

(19)



(11)

EP 3 135 909 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
04.11.2020 Patentblatt 2020/45

(51) Int Cl.:
F04B 35/04 ^(2006.01) **F04B 37/14** ^(2006.01)
F04B 37/16 ^(2006.01) **F04B 43/00** ^(2006.01)
F04B 43/02 ^(2006.01) **F04B 43/04** ^(2006.01)
F04B 43/14 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15182144.4**

(22) Anmeldetag: **24.08.2015**

(54) **MEMBRANVAKUUMPUMPE**

MEMBRANE VACUUM PUMP

POMPE SOUS VIDE A MEMBRANE

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.03.2017 Patentblatt 2017/09

(73) Patentinhaber: **PFEIFFER VACUUM GMBH
35614 Asslar (DE)**

(72) Erfinder: **Conrad, Armin
35745 Herborn (DE)**

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 2 685 104 DE-C- 863 701
GB-A- 700 368 US-A- 2 659 310**

EP 3 135 909 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Membranvakuumpumpe.

[0002] Bei bekannten Membranvakuum Pumpen wird eine Membran, die einen Schöpfraum bzw. Arbeitsraum begrenzt, üblicherweise mechanisch oder hydraulisch ausgelenkt, um dadurch den Schöpfraum in einer Saugphase zu vergrößern und in einer Kompressionsphase zu verkleinern. Um ein Medium mittels einer Membranvakuumpumpe zu fördern, sind an einem Einlass und Auslass des Schöpfraums Ventile notwendig, wobei während der Saugphase ein Ventil am Auslass und während der Kompressionsphase ein Ventil am Einlass geschlossen ist.

[0003] Ein Nachteil einer herkömmlichen Membranvakuumpumpe sind die Komponenten, die zur mechanischen oder hydraulischen Auslenkung der Membran erforderlich sind. Diese Komponenten benötigen einen gewissen Bauraum, und außerdem tritt Verschleiß entweder an den Komponenten selbst oder an der Membran auf. Außerdem weisen herkömmliche Membranvakuum Pumpen an einem Umkehrpunkt der Membran in der Kompressionsphase einen ungenutzten Raum bzw. ein sogenanntes "Totvolumen" auf, dessen Gasinhalt nicht über den Auslass ausgestoßen wird.

[0004] In der EP 2 685 104 A1 wird eine Membranvakuumpumpe vorgeschlagen, bei der eine Membran aus einem magnetorheologischen oder elektrorheologischen Material in einem Strömungskanal zwischen gegenüberliegenden Aktoren angeordnet ist, die auf beiden Seiten des Strömungskanals angeordnet sind. Durch eine geeignete Ansteuerung der Aktoren wird die Membran derart in dem Strömungskanal ausgelenkt, dass ein Fluidvolumen in dem Strömungskanal gekapselt und anschließend längs des Strömungskanals von einem Einlass zu einem Auslass der Membranvakuumpumpe transportiert wird. Nachteilig ist bei dieser Membranvakuumpumpe, dass die Aktoren auf beiden Seiten des Strömungskanals angeordnet sein müssen, um das Fluidvolumen zu kapseln, und dass zum Transport des Fluidvolumens eine komplexe Ansteuerung der Aktoren und eine intensive Verformung der Membran an mehreren Stellen und in unterschiedliche Richtungen erforderlich ist.

[0005] Aus der GB 700 368 A ist eine Membranvakuumpumpe mit den Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt.

[0006] In der DE 863 701 C ist eine ähnliche Vakuumpumpe beschrieben.

[0007] Ferner beschreibt auch die US 2 659 310 A eine ähnliche Vakuumpumpe.

[0008] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Membranvakuumpumpe zu schaffen, die einerseits einen kompakten und einfachen Aufbau aufweist und andererseits die Nachteile herkömmlicher Membranvakuum Pumpen insbesondere bezüglich Verschleiß und Totvolumen überwindet.

[0009] Diese Aufgabe wird durch eine Membranvakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0010] Die erfindungsgemäße Membranvakuumpumpe weist zumindest einen Arbeitsraum, der von einer Membran, die zum Verändern der Größe des Arbeitsraums verformbar ist, und einer Wand begrenzt ist, sowie eine ansteuerbare Aktoreinheit auf, die zum Verformen der Membran durch berührungsloses Beaufschlagen der Membran mittels elektrischer und/oder magnetischer Felder vorgesehen ist. In der Wand, die den Arbeitsraum begrenzt, sind zumindest ein Einlass und wenigstens ein Auslass für ein Medium ausgebildet. Das Medium wird in einer Saugphase über den Einlass in den Arbeitsraum eingesaugt, der sich dabei vergrößert, und in einer Kompressionsphase über den Auslass aus dem Arbeitsraum ausgestoßen, der sich dabei verkleinert.

[0011] Saugphase und Kompressionsphase wechseln sich während eines Pumpvorgangs in der Membranvakuumpumpe periodisch ab. Dabei kann die Dauer der Saugphase und der Kompressionsphase jeweils durch das Beaufschlagen der Membran mittels der elektrischen und/oder magnetischen Felder eingestellt werden. Auf diese Weise lässt sich die Pumpfrequenz der Membranvakuumpumpe steuern.

[0012] Da das Beaufschlagen der Membran für deren Verformung berührungslos erfolgt, ist die Membran das einzige Teil der Membranvakuumpumpe, das sich bewegen muss. Daher tritt während des Pumpvorgangs der Membranvakuumpumpe ein sehr geringer Verschleiß auf, und die Membranvakuumpumpe weist eine entsprechend lange Lebensdauer auf.

[0013] Da die Membranvakuumpumpe letztlich nur die Wand und die Membran, die den Arbeitsraum bilden, sowie die Aktoreinheit umfasst, weist sie einen kompakten und einfachen Aufbau auf. Dadurch kann die Membranvakuumpumpe auch in solchen Fällen als Vorpumpe verwendet werden, beispielsweise für eine Turbomolekularpumpe, in denen wenig Raum für eine Vorpumpe zur Verfügung steht. Aufgrund der geringen Gesamtzahl der notwendigen Teile weist die erfindungsgemäße Membranvakuumpumpe ferner geringe Herstellungskosten auf.

[0014] Die Membran kann mit eben und mit konstanter Dicke ausgeführt sein. Alternativ ist es möglich, die Membran auf einer Seite oder auf beiden Seiten mit einer Profilierung zu versehen. Ferner kann die Dicke der Membran variieren, wobei insbesondere das Dickenprofil der Membran an die Form der Wand angepasst sein kann, insbesondere an die Form einer in der Wand ausgebildeten Vertiefung.

[0015] Ferner weist der Arbeitsraum eine Achse auf, entlang welcher die Membran verformbar ist. Die Achse ist von einem ringförmigen Dichtbereich zwischen der Membran und der Wand umschlossen. Dabei ist der Arbeitsraum bevorzugt rotationssymmetrisch bezüglich der Achse ausgebildet.

