



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 127 929.4**

(22) Anmeldetag: **21.10.2022**

(43) Offenlegungstag: **02.05.2024**

(51) Int Cl.: **G01F 23/296 (2022.01)**

G01H 11/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
VEGA Grieshaber KG, 77709 Wolfach, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Bauer Vorberg Kayser
Partnerschaft mbB, 50968 Köln, DE**

(72) Erfinder:
**Allgaier, Volker, 77716 Haslach, DE; Kaspar,
Stefan, 77716 Hofstetten, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2016 112 309 A1

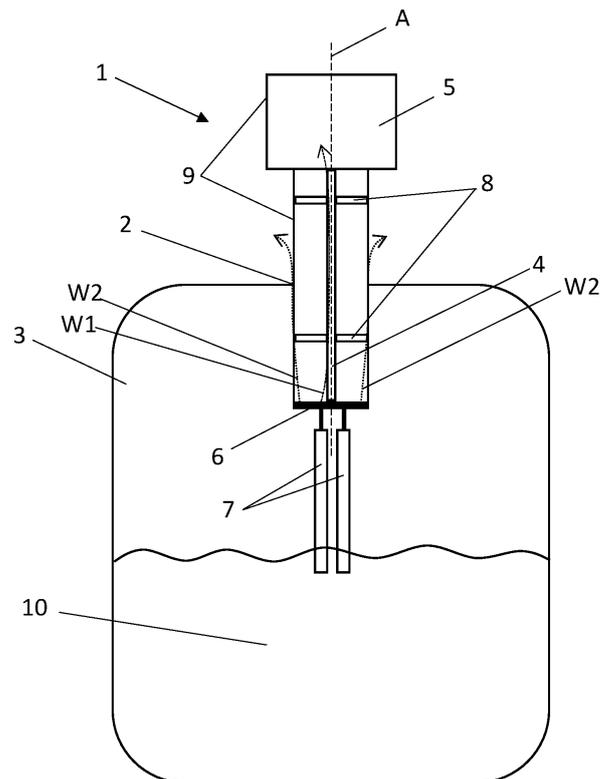
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vibrationssensor mit Distanzstück zur thermischen Entkoppelung des Antriebs**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Vibrationssensor 1 zur Erfassung eines Füllstands oder Grenzstands in einem Inneren eines Behältnisses 3, mit einem Gehäuse 9, einer zu einer Schwingung anregbaren Membran 6 und einem Antrieb 5 zum Versetzen der Membran 6 in Schwingung und/oder zum Abgreifen einer Schwingung der Membran 6, wobei der Antrieb 5 mit der Membran 6 über eine mechanische Kopplung verbunden ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die mechanische Kopplung ein Distanzstück 4 umfasst, so dass der Antrieb 5 zur thermischen Entkopplung beabstandet zur Membran 6 angeordnet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Vibrationssensor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Konkret betrifft die Erfindung einen Vibrationssensor zur Erfassung eines Füllstands oder Grenzstands in einem Behältnis, mit einer zu einer Schwingung anregbaren Membran und einem Antrieb zum Versetzen der Membran in Schwingung und/oder zum Abgreifen einer Schwingung der Membran, wobei der Antrieb mit der Membran über eine mechanische Kopplung verbunden ist. Dabei ist der Antrieb von der Membran thermisch entkoppelt.

[0003] Vibrationssensoren zur Erfassung von Füllständen oder Grenzständen sind aus dem Stand der Technik bekannt. Von solchen Vibrationssensoren können Füllstände oder Grenzstände von Flüssigkeiten oder Schüttgütern in Behältnissen erfasst werden. Dazu umfassen die Vibrationssensoren in der Regel einen Antrieb, der mit einer mechanischen Kopplung, insbesondere einer Membran derart mechanisch gekoppelt ist, dass Schwingungen vom Antrieb auf die Membran und umgekehrt übertragen werden können. An der Membran sind mechanische Schwinger ähnlich einer Stimmgabel angebracht, die durch den Antrieb zum Schwingen angeregt werden. Tauchen die mechanischen Schwinger in ein Füllgut oder eine Flüssigkeit ein, verändert sich ihr Schwingverhalten, was wiederum Auswirkungen auf den Betrieb des Antriebs hat. Das geänderte Schwingverhalten der mechanischen Schwinger kann durch den Antrieb detektiert werden und daraus Rückschlüsse gezogen werden, wie hoch der Füllstand im Behältnis ist oder ob ein Grenzstand über- oder unterschritten ist.

[0004] Als Antrieb kommen beispielsweise piezoelektrische und/oder induktive Antriebe zum Einsatz. Bei piezoelektrischen Antrieben werden meist mehrere Piezoelemente übereinandergestapelt, um den Arbeitsweg des Antriebs zu erhöhen. Diese Piezoelemente können dann durch Anlegen einer Wechselspannung zu einer oszillierenden Längenänderung angeregt werden, die über die Membran zu den mechanischen Schwingern weitergeleitet wird und so zu einer oszillierenden Bewegung der mechanischen Schwinger führt. Andersherum können auch Schwingungen von den mechanischen Schwingern über die Membran auf die Piezoelemente übertragen werden, die dann zu einer elektrischen Spannung an den Piezoelementen führen und entsprechend erfasst werden können.

[0005] Induktive Antriebe umfassen einen Magneten und eine Spule. Wird an der Spule eine Wechselspannung angelegt, wird der Magnet zu einer oszillierenden Bewegung angeregt. Der Magnet ist mit

der Membran mechanisch gekoppelt, so dass durch die Schwingungen des Magneten die Membran zum Schwingen angeregt wird. Umgekehrt führt eine durch die Membran auf den Magneten übertragene Schwingung zu einer elektrischen Spannung in der Spule, die wiederum detektiert werden kann.

[0006] Es ist ebenfalls möglich, dass die Spule mit der Membran mechanisch gekoppelt ist, und der Magnet ortsfest, beispielsweise an einem Gehäuse des Vibrationssensors, angeordnet ist. In dem Fall wird die Spule selbst zu der oszillierenden Bewegung in Wechselwirkung mit dem Magneten angeregt, so dass die Membran zum Schwingen angeregt wird.

[0007] Gemeinsam haben alle diese Antriebsarten, dass sie auf Temperaturänderungen durch Änderungen des Schwingverhaltens reagieren und oberhalb von gewissen Höchsttemperaturen bzw. unterhalb von gewissen Tiefsttemperaturen nicht mehr einsetzbar sind. Beispielsweise verlieren Magnete oberhalb der Curie-Temperatur vollständig ihre magnetischen Eigenschaften und der Antrieb könnte nicht mehr Schwingen. Die Curie-Temperatur liegt je nach Zusammensetzung des Magneten bei +100°C bis +800°C, so dass der Einsatzbereich der Antriebe häufig schon auf +80°C begrenzt ist.

