



(10) **DE 10 2014 226 954 B3** 2016.06.30

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 226 954.7**  
(22) Anmeldetag: **23.12.2014**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.06.2016**

(51) Int Cl.: **F01D 11/00 (2006.01)**  
**F01D 9/00 (2006.01)**  
**F02C 7/28 (2006.01)**  
**F02G 5/02 (2006.01)**  
**F16K 15/04 (2006.01)**  
**F16K 17/04 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

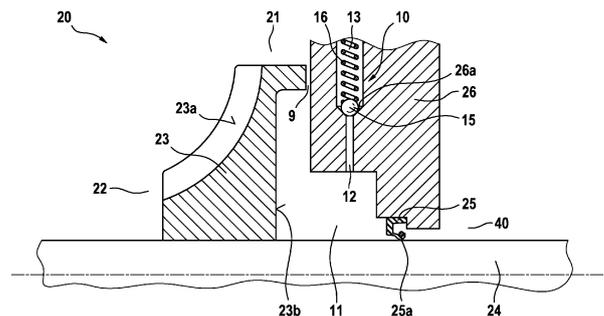
(72) Erfinder:  
**Buhl, Steffen, 74343 Sachsenheim, DE;**  
**Eisenmenger, Nadja, 70469 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>10 2012 222 010</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>103 93 433</b>	<b>T5</b>
<b>DE</b>	<b>22 53 839</b>	<b>A</b>
<b>CH</b>	<b>329 142</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 630 642</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>2 175 868</b>	<b>A</b>
<b>CN</b>	<b>103 746 493</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Expansionsmaschine mit Wellendichtring und Ventil**

(57) Zusammenfassung: Expansionsmaschine (20) mit einer Abtriebswelle (24) und einem mit der Abtriebswelle zusammenwirkenden Wellendichtring (25). Die Expansionsmaschine (20) weist einen Einströmbereich (21) und einen Ausströmbereich (22) auf. Im Betrieb wird die Expansionsmaschine (20) mit einem Arbeitsmedium durchströmt, wobei verdichtetes Arbeitsmedium in den Einströmbereich (21) und entspanntes Arbeitsmedium aus dem Ausströmbereich (22) strömt. Der Wellendichtring (25) trennt einen mit Arbeitsmedium gefüllten Ventilraum (11) von einem Umgebungsraum (40). Ein Ventil (10) ist in der Expansionsmaschine (20) angeordnet. Der Druck in dem Ventilraum (11) ist durch das Ventil (10) regelbar.



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Expansionsmaschine mit einem Wellendichtring und einem Ventil. Die Expansionsmaschine kann beispielsweise zur Abwärmenutzung einer Brennkraftmaschine verwendet werden.

#### Stand der Technik

**[0002]** Expansionsmaschinen mit einem Wellendichtring zur Abdichtung eines in der Expansionsmaschine strömenden Arbeitsmediums sind aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE 10 2012 222 010 A1. Die erfindungsgemäße Expansionsmaschine umfasst ein Getriebe mit einer Abtriebswelle und einem mit der Abtriebswelle zusammenwirkenden Wellendichtring. Die Expansionsmaschine weist einen Einströmbereich und einen Ausströmbereich auf und wird im Betrieb mit einem Arbeitsmedium durchströmt, wobei verdichtetes Arbeitsmedium in den Einströmbereich und entspanntes Arbeitsmedium aus dem Ausströmbereich strömt. Der Wellendichtring trennt einen mit Arbeitsmedium gefüllten Getrieberaum bzw. Ventilraum von einem Umgebungsraum bzw. von einer weiteren Maschine, zum Beispiel von einem Generator.

**[0003]** Aufgrund des Wirkprinzips eines Wellendichtrings ist es immer vorteilhaft, wenn auf einer Seite des Wellendichtrings ein größerer Druck herrscht als auf der gegenüberliegenden Seite. Dieser Druckunterschied presst eine Dichtlippe des Wellendichtrings auf die Abtriebswelle und dichtet so die beiden Seiten gegeneinander ab. Speziell das Austreten von Arbeitsmedium aus der Expansionsmaschine wird dadurch verhindert.

**[0004]** In vielen Betriebspunkten wird die Expansionsmaschine im Überdruck betrieben, das heißt das entspannte Arbeitsmedium weist einen Druck auf, der über dem Atmosphärendruck liegt. Üblicherweise wird die Dichtlippe dann derart zur Abtriebswelle angeordnet, dass ein Überdruck in der Expansionsmaschine zum Umgebungsraum, welcher unter Atmosphärendruck steht, zuverlässig abgedichtet wird.