[0016] Durch den ringförmigen Dichtbereich wird der Arbeitsraum der Membranvakuumpumpe während des

Pumpvorgangs abgeschlossen und abgedichtet. Da der Dichtbereich die Achse ringförmig umschließt, wird die Membran hauptsächlich innerhalb dieses Rings verformt. Dadurch erfolgt eine effiziente Vergrößerung und Verkleinerung des Arbeitsraums beim Verformen der Membran, beispielsweise ausgehend vom Dichtbereich nach innen in Richtung der Achse.

[0017] Bei einer rotationssymmetrischen Ausbildung des Arbeitsraums bezüglich der Achse ist der Dichtbereich ebenfalls rotationssymmetrisch bezüglich dieser, und der Arbeitsraum ist auf einfache Weise herstellbar. Ferner erfolgt in diesem Fall eine gleichmäßige, konzentrische Verformung der Membran, bei welcher allenfalls geringe Spannungen in der Membran auftreten.

[0018] Der Einlass der Vakuumpumpe umfasst eine oder mehrere Öffnungen, die in der Wand im Bereich eines ringförmigen Dichtbereiches zwischen der Membran und der Wand ausgebildet sind. Da die Verformung der Membran innerhalb des ringförmigen Dichtbereiches erfolgt, befindet sich der Einlass somit in einem Randbereich der Wand bzw. Membran, in welchem diese den maximalen Umfang aufweist. Da der Einlass mehrere Öffnungen umfasst, wird durch die Anordnung der Öffnungen im ringförmigen Dichtbereich das Volumen des Mediums maximiert, das in der Saugphase von der Vakuumpumpe aufgenommen werden kann.

[0019] Der Einlass ist ferner mittels der Membran verschließbar. Dadurch kann auf ein Ventil am Einlass der Vakuumpumpe verzichtet werden, das bei herkömmlichen Membranvakuumumpen erforderlich ist.

[0020] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind auch in den Unteransprüchen, der Beschreibung und in den Figuren angegeben.

[0021] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform umfasst der Arbeitsraum der Vakuumpumpe eine in der Wand ausgebildete Vertiefung. Dabei ist die Membran mittels der Aktoreinheit in der Kompressionsphase in die Vertiefung hinein und in der Saugphase aus der Vertiefung heraus verformbar. Die Vertiefung ist bevorzugt rotationssymmetrisch bezüglich einer Achse des Arbeitsraums ausgebildet.

[0022] Die maximale Größe des Arbeitsraums ist somit zumindest teilweise durch die Form der Vertiefung vorgegeben. Der Arbeitsraum weist ferner auch dann eine vordefinierte Größe auf, wenn sich die Membran in einem nicht verformten Zustand befindet. Ferner kann die Membran vorteilhafterweise in der Kompressionsphase bis zur Anlage an der Wand in die Vertiefung hinein verformt werden. Dadurch wird das vorstehend beschriebene Totvolumen, das bei herkömmlichen Membranvakuumumpen nachteilig ist, vermieden. Außerdem kann die Vertiefung derart gestaltet sein, dass während des Pumpvorgangs der Vakuumpumpe nur eine geringe Verformung der Membran erforderlich ist. Dadurch wird wiederum aufgrund des verringerten Verschleißes die Lebensdauer der Membran und der Vakuumpumpe insgesamt weiter verlängert.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausführungsform defi-

niiert die Wand in jedem eine Achse des Arbeitsraumes enthaltenden Querschnitt eine stetig differenzierbare Kurve. Die Verformung der Membran kann entlang dieser Kurve erfolgen. Durch diese Ausgestaltung der Wand lassen sich übermäßige oder sogar abknickende Verformungen der Membran vermeiden. Die Membran kann sich an die Wand anschmiegen, so dass die mechanische Beanspruchung der Membran auf ein Minimum reduziert und so deren Lebensdauer weiter verlängert wird.

[0024] Die Aktoreinheit ist vorzugsweise derart ansteuerbar, dass die Membran zeitlich und/oder örtlich differenziert verformbar ist. Die Ansteuerung der Aktoreinheit erfolgt dabei vorteilhafterweise durch eine Steuereinrichtung, welche die Aktoreinheit derart ansteuert, dass der zeitliche Verlauf der Verformung der Membran und/oder die räumliche Gestalt der Verformung festgelegt werden. Somit erfolgt nicht nur eine Steuerung der Pumpfrequenz der Vakuumpumpe, sondern es kann darüber hinaus auch das Ausmaß und die Form beim Verändern der Größe des Arbeitsraumes gesteuert werden.

[0025] Ferner ist die Membran vorzugsweise von einem äußeren Randbereich nach innen in Richtung einer Achse des Arbeitsraumes verformbar. Dadurch erfolgt eine gleichmäßige Verformung der Membran von außen nach innen, und es treten daher geringe Spannungen innerhalb der Membran auf.

[0026] Die Aktoreinheit umfasst bevorzugt eine Mehrzahl von elektrisch beaufschlagbaren Aktoren, bei denen es sich beispielsweise um Elektromagnete oder Elektroden handeln kann. Dementsprechend umfasst die Membran vorzugsweise ein Material oder besteht aus einem solchen, welches magnetisch und/oder magnetisierbar ist oder welches elektro- oder magnetorheologisch oder dielektrisch ist. Die Auswahl des Materials der Membran erfolgt somit passend zu dem Typ der Aktoren.

[0027] Die elektrisch beaufschlagbaren Aktoren können dabei mit einer relativ einfachen, kostengünstigen Elektronik, die in die Steuereinrichtung eingebunden ist, angesteuert werden. Ferner kann die Ansteuerung der elektrisch beaufschlagbaren Aktoren entsprechend den Eigenschaften der Membran erfolgen, um die erforderliche Pumpfrequenz bzw. das erforderliche Saugvermögen der Vakuumpumpe zu erreichen.

[0028] Vorzugsweise umfasst die Aktoreinheit eine Mehrzahl von außerhalb des Arbeitsraumes an der Wand verteilt angeordneten Aktoren. Durch einen solchen modularen Aufbau der Aktoreinheit sind die einzelnen Aktoren einzeln ansteuerbar und können einzeln gewartet bzw. ausgetauscht werden. Außerdem kann durch eine individuelle Ansteuerung der an der Wand verteilt angeordneten Aktoren die Membran abschnittsweise verformt werden. Die Aktoren sind dabei insbesondere konzentrisch um eine Achse des Arbeitsraumes angeordnet. Dies vereinfacht wiederum die Fertigung der Pumpe, und außerdem ist eine gleichmäßige Verformung der Membran möglich, wenn diese entsprechend scheibenförmig ausgebildet ist.