[0008] Niedrige Temperaturen von unter -100°C bis -200°C können negative Folgen für die eingesetzten Materialien der Antriebe haben. Die Materialien verspröden und haben dadurch nicht mehr die geforderten mechanischen Festigkeiten, oder Einrichtungen zur Aufhängung der schwingenden Bauteile verlieren ihre Elastizität, so dass die schwingenden Bauteile an ihrer Bewegung gehindert werden.

[0009] Damit Vibrationssensoren aber auch zur Füll- oder Grenzstandüberwachung von sehr kalten (unter -100°C) oder sehr heißen (über +100°C) Füllgütern wie zum Beispiel flüssigem Wasserstoff mit -252°C oder flüssigem Stickstoff mit -196°C genutzt werden können, ist es die Aufgabe der Erfindung, einen Vibrationssensor bereit zu stellen, der den Temperatureinsatzbereich von Vibrationssensoren verbessert.

[0010] Diese Aufgabe wird durch einen Vibrationssensor mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst.

[0011] Weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung offenbaren die jeweiligen Unteransprüche.

[0012] Es ist darauf hinzuweisen, dass die in den Ansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale in beliebiger, technisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können (auch über Kategoriegrenzen, beispielsweise zwischen Verfahren und Vorrichtung, hinweg) und weitere Ausgestaltungen der Erfindung

aufzeigen. Die Beschreibung charakterisiert und spezifiziert die Erfindung insbesondere im Zusammenhang mit den Figuren zusätzlich.

[0013] Es sei ferner darauf hingewiesen, dass eine hierin verwendete, zwischen zwei Merkmalen stehende und diese miteinander verknüpfende Konjunktion „und/oder“ stets so auszulegen ist, dass in einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Gegenstands lediglich das erste Merkmal vorhanden sein kann, in einer zweiten Ausgestaltung lediglich das zweite Merkmal vorhanden sein kann und in einer dritten Ausgestaltung sowohl das erste als auch das zweite Merkmal vorhanden sein können.

[0014] Ein erfindungsgemäßer Vibrationssensor zur Erfassung eines Füllstands oder Grenzstands in einem Inneren eines Behältnisses, insbesondere eines industriellen Behältnisses, beispielsweise eines Containers, Silos oder IBC (= Intermediate Bulk Container) mit einem Gehäuse, einer zu einer Schwingung anregbaren Membran und einem Antrieb zum Versetzen der Membran in Schwingung und/oder zum Abgreifen einer Schwingung der Membran, wobei der Antrieb mit der Membran über eine mechanische Kopplung verbunden ist, zeichnet sich dadurch aus, dass die mechanische Kopplung ein Distanzstück umfasst, so dass der Antrieb zur thermischen Entkopplung beabstandet zur Membran angeordnet ist.

[0015] Der Vibrationssensor weist ein Gehäuse auf, das vorderseitig, d. h. zu einem zu überwachendem Füllgut hin mit einer Membran abgeschlossen ist. An die Membran ist ein mechanischer Schwinger gekoppelt, so dass Schwingungen von der Membran auf den mechanischen Schwinger übertragen werden können und umgekehrt.

[0016] Ein typischer mechanischer Schwinger kann zum Beispiel nach Art einer Schwinggabel aufgebaut sein. Die beiden Enden schwingen dabei in Abhängigkeit des sie umgebenden Mediums mit einer charakteristischen Frequenz.

[0017] Der Vibrationssensor ist so an dem Behältnis montiert, dass der Vibrationssensor in das Innere des industriellen Behältnisses hineinragt und die mechanischen Schwinger je nach Füllstand im Behältnis in Kontakt mit dem darin befindlichen Füllgut kommen kann. So kann von dem Vibrationssensor von einer Veränderung des Schwingverhaltes der mechanischen Schwinger auf eine Veränderung des die mechanischen Schwinger umgebenden Füllgutes im Behältnis geschlossen werden.

[0018] Damit die mechanischen Schwinger schwingen, werden diese unter Zwischenschaltung der Membran durch den Antrieb angetrieben. Dazu führt der Antrieb entlang einer Anregungsrichtung

eine oszillierende translatorische Bewegung aus, die auf die Membran übertragen wird. Der Antrieb ist zur Übertragung dieser oszillierenden Bewegung mit der Membran über die mechanische Kopplung verbunden. Durch die mechanische Kopplung ist die Membran mit dem Antrieb wenigstens in Anregungsrichtung des Antriebs starr verbunden.

[0019] Je nach Anwendungsfall können im Behältnis hohe Temperaturen von beispielsweise über +100°C oder niedrige Temperaturen von unter -100°C herrschen. Wie eingangs beschrieben liegen solche hohen bzw. niedrigen Temperaturen außerhalb des Temperatur-Arbeitsbereichs des Antriebs. Außerhalb dieses Temperatur-Arbeitsbereichs kann der Antrieb nicht richtig arbeiten, so dass es gilt den Antrieb innerhalb des Temperatur-Arbeitsbereichs zu halten. Die mechanische Kopplung ist daher derart eingerichtet, dass der Antrieb zwar mit der Membran mechanisch verbunden ist, jedoch von der Membran thermisch entkoppelt ist.

[0020] Eine thermische Entkopplung des Antriebs von der Membran bedeutet im Sinne der vorliegenden Anmeldung, dass die Temperatur der Membran außerhalb eines Temperatur-Arbeitsbereichs des Antriebs liegen kann, während über die mechanische Kopplung nur so wenig Wärme übertragen wird, dass der Antrieb innerhalb seines Temperatur-Arbeitsbereichs bleibt. Angenommen im Behältnis befindet sich thermisch verflüssigter Wasserstoff mit -252°C, so dass die Membran in jedem Falle eine Temperatur von unter -200°C aufweist, so würde die Temperatur des Antriebs aufgrund der gehemmten Wärmeübertragung der mechanischen Kopplung nicht unter -100°C fallen.

[0021] Erreicht werden kann eine thermische Entkopplung zwischen Membran und Antrieb, indem die mechanische Kopplung Bauteile umfasst, die beispielsweise aus Materialien mit niedrigen Wärmeleitfähigkeiten hergestellt sind, oder die durch bestimmte Geometrien wie zum Beispiel langen Übertragungswegen den Wärmetransport zwischen Antrieb und Membran hemmen.

[0022] Dazu umfasst die mechanische Kopplung ein Distanzstück, so dass der Antrieb zur thermischen Entkopplung beabstandet zur Membran angeordnet ist. Das Distanzstück überträgt die Schwingungen zwischen Membran und Antrieb und bildet so eine direkte Wärme- bzw. Kältebrücke. Damit die Wärmeleitung zwischen Antrieb und Membran gehemmt wird und die thermische Entkopplung erreicht wird, ist es von Vorteil, wenn der Antrieb und die Membran beabstandet zueinander im Gehäuse des Vibrationssensors angeordnet sind. Dieser Abstand wird durch das Distanzstück überbrückt.

