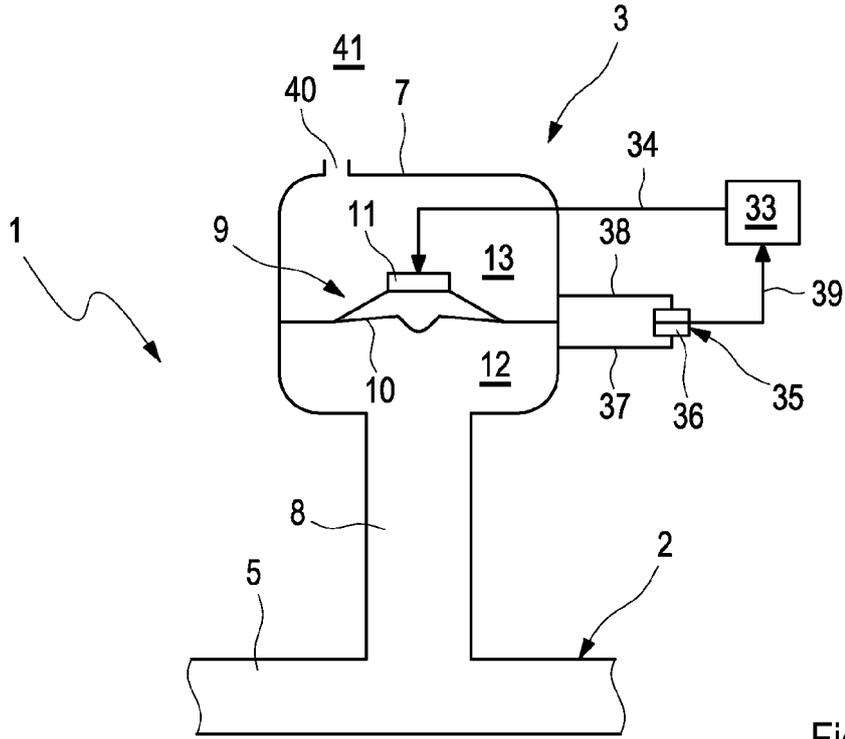


Fig. 8

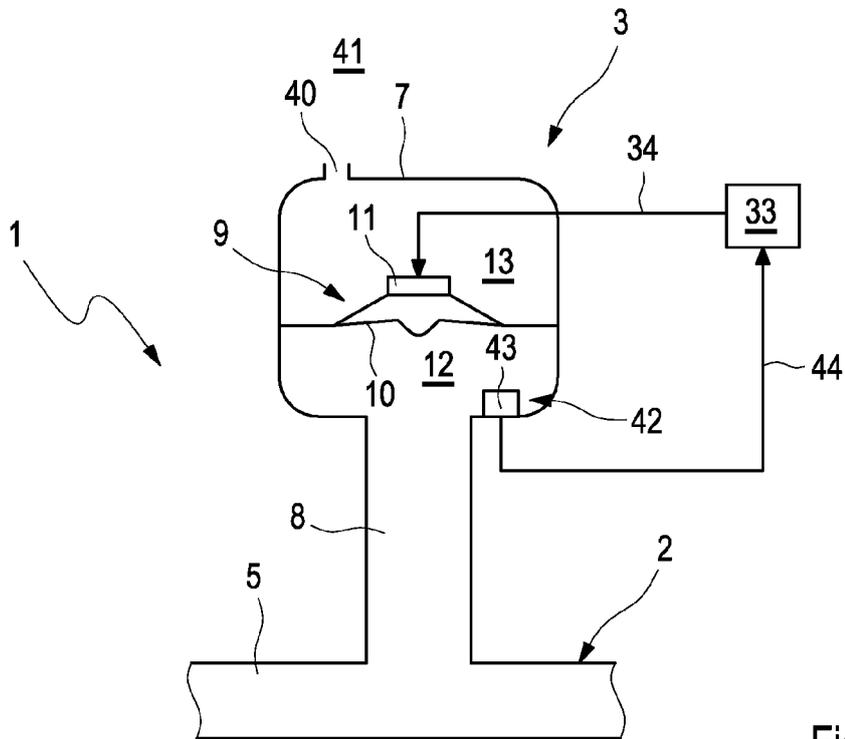


Fig. 9

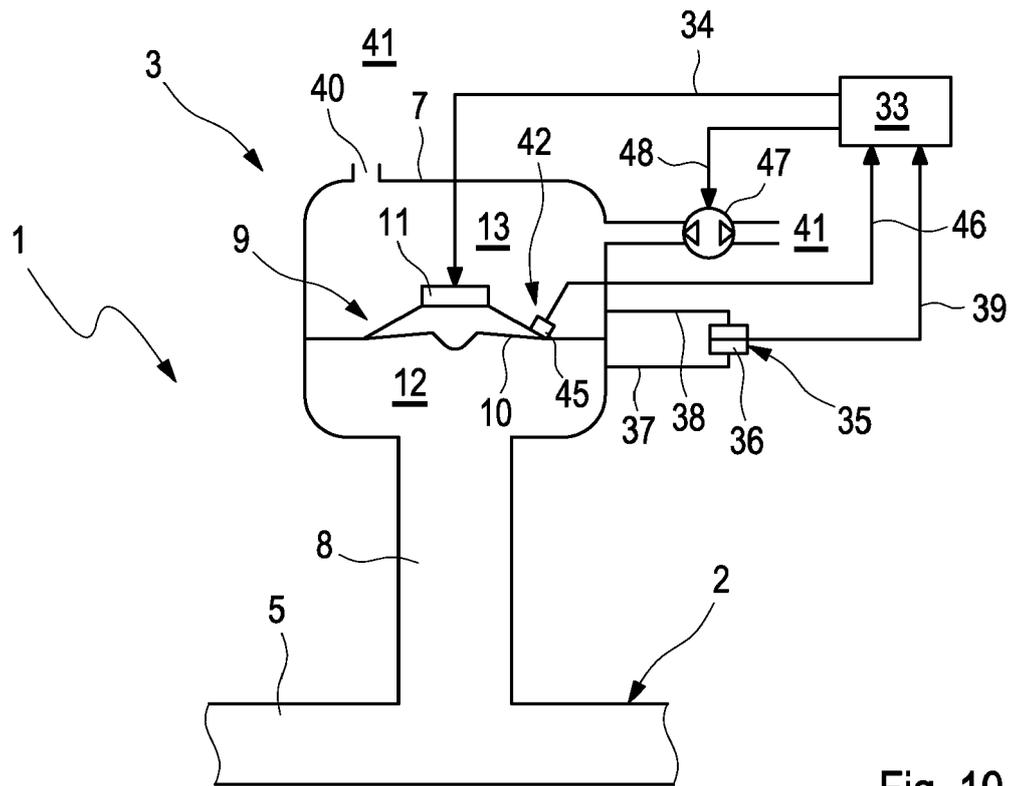


Fig. 10



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 18 4776

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 5 229 556 A (GEDDES EARL R [US]) 20. Juli 1993 (1993-07-20)	1-4,7-9	INV. F01N1/06
A	* Spalte 4, Zeile 25 - Zeile 53; Abbildungen 1,2 *	18	
X	WO 92/19080 A1 (NOISE CANCELLATION TECH [US]) 29. Oktober 1992 (1992-10-29) * Seite 6, Zeile 22 - Zeile 34; Abbildung 9 *	1-4,7-9, 25	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
			F01N
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		31. Januar 2013	Zebst, Marc
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 18 4776

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

31-01-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5229556 A	20-07-1993	DE 69310174 D1	28-05-1997
		DE 69310174 T2	31-07-1997
		EP 0647343 A1	12-04-1995
		JP H08503787 A	23-04-1996
		US 5229556 A	20-07-1993
		WO 9325999 A1	23-12-1993
		-----	
WO 9219080 A1	29-10-1992	CA 2108696 A1	20-10-1992
		DE 69129664 D1	30-07-1998
		DE 69129664 T2	03-12-1998
		DK 0580579 T3	06-04-1999
		EP 0580579 A1	02-02-1994
		ES 2118093 T3	16-09-1998
		HK 1011163 A1	02-07-1999
		JP H06508445 A	22-09-1994
		WO 9219080 A1	29-10-1992
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102009049280 A1 [0002] [0008] [0012]