[0029] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführ-

rungsform trennt die Membran zwei jeweils von einer Wand begrenzte Arbeitsräume voneinander. In diesem Fall bewirkt eine einzige Membran durch eine entsprechende Verformung eine Veränderung der Größe zweier Arbeitsräume gleichzeitig. Wenn ein Arbeitsraum in der Saugphase durch die Verformung der Membran vergrößert wird, wird gleichzeitig der zweite Arbeitsraum entsprechend durch die Verformung der Membran in der Kompressionsphase verkleinert. Dadurch lassen sich mit einer einzigen Membran gleichzeitig zwei Pumpstufen realisieren.

[0030] Wenn zwei in Reihe geschaltete Pumpstufen gebildet werden sollen, wird der Auslass des einen Arbeitsraums mit dem Einlass des anderen Arbeitsraums verbunden. Dadurch entsteht eine Vakuumpumpe mit einer höheren Kompression. Für eine Parallelschaltung zweier Pumpstufen sind hingegen die Einlässe beider Arbeitsräume parallel geschaltet, d.h. mit dem gleichen Rezipienten bzw. dem Auslass einer weiteren Pumpe verbunden. Dadurch ergibt sich ein erhöhtes Saugvermögen der gesamten Vakuumpumpe mit zwei Pumpstufen.

[0031] Grundsätzlich können beliebig viele erfindungsgemäße Vakuumpumpen miteinander kombiniert werden. Zum Beispiel können auch Module aus mehreren parallel geschalteten Pumpstufen entweder mit gleichartigen Modulen oder mit Modulen, die mehrere in Reihe geschaltete Pumpstufen umfassen, zu einer Gesamtpumpeinheit kombiniert werden.

[0032] Die Aktoreinheit ist bevorzugt derart ansteuerbar, dass jeweils der Auslass des einen Arbeitsraums mittels der Membran verschlossen bleibt, bis der Einlass des anderen Arbeitsraumes mittels der Membran verschlossen ist. Im Falle zweier in Reihe geschalteter Pumpstufen kann dadurch auf ein Ventil am Auslass der ersten Pumpstufe verzichtet werden, da die Membran durch das zeitlich gesteuerte Verschließen des Auslasses des einen Arbeitsraums und des Einlasses des anderen Arbeitsraums die Funktion eines solchen Ventils übernimmt.

[0033] Schließlich betrifft die Erfindung ein System mit wenigstens zwei erfindungsgemäßen, zusammenwirkenden Vakuumpumpen. Dabei sind die Vakuumpumpen vorzugsweise in Reihe oder parallel geschaltet, wobei - wie oben bereits erwähnt - innerhalb einer Gesamtpumpe auch sowohl Parallel- als auch Reihenschaltungen vorgesehen sein können. So können z.B. mehrere Module, in denen jeweils mehrere Pumpen in Reihe geschaltet, parallel geschaltet werden.

[0034] Grundsätzlich kann insbesondere aufgrund der Kompaktheit, des einfachen Aufbaus und der geringen Herstellungskosten der erfindungsgemäßen Pumpe ein Baukastensystem geschaffen werden, das es gestattet, aus einer prinzipiell beliebigen Anzahl von Einzel-Pumpen der erfindungsgemäßen Art ein mehr oder weniger komplexes Pumpsystem zusammenzustellen, in welchem die einzelnen Pumpen oder Module bzw. Gruppen von Pumpen entsprechend den Anforderungen der je-

weiligen Anwendung zusammengeschaltet sind und angesteuert werden können.

[0035] Die Erfindung wird rein beispielhaft anhand der beiliegenden Figuren erläutert, die eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe darstellen. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Membranvakuumpumpe, und
Fig. 2a bis 2c schematische Schnittansichten der erfindungsgemäßen Membranvakuumpumpe, welche deren Betriebsweise veranschaulichen.

[0036] Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Membranvakuumpumpe 11 in einer schematischen Schnittansicht. Die Vakuumpumpe 11 weist einen Arbeitsraum auf, der durch eine Membran 15 in einen oberen Arbeitsraum 13a und einen unteren Arbeitsraum 13b geteilt ist. Der Arbeitsraum ist ferner durch eine Wand begrenzt, die aus einer oberen Wandhälfte 17a und einer unteren Wandhälfte 17b zusammengesetzt ist.

[0037] Die obere und die untere Wandhälfte 17a, 17b weisen jeweils bezogen auf die Membran 15, die sich in der Darstellung in einer Ruhelage befindet, eine Vertiefung 19 auf. In einem Randbereich 21 umfasst die Wand, d.h. jeweils die obere Wandhälfte 17a und die untere Wandhälfte 17b, Einlässe 23a, 23b, während in der Mitte der Vertiefung 19 jeweils ein Auslass 25a, 25b angeordnet ist. Ein gasförmiges Medium, das mittels der Pumpe 11 gefördert werden soll, gelangt über die Einlässe 23a, 23b in den Arbeitsraum 13, wie dies durch die Pfeile 24 angedeutet ist. Durch den Pumpvorgang wird das Medium aus den Auslässen 25a, 25b ausgestoßen und gelangt letztlich über Leitungen in einen Bereich, der sich beispielsweise auf Atmosphärendruck befindet.

[0038] Die Einlässe 23a, 23b umfassen ferner mehrere Öffnungen 27, die sich in einem Dichtbereich 29 befinden, in welchem die Öffnungen 27 beim Ausstoßen des Mediums durch die Auslässe 25a, 25b hindurch mittels der Membran 15 verschlossen werden. Die Öffnungen 27 können z.B. in Form von kreis- oder schlitzförmigen Durchbrechungen vorgesehen sein.

[0039] Die Vakuumpumpe 11 weist ferner eine Aktoreinheit auf, die aus einer oberen Aktoreinheit 31a und einer unteren Aktoreinheit 31b besteht, die getrennt voneinander ansteuerbar sind. Die Aktoreinheiten weisen jeweils mehrere Elektromagnete 33 als Aktoren auf, die außerhalb des Arbeitsraums 13 und außerhalb der jeweiligen Wand 17a, 17b angeordnet und über diese verteilt sind.

[0040] Die Membran 15 besteht aus einem magnetorheologischen Elastomermaterial. Wenn einer oder mehrere der Elektromagnete 33 aktiviert werden, wird die Membran 15 aufgrund des magnetorheologischen Elastomermaterials in die Richtung des bzw. der aktivierten

Elektromagnete 33 gezogen, d.h. in eine der jeweiligen Vertiefungen 19 der betreffenden Wand 17a, 17b hinein oder aus dieser heraus verformt.

[0041] Die gesamte Anordnung der Vakuumpumpe 11 ist bezüglich einer Achse 35 rotationssymmetrisch. Bei den Elektromagneten 33 handelt es sich somit entweder jeweils um ringförmige Magnete an den einzelnen Radialpositionen, oder es sind an den einzelnen Radialpositionen jeweils mehrere diskrete, ringförmig und in Umfangsrichtung gleichmäßig verteilt angeordnete Einzel-Magnete vorgesehen. Die einzelnen Öffnungen 27 der Einlässe 23a, 23b sind jeweils über den ringförmig ausgebildeten Dichtbereich 29 gleichmäßig verteilt. Die Radialpositionen der Elektromagnete 33 sind gleichmäßig über die jeweilige Wand 17a, 17b verteilt.