[0023] Die vorliegende Anordnung eignet sich daher besonders gut für Grenzstandmessungen in kryonisch verflüssigten Gasen, insbesondere Wasserstoff, Stickstoff oder Helium.

[0024] Mithilfe des Distanzstücks ist es beispielsweise möglich, den Antrieb weit außerhalb des Behältnisses anzuordnen und die Membran mit den mechanischen Schwingern innerhalb des Gehäuses, während die mechanische Kopplung durch das Distanzstück auch über größere Abstände gewährleistet ist. Weit außerhalb des Behältnisses meint im Sinne der Anmeldung, dass eine dem Prozess zugewandte Seite des Antriebs wenigstens 5 cm, vorzugsweise wenigstens 10 cm, weiter vorzugsweise wenigstens 20 cm Abstand zu einer dem Prozess abgewandten Außenseite des Behältnisses aufweist.

[0025] Der Abstand zwischen Membran und Antrieb kann vorzugsweise wenigstens 3 cm, 5 cm, 10 cm oder 15 cm betragen, oder beispielsweise ein Vielfaches der Antriebsabmessungen betragen. Dieser Abstand wird von einer dem Prozess abgewandten Seite der Membran hin zu einer dem Prozess zugewandten Seite des Antriebs gemessen.

[0026] Das Material, aus dem das Distanzstück hergestellt ist, ist vorteilhafter Weise aus einem Material mit niedriger Wärmeleitfähigkeit. Hierzu bietet sich beispielsweise eine Keramik an. Auch Kunststoffe sind hinsichtlich Ihrer Wärmeleitfähigkeit geeignet, allerdings ist hier dann der Temperaturbereich oft eingeschränkt gegenüber Keramik und Metall.

[0027] Aufgrund der hohen bzw. niedrigen Temperaturen sind nicht zu vernachlässigende Wärmeausdehnungen zu erwarten. Da der Antrieb gegen die Membran vorgespannt ist, sollte im Falle einer Änderung der Länge des Distanzstücks aufgrund von einer Temperaturänderung möglichst die Vorspannung erhalten bleiben. Dies kann erreicht werden, indem das Gehäuse um das Distanzstück herum und das Distanzstück eine ähnliche oder sogar gleiche Wärmeausdehnung aufweisen, beispielsweise durch die Verwendung von Materialien mit einem ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten, insbesondere kann für das Gehäuse und das Distanzstück das gleiche Material verwendet werden. Aufgrund chemischer Beständigkeit und der mechanischen Eigenschaften ist Metall zu bevorzugen.

[0028] Neben der thermischen Entkopplung durch die mechanische Kopplung kann es auch von Vorteil sein, wenn das Gehäuse des Vibrationssensors derart gestaltet ist, dass möglichst wenig Wärme durch die Wandung des Gehäuses und durch das Innere des Gehäuses übertragen wird. Das hat zur Folge, dass zum Antrieb hin oder vom Antrieb weg möglichst wenig Wärme geleitet wird. Beispielsweise können Hohlräume im Gehäuse, insbesondere Hohl-

räume um die mechanische Kopplung herum, evakuiert werden. Dies hemmt die Wärmeleitung und kann gleichzeitig die Schwingungsübertragung der mechanischen Kopplung begünstigen. Zur Herstellung des Gehäuses kann ein Material mit niedriger Wärmeleitfähigkeit verwendet werden.

[0029] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Varianten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Die in den Unteransprüchen einzeln aufgeführten Merkmale können in beliebiger, technisch sinnvoller Weise sowohl miteinander als auch mit den in der nachfolgenden Beschreibung näher erläuterten Merkmale kombiniert werden und andere vorteilhafte Ausführungsvarianten der Erfindung darstellen.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors ist das Distanzstück derart eingerichtet, dass ein erster Wärmeleitungs Pfad von der Membran über das Distanzstück zum Antrieb einen höheren thermischen Widerstand aufweist, als ein zweiter Wärmeleitungs Pfad von der Membran über das Gehäuse zu einer Umgebung des Gehäuses. Die Umgebung wird dabei durch die Umgebungsluft um das Gehäuse des Vibrationssensors herum gebildet.

[0031] Vorzugsweise wird zur Bestimmung des thermischen Widerstands des zweiten Wärmeleitungs Pfades nur der Teil des Gehäuses berücksichtigt, der außerhalb des industriellen Behältnisses angeordnet ist. Weiter vorzugsweise wird nur ein Wärmeabfuhrabschnitt des außerhalb des industriellen Behältnisses liegenden Gehäuses berücksichtigt. Dieser Wärmeabfuhrabschnitt des Gehäuses erstreckt sich über das Gehäuse ausgehend von dem industriellen Behältnis entlang der Anregungsrichtung des Antriebs und wird durch eine senkrecht zu der Anregungsrichtung liegende Ebene begrenzt, die zwischen dem Antrieb und der Membran und angrenzend zum Antrieb gelegen ist.

[0032] Der thermische Widerstand eines Wärmeleitungs Pfades hängt von den Wärmeleitfähigkeiten der Materialien entlang des Wärmeleitungs Pfades ab, sowie von deren Querschnittsfläche und der Länge des Wärmeleitungs Pfades. Je länger der Wärmeleitungs Pfad, und je kleiner die Wärmeleitfähigkeiten sowie die Querschnittsflächen sind, desto größer ist der thermische Widerstand. Wird die Wärme nicht nur über die Feststoffe transportiert, sondern beispielsweise auch an angrenzende Gase oder Flüssigkeiten abgegeben, spielt ebenfalls die Größe der Oberfläche, über die die Wärme an das Gas bzw. die Flüssigkeit abgegeben wird, eine Rolle für den thermischen Widerstand des Wärmeleitungs Pfades. Je größer die Oberfläche zum Gas oder zur Flüssigkeit ist, desto kleiner ist der thermische Widerstand.

[0033] Der erste Wärmeleitungs-pfad verläuft dabei ausgehend von der Membran über das Distanzstück zum Antrieb, wobei zwischen Membran und Distanzstück und zwischen Antrieb und Distanzstück auch noch weitere Bauteile, wie zum Beispiel Druckstücke, Halter und/oder Kopplungen, angeordnet sein können, so dass der erste Wärmeleitungs-pfad auch durch diese Bauteile verläuft.

[0034] Der zweite Wärmeleitungs-pfad verläuft dabei ausgehend von der Membran über das Gehäuse zur Umgebung des Gehäuses, wobei auch dort zwischen Membran und Gehäuse weitere Bauteile, wie zum Beispiel Halter, weitere Gehäuseteile und/oder Kopplungen, angeordnet sein können, so dass der zweite Wärmeleitungs-pfad auch durch diese Bauteile verläuft. Da der zweite Wärmeleitungs-pfad einen möglichst geringen thermischen Widerstand aufweisen soll, kann es sich anbieten die Oberfläche des Gehäuses zum Beispiel durch Kühlrippen oder zusätzliche Wärmeleitstrukturen zu erhöhen. Die Wärmeleitstrukturen können innen und/oder außen am Gehäuse angebracht sein, um den thermischen Widerstand von Gehäuse zur Umgebung zu verringern, oder ausgehend von der Membran parallel zum Gehäuse verlaufen.

[0035] Der thermische Widerstand des ersten Wärmeleitungs-pfads kann über den Bauteilquerschnitt und über die Materialauswahl des Distanzstücks beeinflusst werden. Dabei weist das Distanzstück einen möglichst kleinen Bauteilquerschnitt auf und ist aus Materialien mit möglichst niedrigen Wärmeleitfähigkeiten hergestellt.

[0036] Der thermische Widerstand des ersten Wärmeleitungs-pfads ist insbesondere um 20% größer, vorzugsweise um 50% größer als der thermische Widerstand des zweiten Wärmeleitungs-pfads.

[0037] In einer bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors ist das Gehäuse dazu eingerichtet an einer Öffnung des Behältnisses derart befestigt zu werden, dass der Antrieb außerhalb und die Membran innerhalb des Behältnisses angeordnet ist. Es ist nicht zwingend notwendig, dass der gesamte Vibrationssensor zur Erfassung des Füll- oder Grenzstandes innerhalb des Behältnisses angeordnet ist. Wichtig ist, dass die mechanischen Schwinger, welche in der Regel direkt mit der Membran verbunden sind, in das Füllgut eintauchen können. Daher ist wenigstens die Membran zusammen mit den mechanischen Schwingern innerhalb des Behältnisses angeordnet. Sofern die Membran in einer Öffnung des Behältnisses und fluchtend mit einer Wandung des Behältnisses angeordnet ist, gilt die Membran im Sinne der Anmeldung immer noch als innerhalb des Behältnisses angeordnet.

[0038] Innerhalb des Behältnisses herrschen die angesprochenen niedrigen bzw. hohen Temperaturen, vor denen es den Antrieb zu entkoppeln gilt. Außerhalb des Behältnisses herrschen dagegen meist moderate Temperaturen zum Beispiel im Bereich von -20°C bis $+60^{\circ}\text{C}$. Daher bietet es sich an, den Bereich des Vibrationssensors mit dem Antrieb außerhalb des Behältnisses anzuordnen, so dass von außen keine hohen oder niedrigen Temperaturen auf den Antrieb einwirken.

[0039] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors weist das Distanzstück eine im Wesentlichen zylindrische Form mit einer Länge und einem Durchmesser auf, wobei die Länge ein Vielfaches des Durchmessers beträgt. Je größer der Querschnitt des Distanzstücks ist, und je kürzer dessen Länge, desto mehr bzw. schneller kann die Wärme vom einen Ende des Distanzstücks zum anderen Ende übertragen werden. Daher sollte der Querschnitt und damit der Durchmesser möglichst klein im Verhältnis zur Länge des Distanzstücks sein, damit möglichst wenig und möglichst langsam die Wärme vom einen Ende des Distanzstücks zum anderen Ende und damit zwischen Membran und Antrieb geleitet wird.

[0040] Die Form des Querschnitts ist dabei kaum entscheidend, so dass sich neben einem kreisförmigen Querschnitt auch ein ovaler, rechteckiger, quadratischer oder vieleckiger Querschnitt anbietet. Wichtig ist, dass die Querschnittsfläche klein gegenüber der Länge des Distanzstücks ist. Es kann auch vorgesehen sein, dass das Distanzstück an einer Stelle entlang seiner Länge, in Richtung der Antriebsrichtung gesehen, einen sehr geringen Querschnitt aufweist, um dort den Wärmetransport möglichst stark zu hemmen, während die restlichen Querschnittsflächen des Distanzstücks größer ausfallen können.

[0041] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors ist das Distanzstück als Hohlkörper ausgebildet. Wie zuvor bereits erläutert führt eine niedrige Querschnittsfläche des Distanzstücks zu einer niedrigen Wärmeleitung. Daher kann es von Vorteil sein, wenn die Querschnittsfläche durch eine Aushöhlung im Distanzstück verkleinert wird. Dazu kann für das Distanzstück ein Rundrohr oder Rechteckrohr verwendet werden, wobei die Enden des Distanzstücks verschlossen oder offen ausgeführt sein können. Da neben der Wärmeleitfähigkeit eines hohlen Distanzstücks auch die Masse verringert ist, verbessert sich gleichzeitig auch das Schwingverhalten des Distanzstücks, so dass Schwingungen zwischen Membran und Antrieb präziser aufgrund der verringerten Trägheiten übertragen werden können. Sofern die Enden des Distanzstücks verschlossen sind, kann das Distanzstück mit einem Medium mit sehr niedriger Wärmeleitfähigkeit,

wie zum Beispiel einem Gas, insbesondere einem chemisch inertem Gas oder einem Schutzgas oder mit Natrium, gefüllt sein, oder auch evakuiert sein.

[0042] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors ist das Distanzstück in dem Gehäuse des Vibrationssensors schwingend gelagert. Je nach Länge des Distanzstücks kann es von Vorteil sein, wenn das Distanzstück nicht nur durch die Kopplung mit der Membran und dem Antrieb gelagert ist, sondern zusätzlich auch im Gehäuse gelagert ist. Da das Distanzstück den Schwingungen der Membran und dem Antrieb folgen können muss, sollte die Lagerung möglichst das Schwingen des Distanzstücks in Antriebsrichtung des Antriebs ermöglichen. Eine Bewegung des Distanzstücks quer zur Antriebsrichtung, beispielsweise aufgrund einer Durchbiegung des länglichen Distanzstücks, kann durch die Lagerung verhindert oder zumindest eingeschränkt werden.

[0043] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors ist das Distanzstück mithilfe von wenigstens einem Dämpfungselement im Gehäuse schwingend gelagert, wobei das Dämpfungselement vorzugsweise Schwingungen in einer Antriebsrichtung des Antriebs wesentlich weniger dämpft als orthogonal und/oder schräg zur Antriebsrichtung. Für die Erfassung von Füll- oder Grenzständen werden lediglich Schwingungen des Distanzstücks in Richtung der Antriebsrichtung und damit senkrecht zur Membran genutzt. Diese Schwingungen entlang der Antriebsrichtung werden auch Nutzmoden genannt. Alle anderen Schwingungen des Distanzstücks, die nicht in Richtung der Antriebsrichtung bzw. senkrecht zu der Membran stattfinden, können die Erfassung des Füll- oder Grenzstands durch den Vibrationssensor stören. Diese Schwingungen werden als Störmoden bezeichnet. Das Dämpfungselement dämpft also die Nutzmoden deutlich weniger stark als die Störmoden.