[0042] Die Elektromagnete 33 der Aktoreinheiten 31a, 31b werden von einer Steuereinrichtung 41 angesteuert. In Fig. 1 sind der Einfachheit halber lediglich Verbindungen zu den Elektromagneten 33 der oberen Aktoreinheit 31a gezeigt. Die Elektromagnete 33 der unteren Aktoreinheit 31b sind ebenfalls mit der Steuereinrichtung 41 verbunden. Sämtliche Elektromagnete 33 sind unabhängig voneinander ansteuerbar, so dass die Membran 15 in verschiedenen Teilbereichen gezielt unterschiedlich verformbar ist.

[0043] Die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Membranvakuumpumpe 11 ist in Fig. 2a bis 2c veranschaulicht.

[0044] In Fig. 2a sind die Elektromagnete 33 der oberen Aktoreinheit 31a aktiviert, während die Elektromagnete 33 der unteren Aktoreinheit 31b deaktiviert sind. Die Membran 15 liegt daher aufgrund der magnetischen Wechselwirkung zwischen deren magnetorheologischem Material und den Elektromagneten 33 der oberen Aktoreinheit 31a an der oberen Wandhälfte 17a an, d.h. in deren Vertiefung 19.

[0045] Der obere Arbeitsraum 13a befindet sich daher in Fig. 2a am Ende der Kompressionsphase und weist eine Größe von praktisch Null auf. Der untere Arbeitsraum 13b befindet sich hingegen am Ende der Saugphase, in der die Öffnungen 27 des Einlasses 23b offen sind. Ein nicht dargestelltes Rückschlagventil am Auslass 25b des unteren Arbeitsraums 13b verhindert in dessen Saugphase eine Rückströmung über den Auslass 25b in den unteren Arbeitsraum 13b hinein.

[0046] Anschließend werden die Elektromagnete 33 der oberen Aktoreinheit 31a deaktiviert, während die Elektromagnete 33 der unteren Aktoreinheit 31b aktiviert werden. Dadurch löst sich die Membran 15 von der oberen Wandhälfte 17a und bewegt sich in Richtung der unteren Wandhälfte 17b. Dabei werden die Aktoreinheiten 31a, 31b derart angesteuert, dass die Membran 15 frühzeitig die untere Wandhälfte 17b in deren Dichtbereich 29 erreicht und so die Öffnungen 27 des Einlasses 23b in der unteren Wandhälfte 17b verschließt, um die Kompressionsphase des unteren Arbeitsraumes 13b einzuleiten.

[0047] Sobald die Öffnungen 27 des Einlasses 23b in

der unteren Wandhälfte 17b vollständig geschlossen sind, beginnt die Kompressionsphase im unteren Arbeitsraum 13b. In Fig. 2b befindet sich der untere Arbeitsraum 13b in der Kompressionsphase, während sich der obere Arbeitsraum 13a in der Saugphase befindet, da die Öffnungen 27 des Einlasses 23a in der oberen Wandhälfte 17a geöffnet sind.

[0048] In der Kompressionsphase des unteren Arbeitsraums 13b wird das zu fördernde Medium über dessen Auslass 25b ausgestoßen. Gleichzeitig verhindert wiederum ein nicht dargestelltes Rückschlagventil am Auslass 25a des oberen Arbeitsraums 13a eine Rückströmung in diesen hinein während dessen Saugphase.

[0049] Während der Kompressionsphase legt sich die Membran 15 von radial außen nach radial innen an die untere Wandhälfte 17b an, um das Gas vollständig aus dem unteren Arbeitsraum 13b herauszudrücken. Sobald die Membran 15 vollständig an der unteren Wandhälfte 17b anliegt, werden die Elektromagnete 33 der unteren Aktoreinheit 31b wieder deaktiviert, und es beginnt eine erneute Aktivierung der Elektromagnete 33 der oberen Aktoreinheit 31a.

[0050] Insgesamt führt die Membran 15 somit eine periodische Verformung zwischen der oberen Wandhälfte 17a und der unteren Wandhälfte 17b aus. Die Formgebung der Wandhälften 17a, 17b ermöglicht jeweils eine vollständige Entleerung der jeweiligen Arbeitsräume 13a, 13b und schon das Material der Membran 15. Die Frequenz der periodischen Verformung der Membran 15 wird über die abwechselnde Aktivierung der Elektromagnete 33 der oberen bzw. unteren Aktoreinheit 31a, 31b gesteuert.

[0051] Die Membranvakuumpumpe 11 umfasst aufgrund des oberen und des unteren Arbeitsraums 13a, 13b zwei Pumpstufen. Diese beiden Pumpstufen können entweder parallel geschaltet werden, indem die Einlässe 23a, 23b sowohl der oberen Wandhälfte 17a als auch der unteren Wandhälfte 17b mit dem gleichen Rezipienten verbunden bzw. an eine gemeinsame Hauptpumpe, beispielsweise eine Turbomolekularpumpe, angeschlossen sind. Entsprechend sind die Auslässe 25a, 25b bei einer solchen Parallelschaltung miteinander verbunden, d.h. führen zu einer gemeinsamen Auslassleitung (nicht dargestellt).

[0052] Alternativ können die beiden Pumpstufen der Membranvakuumpumpe 11 auch in Reihe geschaltet werden, wie dies in Fig. 2c schematisch dargestellt ist. Der Auslass 25a in der oberen Wandhälfte 17a ist zu diesem Zweck mit dem Einlass 23b der unteren Wandhälfte 17b verbunden. Der Weg des zu fördernden Mediums verläuft somit insgesamt zunächst über den Einlass 23a der oberen Wandhälfte 17a in den oberen Arbeitsraum 13a, anschließend über dessen Auslass 25a und eine Leitung 43 (Fig. 2c) zum Einlass 23b der unteren Wandhälfte 17b, über den Einlass 23b in den unteren Arbeitsraum 13b und über diesen zum Auslass 25b in der unteren Wandhälfte 17b. Der Weg des Mediums durch die Membranvakuumpumpe ist in Fig. 2c durch die

entsprechenden Pfeile 45 veranschaulicht.

[0053] Da die Elektromagnete 33 der Aktoreinheiten 31a, 31b jeweils unabhängig voneinander angesteuert werden können, ist es möglich, die Membran 15 gezielt derart zu verformen, dass der Auslass 25a des oberen Arbeitsraums 13a durch die Membran 15 solange geschlossen bleibt, bis der Einlass 23b des unteren Arbeitsraums 13b durch die Membran 15 geschlossen ist. Mit anderen Worten wird die Membran 15 durch eine Aktivierung der Elektromagnete 33 der unteren Aktoreinheit 31b zunächst nur im Randbereich 21 bzw. Dichtbereich 29 des unteren Arbeitsraums 13b "angezogen", d.h. in Richtung der unteren Wandhälfte 17b verformt, während die Membran 15 im zentralen Bereich, d.h. in der Nähe der Achse 35, in der Vertiefung 19 der oberen Wandhälfte 17a "festgehalten" wird. Dieser Zustand, bei dem die Membran 15 in einem zentralen Bereich in Richtung der oberen Wandhälfte 17a und gleichzeitig in einem Randbereich in Richtung der unteren Wandhälfte 17b verformt ist, ist in Fig. 2c schematisch dargestellt.

[0054] In der sich unmittelbar anschließenden Saugphase des oberen Arbeitsraums 13a erfolgt keine Rückströmung aus dem unteren Arbeitsraum 13b in den oberen Arbeitsraum 13a, da der Einlass 23b des unteren Arbeitsraums 13b geschlossen wird, bevor sich die Membran 15 von dem Auslass 25a des oberen Arbeitsraums 13a löst. Daher kann bei einer solchen Reihenschaltung der zwei Pumpstufen der Membranvakuumpumpe 11 auf ein Rückschlagventil zwischen den beiden Pumpstufen, d.h. zwischen dem unteren Arbeitsraum 13b und dem oberen Arbeitsraum 13a, verzichtet werden. Der Auslass 25b des unteren Arbeitsraums 13b weist jedoch zur Verhinderung der Rückströmung nach wie vor ein solches Rückschlagventil auf.

[0055] Alternativ kann die Membran 15 aus einem elektrorheologischen Material hergestellt sein oder ein solches umfassen. In diesem Fall werden anstelle der Elektromagnete 33 entsprechende Elektroden in den beiden Aktoreinheiten 31a, 31b verwendet.

[0056] Die Membranvakuumpumpe 11 weist zum einen die Vorteile einer herkömmlichen Membranvakuumpumpe auf, insbesondere bezüglich eines "trockenen" Betriebs ohne Schmiermittel, wie beispielsweise Öl, das bei Kolbenpumpen erforderlich ist.

[0057] Der Betrieb der erfindungsgemäßen Pumpe 11 ist zudem sehr leise und vibrationsarm.

[0058] Darüber hinaus zeichnet sich die Membranvakuumpumpe 11 durch eine besonders einfache und kompakte Bauweise mit einer relativ geringen Anzahl von Teilen und so durch vergleichsweise geringe Herstellungskosten aus.

[0059] Außerdem wird bei der erfindungsgemäßen Membranvakuumpumpe 11 das nachteilige "Totvolumen" herkömmlicher Membranvakuumumpen, d.h. ein Volumen im Arbeitsraum, das nicht über einen Auslass ausgepumpt wird, vermieden, indem die Membran 15 am Ende der jeweiligen Kompressionsphase des oberen bzw. unteren Arbeitsraums 13a, 13b in der jeweiligen

Vertiefung 19 vollständig an der oberen bzw. unteren Wandhälfte 17a, 17b anliegt.

Bezugszeichenliste

[0060]

| | |
|----------|----------------------|
| 11 | Membranvakuumpumpe |
| 13a | oberer Arbeitsraum |
| 13b | unterer Arbeitsraum |
| 15 | Membran |
| 17a | obere Wandhälfte |
| 17b | untere Wandhälfte |
| 19 | Vertiefung |
| 21 | Randbereich |
| 23a, 23b | Einlass |
| 24 | Pfeil |
| 25a, 25b | Auslass |
| 27 | Öffnung |
| 29 | Dichtbereich |
| 31a | obere Aktoreinheit |
| 31b | untere Aktoreinheit |
| 33 | Elektromagnet, Aktor |
| 35 | Achse |
| 41 | Steuereinrichtung |
| 43 | Leitung |
| 45 | Pfeil |

Patentansprüche

1. Membranvakuumpumpe (11), mit zumindest einem Arbeitsraum (13, 13a, 13b), der von einer zum Verändern der Größe des Arbeitsraumes (13, 13a, 13b) verformbaren Membran (15) und von einer Wand (17, 17a, 17b) begrenzt ist, in der zumindest ein Einlass (23a, 23b) und wenigstens ein Auslass (25a, 25b) für ein Medium ausgebildet sind, das in einer Saugphase über den Einlass (23a, 23b) in den sich dabei vergrößernden Arbeitsraum (13, 13a, 13b) eingesaugt und in einer Kompressionsphase über den Auslass (25a, 25b) aus dem sich dabei verkleinernden Arbeitsraum (13, 13a, 13b) ausgestoßen wird, und mit einer ansteuerbaren Aktoreinheit (31, 31a, 31b) zum Verformen der Membran (15) durch berührungsloses Beaufschlagen der Membran (15) mittels elektrischer und/oder magnetischer Felder, wobei der Arbeitsraum (13, 13a, 13b) eine Achse (35) aufweist, entlang welcher die Membran (15) verformbar ist und die von einem ringförmigen Dichtbereich (29) zwischen der Membran (15) und der Wand (17, 17a, 17b) umschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlass (23a, 23b) eine oder mehrere Öffnungen (27) umfasst, die in der Wand (17, 17a, 17b) im Bereich des ringförmigen Dichtbereiches (29) zwischen der Membran (15) und der Wand (17, 17a,