[0044] Werden die Amplituden der Nutz- und Störmoden zum Vergleich herangezogen, so dämpft das Dämpfungselement die Amplituden der Nutzmoden vorzugsweise um einen Faktor 3, 5, 10 oder 20 weniger als die Amplituden der Störmoden. In einer bevorzugten Ausführungsform reduziert das Dämpfungselement die Amplituden der Nutzmoden weniger als 5%, vorzugsweise weniger als 3%, während die Amplituden der Störmoden wenigstens um 90%, vorzugsweise wenigstens um 95% reduziert werden.

[0045] Die Dämpfung kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass das Dämpfungselement als Dämpfungsfeder ausgebildet ist. Eine besonders günstige Ausgestaltung der Dämpfungsfeder ist eine Membranfeder, da diese Bewegungen senkrecht zur Membranebene sehr gut zulässt und Bewe-

gungen parallel zur Membranebene sehr gut dämpft. Wird eine solche Membranfeder nun parallel zur Membran des Vibrationssensors eingesetzt, so können die Nutzmoden senkrecht zur Ebene der Membranfeder wirken und werden damit annähernd nicht gedämpft, wohingegen die Störmoden allesamt hohe Bewegungsanteile orthogonal zur Antriebsrichtung und damit parallel zur Ebene der Membranfeder aufweisen, die daher stark gedämpft werden.

[0046] Daher ist in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors das wenigstens eine Dämpfungselement als Membranfeder ausgeführt, deren Breite und Länge oder deren Durchmesser ein Vielfaches größer ist als deren Dicke.

[0047] Es hat sich gezeigt, dass bei üblichen Vibrationssensoren und Dämpfungselementen in Form von Membranfedern aus Federstahl, insbesondere Federstahl 1.4310, Edelstahl, insbesondere Edelstahl 1.4301 oder Stahl, insbesondere Stahl C22, mit einer Dicke von 0,1 mm bis 1,0 mm sowie einem Außendurchmesser von 20 mm bis 50 mm gute Ergebnisse ermöglichen. Besonders gute Ergebnisse haben vollflächige Membranfedern mit einer Dicke von 0,2 mm gezeigt. Die Membranfedern können dabei als flache Zylinderscheibe ausgebildet sein, oder aber tellerförmig oder mit einer konzentrischen Wellenstruktur versehen sein.

[0048] Es wurden ebenfalls gute Ergebnisse bezüglich der Dämpfungswirkung mit teilweise durchbrochenen Membranfedern mit einer Dicke von 0,4 mm erzielt. Daher weist in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors das wenigstens eine Dämpfungselement in Form einer Membranfeder wenigstens eine Durchgangsöffnung in Richtung der Antriebsrichtung auf.

[0049] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Vibrationssensors weist das wenigstens eine Dämpfungselement einen Innenring zum Verbinden mit dem Distanzstück und einen Außenring zum Verbinden mit dem Gehäuse auf, wobei der Innenring mit dem Außenring über wenigstens einen, vorzugsweise vier Stege verbunden ist.

[0050] Das Dämpfungselement weist einen Innenring auf, mittels dem es mittelbar oder unmittelbar mit dem Distanzstück verbindbar ist. Das Dämpfungselement kann auf diese Weise einfach mit dem schwingenden Distanzstück mit einem ausreichenden Abstand zur Membran des Vibrationssensors verbunden werden. Dadurch, dass das Dämpfungselement zu der Membran beabstandet angeordnet ist, wird ein verbessertes Dämpfungsverhalten für das Distanzstück erreicht, da das Distanzstück aufgrund der Kopplung mit der Membran einen Drehpunkt in der Ebene der Membran aufweist. Um diesen Drehpunkt können die Störmoden des

Distanzstücks schwingen. Das Dämpfungselement weist jedoch durch den Abstand zur Membran einen verbesserten Angriffspunkt mit großem Hebel auf, so dass die Schwingungen der Störmoden effektiv gedämpft werden können.

[0051] Um die Dämpfungswirkung des Dämpfungselements noch weiter zu verbessern, kann dieses einen Außenring aufweisen, mittels dem es mit einem relativ zur Membran feststehenden Gehäuse des Vibrationssensors verbindbar ist. Der Außenring kann beispielsweise mit dem Gehäuse des Vibrationssensors verschweißt oder zwischen einem Absatz des Gehäuses und einer Einschraubhülse verklemmt werden. Vorzugsweise ist das Dämpfungselement mit dem Gehäuse verschweißt, wobei durch eine umlaufende Verschweißung eine besonders stabile Befestigung des Dämpfungselementes erreicht werden kann. Auf diese Weise wird eine Fixierung des Dämpfungselements sowohl in Axial- als auch in Radialrichtung erreicht, wodurch eine Dämpfungswirkung weiter verbessert werden kann. Die Verbindung kann auch über einen Sinterprozess oder ein Metallpulverspritzguss-Verfahren (engl.: metal injection moulding, kurz MIM-Verfahren) hergestellt werden, wobei dabei dieselben Vorteile bestehen, wie beim Verschweißen.

[0052] An dem Innenring können eine Mehrzahl von federnden Stegen angeordnet sein, die sich wenigstens abschnittsweise in Radialrichtung erstrecken. Durch eine Ausgestaltung der Membranfeder mit solchen federnden Stegen kann eine Dämpfungselementeigenschaften der Membranfeder beeinflusst werden. Insbesondere ist es auf diese Weise möglich, die Membranfeder derart auszugestalten, dass sie in unterschiedlichen Richtungen in der Membranebene unterschiedlich stark dämpft. Eine besonders einfache Handhabung von mit Stegen ausgebildeten Membranfedern ergibt sich, wenn sich die Stege von dem Innenring zu dem Außenring erstrecken. Die Federstege können sich insbesondere radial, spiral- oder mäanderförmig erstrecken.

[0053] In einer bevorzugten Ausgestaltungsform sind an dem Innenring vier Stege rechtwinklig zueinander angeordnet, wobei jeweils zwei gegenüberliegend angeordnete Stege identische Abmessungen aufweisen. Eine solche symmetrische Ausgestaltungsform ist sinnvoll, da Vibrationssensoren der zugrunde liegenden Art typischerweise rotationssymmetrisch aufgebaut sind. Ferner ist es dadurch möglich, die Membranfeder so auszugestalten, dass sie beispielsweise in einer Vorzugsrichtung auftretende Störmoden besonders gut dämpfen kann.

[0054] Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass zwei in Richtung einer Verbindungslinie von zwei, an der Membran an einer dem Antrieb

gegenüberliegenden Seite angeordneten Seite mechanischen Schwingungselementen verlaufende erste Stege breiter ausgebildet sind als die zwei dazu senkrecht verlaufenden zweiten Stege. Da als mechanische Schwingungselemente typischerweise parallel zueinander ausgerichtete Paddel zum Einsatz kommen, die senkrecht zu der Verbindungslinie zwischen ihren Ansatzpunkten an der Membran ausgerichtet sind, treten bestimmte Störmoden bevorzugt in Richtung der Verbindungslinien der Befestigungspunkte dieser mechanischen Schwinger auf. Um diese Störmoden besonders effektiv abzumildern zu können, ist es sinnvoll, wenn die entsprechenden Stege stärker, insbesondere breiter, ausgebildet sind. Beispielsweise können die ersten Stege eine Breite von 6 mm und die zweiten Stege eine Breite von 4 mm aufweisen, wobei die Stege bei typischen Vibrationssensoren typischerweise eine Länge zwischen 3 mm und 5 mm, insbesondere zwischen 3,5 mm und 4,5 mm aufweisen.

[0055] Je nach Geometrie des Distanzstücks kann es von Vorteil sein, wenn ein Dämpfungselement auf der Hälfte der Länge des Distanzstücks angeordnet ist, wobei die Länge des Distanzstücks entlang der Antriebsrichtung des Antriebs gemessen wird. Auf diese Weise wird die erste Schwing-Mode des Distanzstücks effektiv durch das Dämpfungselement gedämpft. Um die darauffolgende zweite Mode, dritte Mode, vierte Mode usw. effektiv zu dämpfen, können weitere Dämpfungselemente entlang der Länge des Distanzstücks vorgesehen werden, die jeweils an den Orten der Amplituden der verschiedenen Moden angeordnet sind.

[0056] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren eingehend erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Schnittdarstellung eines Vibrationssensors, angeordnet in einer Öffnung eines Behältnisses mit einem durch ein Distanzstück thermisch entkoppelten Antrieb,

Fig. 2 ein Dämpfungselement ausgeführt als Membranfeder in einer Draufsicht,

Fig. 3 ein durch zwei Dämpfungselemente in einem Gehäuse eines Vibrationssensors schwingend gelagertes Distanzstück.

[0057] In den Figuren bezeichnen - soweit nicht anders angegeben - gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten mit gleicher Funktion.

[0058] Fig. 1 zeigt eine Schnittdarstellung eines Vibrationssensors 1, angeordnet in einer Öffnung 2 eines Behältnisses 3 mit einem durch ein Distanzstück 4 thermisch entkoppelten Antrieb 5.

[0059] Der Antrieb 5 des Vibrationssensors 1 ist über das Distanzstück 4 mechanisch mit einer Membran 6 gekoppelt. An der Membran 6 sind zwei mechanische Schwinger 7 angeordnet, die nach Art einer Schwinggabel schwingen können. Um die mechanischen Schwinger 7 in Schwingung zu versetzen kann der Antrieb 5 das Distanzstück 4 in einer Anregungsrichtung A des Antriebs 5 oszillierend vor und zurück bewegen. Diese oszillierende Bewegung des Distanzstücks 4 wird auf die Membran 6 übertragen die dann wiederum die mechanischen Schwinger 7 zum Schwingen anregt. Umgekehrt können auf diesem Weg auch Schwingungen der mechanischen Schwinger 7 auf den Antrieb 5 übertragen werden. Das Schwingverhalten der mechanischen Schwinger 7 hängt stark von der Dichte des die mechanischen Schwinger 7 umgebenden Mediums ab. Tauchen die mechanischen Schwinger 7 in ein im Behältnis 3 vorhandenes Füllgut 10, in diesem Fall flüssigen Wasserstoff, ein, dessen Dichte deutlich höher liegt als des ansonsten in dem Behältnis befindlichen gasförmigen Wasserstoffs, so ändert sich das Schwingverhalten, was wiederum über den Antrieb 5 detektiert werden kann. Auf diese Weise kann der Füllstand oder Grenzstand des Füllguts 10 im Behältnis 3 erfasst werden.

[0060] Das Distanzstück 4 ist mithilfe von zwei Dämpfungselementen 8 schwingend in einem zylinderförmig ausgebildeten Gehäuse 9 des Vibrationssensors 1 gelagert. Die Dämpfungselemente 8 ermöglichen es dem Distanzstück 4 sich entlang der Anregungsrichtung A des Antriebs 5 zu bewegen, ohne die Bewegung in Anregungsrichtung A sonderlich zu dämpfen. Eine Bewegung des Distanzstücks 4 quer zu der Anregungsrichtung A wird jedoch von dem Dämpfungselementen 8 weitestgehend gedämpft bzw. verhindert.

[0061] Durch das Distanzstück 4 kann der Antrieb 5 deutlich beabstandet zur Membran 6 bzw. den mechanischen Schwingern 7 innerhalb des Gehäuses 9 des Vibrationssensors 1 angeordnet werden. Das Distanzstück 4 kann durch seinen geringen Querschnitt und seine große Länge nur wenig Wärme leiten, so dass auf diese Weise der Antrieb 5 im Wesentlichen thermisch entkoppelt von der Membran 6 angeordnet ist. Für den Anwendungsfall eines Vibrationssensors 1 für flüssigen Wasserstoff als Füllgut 10, liegt die Länge des Distanzstücks 4 in einem Bereich von 5 bis 45 cm, während der Durchmesser 3 bis 10 mm beträgt, insbesondere weist das Distanzstück 4 eine Länge von 10 cm und einen Durchmesser von 5 mm auf. Zusätzlich ist das Gehäuse 9 des Vibrationssensors 1 derart in der Öffnung 2 des Behältnisses 3 befestigt, dass die Membran 6 mit den mechanischen Schwingern 7 innerhalb des Behältnisses 3 angeordnet sind, während der Antrieb 5 außerhalb des Behältnisses 3 angeordnet

ist. In dieser Anordnung wird möglichst wenig Wärme oder Kälte vom Füllgut 10 auf den Antrieb 5 übertragen, so dass der Vibrationssensor 1 auch für Füllgüter 10 mit sehr hohen Temperaturen wie beispielsweise über +200°C oder sehr niedrigen Temperaturen wie beispielsweise unter -200°C eingesetzt werden kann, ohne dass dabei der Antrieb 5 außerhalb seines zulässigen Temperaturbereichs wie beispielsweise $\pm 100^\circ\text{C}$ betrieben werden müsste.