- 17b) ausgebildet sind, wobei der Einlass (23a, 23b) mittels der Membran (15) verschließbar ist.
2. Vakuumpumpe (11) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Arbeitsraum (13, 13a, 13b) bezüglich der Achse (35) rotationssymmetrisch ausgebildet ist.
 3. Vakuumpumpe (11) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Arbeitsraum (13, 13a, 13b) eine in der Wand (17, 17a, 17b) ausgebildete Vertiefung (19) umfasst, wobei die Membran (15) mittels der Aktoreinheit (31, 31a, 31b) in der Kompressionsphase in die Vertiefung (19) hinein und in der Saugphase aus der Vertiefung (19) heraus verformbar ist, wobei insbesondere die Vertiefung (19) bezüglich einer Achse (35) des Arbeitsraumes (13, 13a, 13b) rotationssymmetrisch ausgebildet ist.
 4. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass in jedem eine Achse (35) des Arbeitsraumes (13, 13a, 13b) enthaltenden Querschnitt die Wand (17, 17a, 17b) eine stetig differenzierbare Kurve definiert.
 5. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Aktoreinheit (31, 31a, 31b) derart ansteuerbar ist, dass die Membran (15) zeitlich und/oder örtlich differenziert verformbar ist.
 6. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Membran (15) von einem äußeren Randbereich (21) nach innen in Richtung einer Achse (35) des Arbeitsraumes (13, 13a, 13b) verformbar ist.
 7. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Aktoreinheit (31, 31a, 31b) eine Mehrzahl von elektrisch beaufschlagbaren Aktoren (33) umfasst, insbesondere Elektromagnete (33) oder Elektroden.
 8. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Membran (15) ein Material umfasst oder aus einem Material besteht, das magnetisch und/oder magnetisierbar ist oder das elektro- oder magnetorheologisch oder dielektrisch ist.
 9. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Aktoreinheit (31, 31a, 31b) eine Mehrzahl von außerhalb des Arbeitsraumes (13, 13a, 13b) an der Wand (17, 17a, 17b) verteilt angeordneten Aktoren (33) umfasst, wobei insbesondere die Aktoren (33) konzentrisch um eine Achse (35) des Arbeitsraumes (13, 13a, 13b) angeordnet sind.
 10. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Membran (15) zwei jeweils von einer Wand (17, 17a, 17b) begrenzte Arbeitsräume (13a, 13b) voneinander trennt.
 11. Vakuumpumpe (11) nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Bildung zweier in Reihe geschalteter Pumpstufen der Auslass (25a) des einen Arbeitsraumes (13a) mit dem Einlass (23b) des anderen Arbeitsraumes (13b) verbunden ist, oder
dass zur Bildung zweier parallel geschalteter Pumpstufen die Einlässe (23a, 23b) beider Arbeitsräume (13a, 13b) parallel geschaltet sind.
 12. Vakuumpumpe (11) nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Aktoreinheit (31, 31a, 31b) derart ansteuerbar ist, dass jeweils der Auslass (25a, 25b) des einen Arbeitsraumes (13a, 13b) mittels der Membran (15) verschlossen bleibt, bis der Einlass (23a, 23b) des anderen Arbeitsraumes (13a, 13b) mittels der Membran (15) verschlossen ist.
 13. System mit wenigstens zwei zusammenwirkenden Membranvakuumumpumpen (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die in Reihe und/oder parallel geschaltet sind, wobei insbesondere wenigstens zwei Module oder Gruppen mit jeweils wenigstens zwei Membranvakuumumpumpen (11) vorgesehen sind.

Claims

1. A membrane vacuum pump (11),
comprising at least one working space (13, 13a, 13b) which is bounded by a membrane (15) deformable to change the size of the working space (13, 13a, 13b) and by a wall (17, 17a, 17b) in which at least one inlet (23a, 23b) and at least one outlet (25a, 25b) are formed for a medium which is sucked into the working space (13, 13a, 13b) which increases in size in so doing in a suction phase via the inlet (23a, 23b) and which is expelled out of the working space (13, 13a, 13b) which decreases in size in so doing in a

compression phase via the outlet (25a, 25b); and comprising a controllable actuator unit (31, 31a, 31b) for deforming the membrane (15) by a contactless action on the membrane (15) by means of electrical and/or magnetic fields,

wherein the working space (13, 13a, 13b) has an axis (35) along which the membrane (15) is deformable and which is surrounded by an annular sealing region (29) between the membrane (15) and the wall (17, 17a, 17b),

characterized in that

the inlet (23a, 23b) comprises one or more openings (27) which are formed in the wall (17, 17a, 17b) in the region of the annular sealing region between the membrane (15) and the wall (17, 17a, 17b), with the inlet (23a, 23b) being closable by means of the membrane (15).

2. A vacuum pump (11) in accordance with claim 1, **characterized in that** the working space (13, 13a, 13b) is rotationally symmetrical with respect to the axis (35).
3. A vacuum pump (11) in accordance with claim 1 or claim 2, **characterized in that** the working space (13, 13a, 13b) comprises a recess (19) formed in the wall (17, 17a, 17b), with the membrane (15) being deformable by means of the actuator unit (31, 31a, 31b) into the recess (19) in the compression phase and out of the recess (19) in the suction phase, with the recess (19) in particular being rotationally symmetrical with respect to an axis (35) of the working space (13, 13a, 13b).
4. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the wall (17, 17a, 17b) defines a curve which is continuously differentiable in every cross-section including an axis (35) of the working space (13, 13a, 13b).
5. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the actuator unit (31, 31a, 31b) is controllable such that the membrane (15) is deformable in a different manner over time and/or in location.
6. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the membrane (15) is deformable from an outer marginal region (21) inwardly in the direction of an axis (35) of the working space (13, 13a, 13b).
7. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims,

characterized in that

the actuator unit (31, 31a, 31b) comprises a plurality of actuators (33), in particular electromagnets (33) or electrodes, acted on electrically.

8. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the membrane (15) comprises a material or consists of a material which is magnetic and/or magnetizable or which is electrorheological or magnetorheological or dielectric.
9. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the actuator unit (31, 31a, 31b) comprises a plurality of actuators (33) arranged distributed at the wall (17, 17a, 17b) outside the working space (13, 13a, 13b), with the actuators (33) in particular being arranged concentrically about an axis (35) of the working space (13, 13a, 13b).
10. A vacuum pump (11) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the membrane (15) separates two working spaces (13a, 13b) respectively bounded from one another by a wall (17, 17a, 17b).
11. A vacuum pump (11) in accordance with claim 10, **characterized in that** the outlet (25a) of the one working space (13a) is connected to the inlet (23b) of the other working space (13b) for forming two pump stages connected in series; or **in that** the inlets (23a, 23b) of both working spaces (13a, 13b) are connected in parallel for forming two pump stages connected in parallel.
12. A vacuum pump (11) in accordance with claim 10 or claim 11, **characterized in that** the actuator unit (31, 31a, 31b) is controllable such that the respective outlet (25a, 25b) of the one working space (13a, 13b) remains closed by means of the membrane (15) until the inlet (23a, 23b) of the other working space (13a, 13b) is closed by means of the membrane (15).
13. A system comprising at least two cooperating membrane vacuum pumps (11) in accordance with any one of the preceding claims which are connected in series and/or in parallel, wherein in particular at least two modules or groups are provided, each having at least two membrane vacuum pumps (11).