[0062] Es ist sowohl ein erster Wärmeleitungs pfad W1 von der Membran 6 zum Antrieb 5 als auch ein zweiter Wärmeleitungs pfad W2 von der Membran 6 zu einer Umgebung des Gehäuses 9 eingezeichnet. Dabei verläuft der erste Wärmeleitungs pfad W1 über das Distanzstück 4, und der zweite Wärmeleitungs pfad W2 über das Gehäuse 9. Die beiden Wärmeleitungs pfade W1 und W2 weisen unterschiedliche thermische Widerstände auf. Der thermische Widerstand des ersten Wärmeleitungs pfades W1 ist durch die geometrische Ausgestaltung des Distanzstücks 4 und durch dessen Materialeigenschaften gegenüber dem thermischen Widerstand des zweiten Wärmeleitungs pfades W2 erhöht.

[0063] Fig. 2 zeigt ein Dämpfungselement 8 ausgeführt als eine Membranfeder. Der Grundkörper des Dämpfungselements 8 entspricht einer zylindrischen Scheibe, deren Durchmesser ein Vielfaches ihrer Höhe entspricht. Das Dämpfungselement 8 ist mit vier Durchgangsöffnungen 11 und einer mittig angeordneten Durchführung für das Distanzstück 4 versehen, so dass sich eine Form aus einem Außenring 12 und einem Innenring 13 ergibt, wobei der Außenring 12 und der Innenring 13 über vier federnde Stege 14 verbunden sind. Durch die Stege 14 kann sich der Innenring 13 relativ zum Außenring 12 in Anregungsrichtung A mit wenig Widerstand bewegen, so dass die Schwingungen des Distanzstücks 4 in Anregungsrichtung A nur sehr wenig gedämpft werden, während Schwingungen quer zu Anregungsrichtung A durch die Stege 14 sehr stark gedämpft werden können.

[0064] Fig. 3 zeigt ein durch zwei Dämpfungselemente 8 in einem Gehäuse 9 eines Vibrationssensors 1 schwingend gelagertes Distanzstück 4. Die Dämpfungselemente 8 entsprechen dem in Fig. 2 dargestellten Dämpfungselement 8 mit einem Außenring 12 und einem Innenring 13, welche über Stege 14 miteinander verbunden sind. Die Dämpfungselemente 8 sind jeweils durch eine Einschraubhülse 15 gegen einen Absatz im Gehäuse 9 gespannt und so über den Außenring 12 fest mit dem Gehäuse 9 verbunden. Das Distanzstück 4 weist ebenfalls zwei Absätze auf, die als Gegenlager für den Innenring 13 des Dämpfungselements 8 dienen. In der Fig. 3 ist der Durchmesser des Distanzstück 4 zur Ausbildung der Absätze für den Innenring

13 in dem Bereich zwischen den Dämpfungselementen 8 gegenüber den beiden Enden des Distanzstücks 4 vergrößert. Es ist aber genau so zielführend, wenn der Durchmesser des Distanzstücks 4 nur jeweils im Bereich der beiden Absätze vergrößert wäre. Dies würde zusätzliches Gewicht einsparen und dadurch das Schwingverhalten verbessern.

Bezugszeichenliste

| | |
|----|--------------------------------|
| 1 | Vibrationssensor |
| 2 | Öffnung |
| 3 | Behältnis |
| 4 | Distanzstück |
| 5 | Antrieb |
| 6 | Membran |
| 7 | mechanischer Schwinger |
| 8 | Dämpfungselement |
| 9 | Gehäuse |
| 10 | Füllgut |
| 11 | Durchgangsöffnung |
| 12 | Außenring |
| 13 | Innenring |
| 14 | Steg |
| 15 | Einschraubhülse |
| A | Anregungsrichtung des Antriebs |
| W1 | erster Wärmeleitungs pfad |
| W2 | zweiter Wärmeleitungs pfad |

Patentansprüche

1. Vibrationssensor (1) zur Erfassung eines Füllstands oder Grenzstands in einem Inneren eines Behältnisses (3), mit einem Gehäuse (9), einer zu einer Schwingung anregbaren Membran (6) und einem Antrieb (5) zum Versetzen der Membran (6) in Schwingung und/oder zum Abgreifen einer Schwingung der Membran (6), wobei der Antrieb (5) mit der Membran (6) über eine mechanische Kopplung verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mechanische Kopplung ein Distanzstück (4) umfasst, so dass der Antrieb (5) zur thermischen Entkopplung beabstandet zur Membran (6) angeordnet ist.

2. Vibrationssensor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Distanzstück (4) derart eingerichtet ist, dass ein erster Wärmeleitungs pfad (W1) von der Membran (6) über das Distanzstück (4) zum Antrieb (5) einen höheren thermischen Widerstand aufweist, als ein zweiter Wärmeleitungs pfad (W2) von der Membran (6)

über das Gehäuse (9) zu einer Umgebung des Gehäuses (9).

3. Vibrationssensor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gehäuse (9) dazu eingerichtet ist an einer Öffnung (2) des Behältnisses (3) derart befestigt zu werden, dass der Antrieb (5) außerhalb und die Membran (6) innerhalb des Behältnisses (3) angeordnet ist.

4. Vibrationssensor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Distanzstück (4) eine im Wesentlichen zylindrische Form mit einer Länge und einem Durchmesser aufweist, wobei die Länge ein Vielfaches des Durchmessers beträgt.

5. Vibrationssensor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Distanzstück (4) als Hohlkörper ausgebildet ist.

6. Vibrationssensor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Distanzstück (4) in dem Gehäuse (9) des Vibrationssensors (1) schwingend gelagert ist.

7. Vibrationssensor (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Distanzstück (4) mithilfe von wenigstens einem Dämpfungselement (8) im Gehäuse (9) schwingend gelagert ist, wobei das Dämpfungselement (8) vorzugsweise Schwingungen in einer Anregungsrichtung (A) des Antriebs (5) wesentlich weniger dämpft als orthogonal zur Anregungsrichtung (A).

8. Vibrationssensor (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Dämpfungselement (8) als Membranfeder ausgeführt ist, deren Breite und Länge oder deren Durchmesser ein Vielfaches größer ist als deren Dicke.

9. Vibrationssensor (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Dämpfungselement (8) wenigstens eine Durchgangsöffnung in Richtung der Antriebsrichtung (A) aufweist.