Revendications

1. Pompe à vide à membrane (11),
comportant au moins une chambre de travail (13, 13a, 13b) qui est délimitée par une membrane (15) déformable pour modifier la taille de la chambre de travail (13, 13a, 13b) et par une paroi (17, 17a, 17b) dans laquelle sont ménagées au moins une entrée (23a, 23b) et au moins une sortie (25a, 25b) pour un fluide qui, dans une phase d'aspiration, est aspiré par l'entrée (23a, 23b) jusque dans la chambre de travail (13, 13a, 13b) qui, ce faisant, s'agrandit, fluide qui, en phase de compression, est éjecté par la sortie (25a, 25b) hors de la chambre de travail (13, 13a, 13b) qui, ce faisant, se réduit, et
comportant une unité d'actionnement pilotable (31, 31a, 31b) pour déformer la membrane (15) par sollicitation sans contact de la membrane (15) au moyen de champs électriques et/ou magnétiques, la chambre de travail (13, 13a, 13b) présentant un axe (35) le long duquel la membrane (15) est déformable et qui est entouré par une zone d'étanchéité annulaire (29) entre la membrane (15) et la paroi (17, 17a, 17b),
caractérisée en ce que
l'entrée (23a, 23b) présente une ou plusieurs ouvertures (27) qui sont ménagées dans la paroi (17, 17a, 17b) au niveau de la zone d'étanchéité annulaire entre la membrane (15) et la paroi (17, 17a, 17b), l'entrée (23a, 23b) pouvant être refermée au moyen de la membrane (15).
2. Pompe à vide (11) selon la revendication 1,
caractérisée en ce que
la chambre de travail (13, 13a, 13b) est réalisée à symétrie de révolution par rapport à l'axe (35).
3. Pompe à vide (11) selon la revendication 1 ou 2,
caractérisée en ce que
la chambre de travail (13, 13a, 13b) présente une cavité (19) formée dans la paroi (17, 17a, 17b), la membrane (15) pouvant être déformée jusque dans la cavité (19) dans la phase de compression et pouvant être déformée hors de la cavité (19) dans la phase d'aspiration, au moyen de l'unité d'actionnement (31, 31a, 31b),
la cavité (19) étant réalisée en particulier à symétrie de révolution par rapport à un axe (35) de la chambre de travail (13, 13a, 13b).
4. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
dans chaque section transversale contenant un axe (35) de la chambre de travail (13, 13a, 13b), la paroi (17, 17a, 17b) définit une courbe constamment différenciable.
5. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'unité d'actionnement (31, 31a, 31b) peut être pilotée de telle manière que la membrane (15) peut être déformée de manière différenciée dans le temps et/ou localement.
6. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
la membrane (15) est déformable depuis une zone de bord extérieure (21) vers l'intérieur dans la direction d'un axe (35) de la chambre de travail (13, 13a, 13b).
7. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'unité d'actionnement (31, 31a, 31b) comprend une pluralité d'actionneurs (33) susceptibles d'être sollicités par voie électrique, en particulier des électroaimants (33) ou des électrodes.
8. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
la membrane (15) comprend un matériau ou est constituée d'un matériau qui est magnétique et/ou magnétisable ou qui est électro-rhéologique ou magnéto-rhéologique ou diélectrique.
9. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
l'unité d'actionnement (31, 31a, 31b) comprend une pluralité d'actionneurs (33) disposés à l'extérieur de la chambre de travail (13, 13a, 13b) en étant répartis sur la paroi (17, 17a, 17b), les actionneurs (33) étant en particulier disposés concentriquement autour d'un axe (35) de la chambre de travail (13, 13a, 13b).
10. Pompe à vide (11) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
la membrane (15) sépare deux chambres de travail (13a, 13b) l'une de l'autre, chacune étant délimitée par une paroi (17, 17a, 17b).
11. Pompe à vide (11) selon la revendication 10,
caractérisée en ce que
pour former deux étages de pompage connectés en série, la sortie (25a) d'une chambre de travail (13a) est connectée à l'entrée (23b) de l'autre chambre de travail (13b), ou
en ce que pour former deux étages de pompage connectés en parallèle, les entrées (23a, 23b) des deux chambres de travail (13a, 13b) sont connec-

tées en parallèle.

12. Pompe à vide (11) selon la revendication 10 ou 11, **caractérisée en ce que** l'unité d'actionnement (31, 31a, 31b) peut être pilotée de telle manière que la sortie respective (25a, 25b) d'une chambre de travail (13a, 13b) reste fermée au moyen de la membrane (15) jusqu'à ce que l'entrée (23a, 23b) de l'autre chambre de travail (13a, 13b) soit fermée au moyen de la membrane (15).
13. Système comportant au moins deux pompes à vide à membrane (11) selon l'une des revendications précédentes, qui coopérant l'une avec l'autre et qui sont connectées en série et/ou en parallèle, dans lequel sont prévus en particulier au moins deux modules ou groupes comportant chacun au moins deux pompes à vide à membrane (11).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

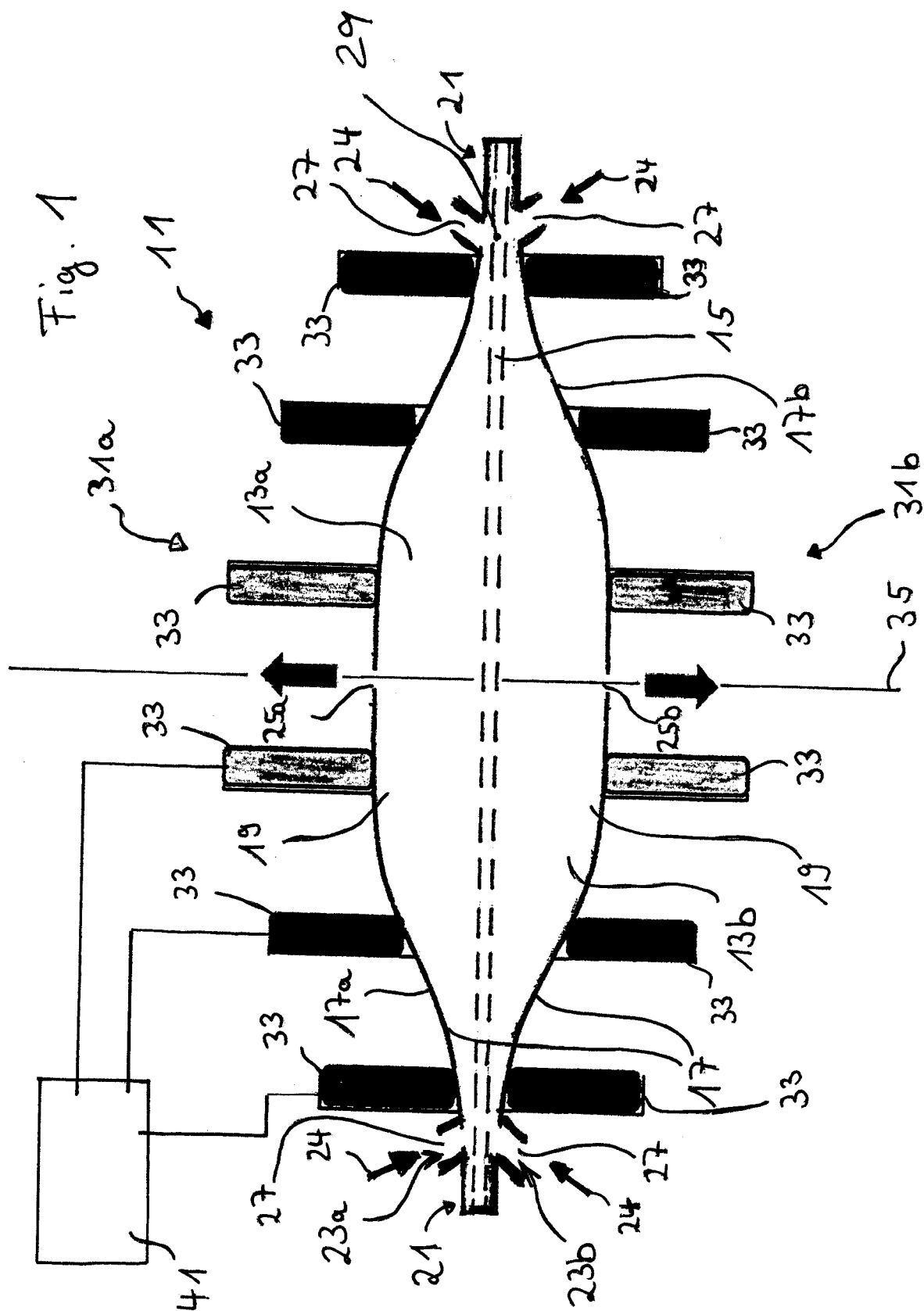


Fig. 2a

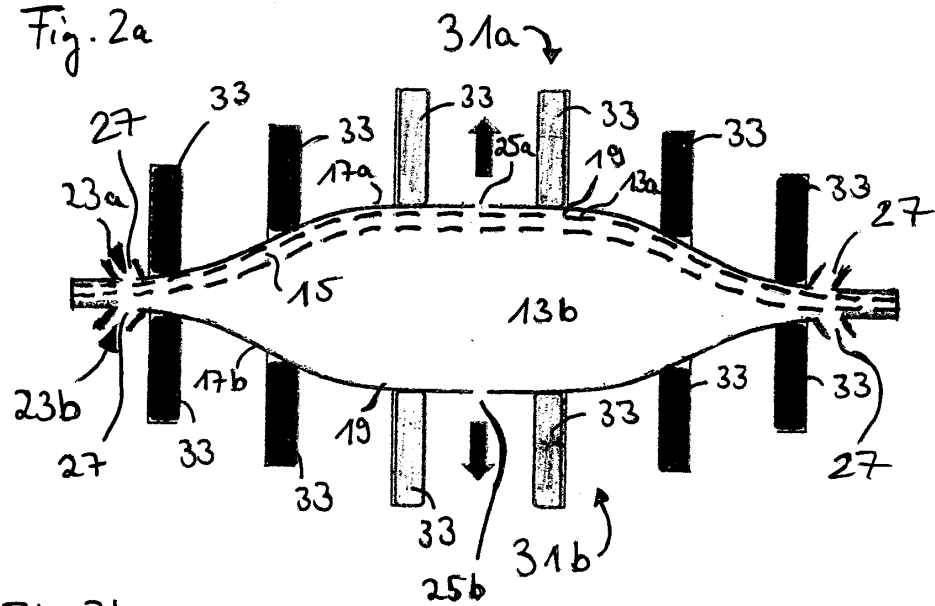


Fig. 2b

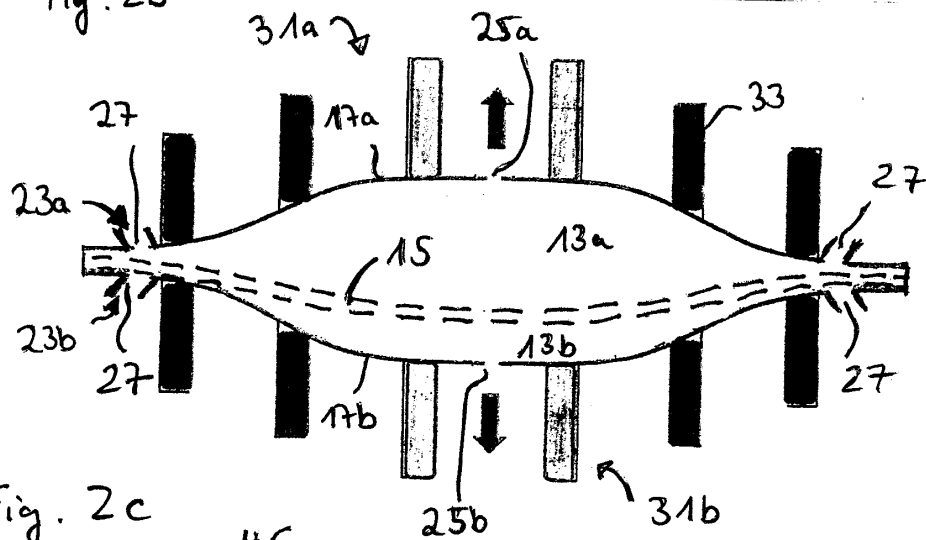
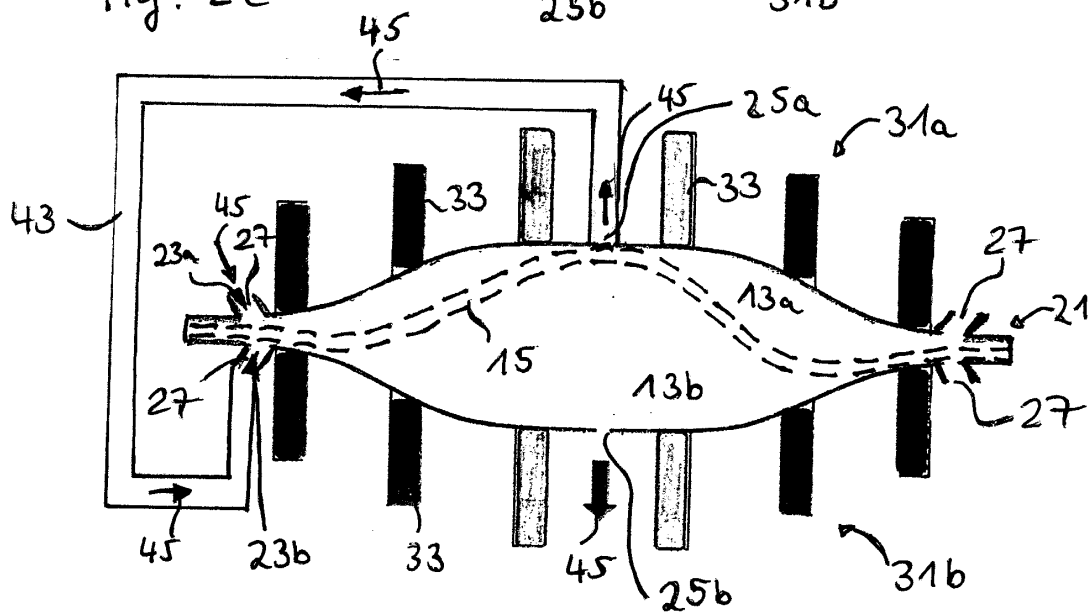


Fig. 2c



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

- EP 2685104 A1 [0004]
- GB 700368 A [0005]
- DE 863701 C [0006]
- US 2659310 A [0007]