10. Vibrationssensor (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Dämpfungselement (8) einen Innenring zum Verbinden mit dem Dämpfungselement (8) und einen Außenring zum Verbinden mit dem Gehäuse (9) aufweist, wobei der Innenring mit dem Außenring über wenigstens einen Steg verbunden ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

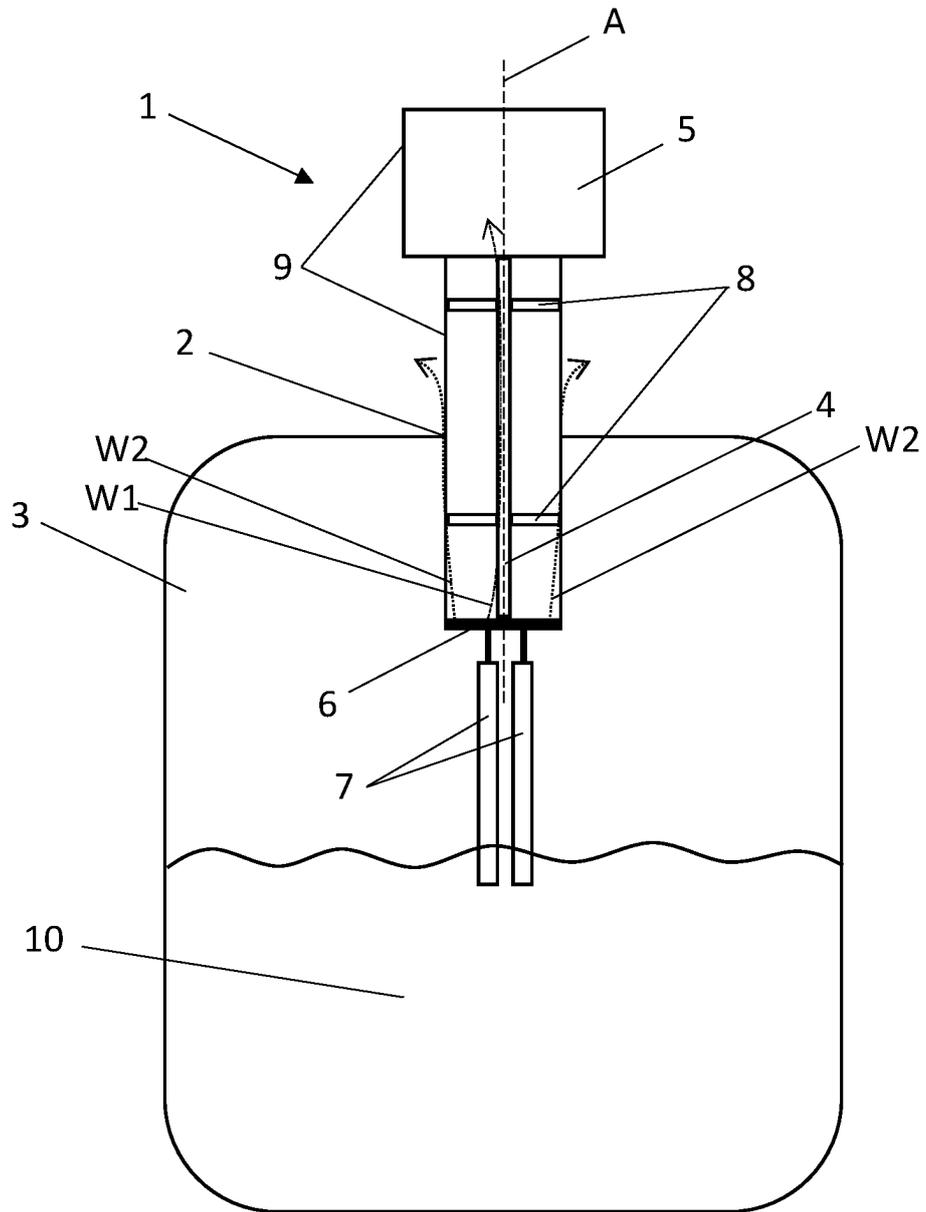


Fig. 1

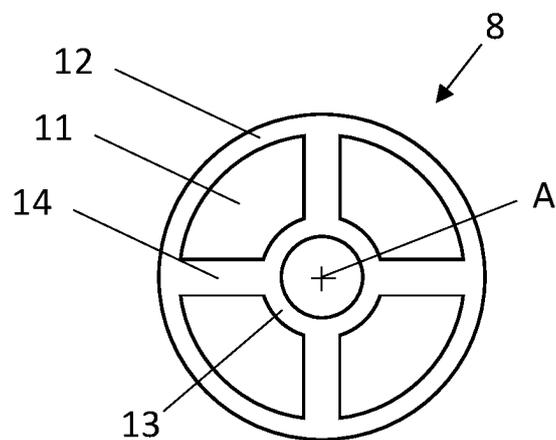


Fig. 2

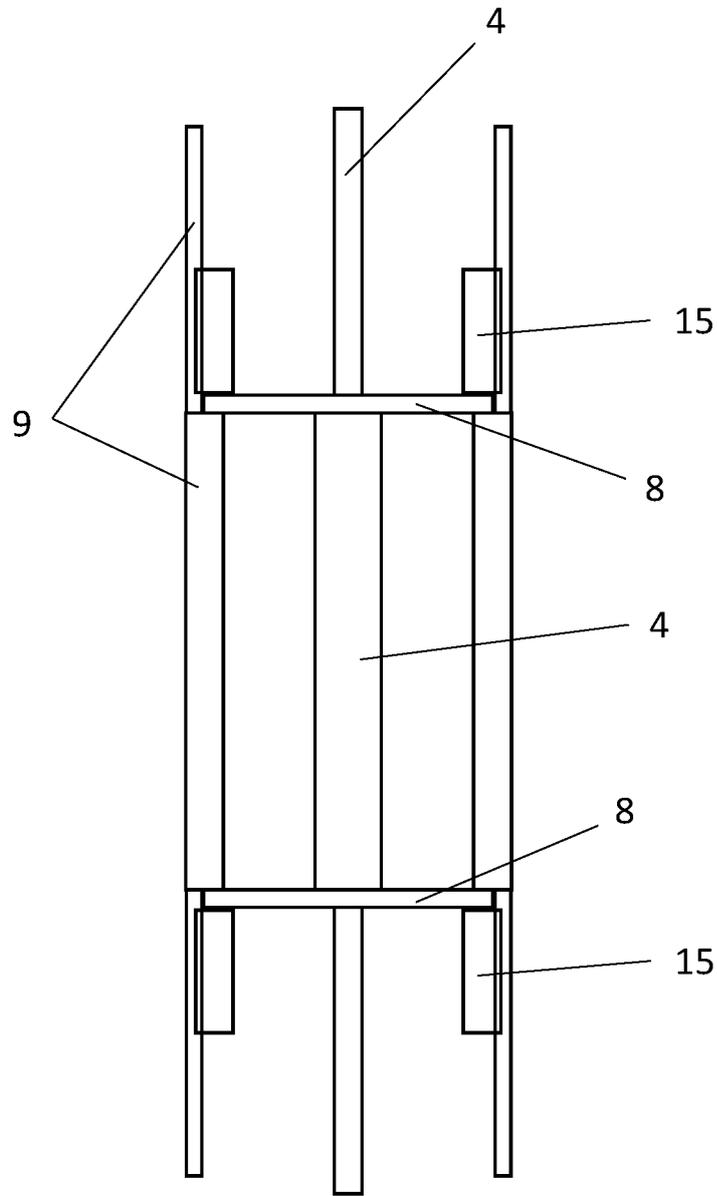


Fig. 3