**[0005]** Würde die Expansionsmaschine nun mit diesem derart angeordneten Wellendichtring im Unterdruck betrieben werden, so dass das entspannte Arbeitsmedium einen gegenüber dem Atmosphärendruck geringeren Druck hätte, dann würde das höhere Druckniveau des Umgebungsraums die Dichtlippe von der Abtriebswelle abheben, und die Dichtwirkung des Wellendichtrings ging verloren; es käme somit zu Leckage von Arbeitsmedium in den Umgebungsraum.

**[0006]** Die DE 103 93 433 T5 offenbart eine Expansionsmaschine mit Bürstendichtungen, wobei der Druckabfall an den Bürstendichtungen reguliert wird. Die DE 22 53 839 A offenbart eine Dampfturbine mit einer Labyrinthdichtung. Die US 2 175 868 A zeigt die Steuerung eines an den Wellendichtring angrenzenden Ventilraums mit einem Ventil. Die CH 329 142 A zeigt die Ausführung eines Überdruckventils. Die US 4 630 642 A zeigt die Ausführung eines Steuerventils.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Die erfindungsgemäße Expansionsmaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, mit einem Wellendichtring und einem Ventil weist demgegenüber den Vorteil auf, dass sie sowohl im Überdruck- als auch im Unterdruckbetrieb ohne Leckage betrieben werden kann und der Wellendichtring in allen Betriebszuständen eine gute Dichtwirkung erzielt. Die erfindungsgemäße Expansionsmaschine besitzt somit eine deutlich größere Spannweite an Betriebszuständen, in denen sie ohne Leckage einsetzbar ist.

**[0008]** Dazu umfasst die erfindungsgemäße Expansionsmaschine eine Abtriebswelle und einen mit der Abtriebswelle zusammenwirkenden Wellendichtring. Die Expansionsmaschine weist einen Einströmbereich und einen Ausströmbereich auf. Im Betrieb wird die Expansionsmaschine mit einem Arbeitsmedium durchströmt, wobei im Betrieb der Expansionsmaschine verdichtetes Arbeitsmedium in den Einströmbereich und entspanntes Arbeitsmedium aus dem Ausströmbereich strömt. Der Wellendichtring trennt einen mit Arbeitsmedium gefüllten Ventilraum von einem Umgebungsraum. In der Expansionsmaschine ist ein Ventil angeordnet, und der Druck in dem Ventilraum ist durch das Ventil regelbar.

**[0009]** Dadurch ist der auf Seite der Expansionsmaschine auf den Wellendichtring wirkende Druck regelbar. Somit kann sichergestellt werden, dass auf den Wellendichtring an der Seite zur Expansionsmaschine der Druck immer mindestens genauso groß ist wie an der Seite zur Umgebung bzw. zum Umgebungsraum. Die Dichtheitsfunktion des Wellendichtrings ist somit über alle Betriebszustände der Expansionsmaschine, selbst wenn diese im Unterdruck betrieben wird, sichergestellt. Es kommt zu keiner Leckage des Arbeitsmediums in den Umgebungsraum.

**[0010]** In einer vorteilhaften Weiterbildung umfasst die Expansionsmaschine ein Gehäuse, wobei das Ventil in dem Gehäuse angeordnet ist. Dadurch benötigt das Ventil kein eigenes Gehäuse, sondern kann kostengünstig und bauraumsparend im Gehäuse der Expansionsmaschine angeordnet werden.

**[0011]** In einer vorteilhaften Weiterbildung ist der Einströmbereich mit dem Ventilraum durch eine

Drossel hydraulisch verbunden. Durch die Verbindung des Ventilraums mit dem Einströmbereich kann der Ventilraum durch das Ventil auf das Druckniveau des Einströmbereichs geregelt werden, wobei dieses Druckniveau höher ist als das Druckniveau des Umgebungsraums; dadurch wird eine gute Dichtungswirkung des Wellendichtrings erzielt. Bei geöffnetem Ventil führt die Drossel dazu, dass der Ventilraum nicht auf das – in diesem Betriebszustand für den Ventilraum auch nicht benötigte – Druckniveau des Einströmbereichs angehoben wird.

**[0012]** In einer alternativen Ausführung ist der Ventilraum nicht mit dem Einströmbereich verbunden sondern mit einem Bereich, der zwischen Einström- und Ausströmbereich liegt. Dadurch stellt sich bei geschlossenem Ventil ein geringerer Druck im Ventilraum ein als der Druck des Einströmbereichs. Die Belastung des Wellendichtrings wird dadurch verringert und dementsprechend seine Lebensdauer erhöht.

**[0013]** In einer vorteilhaften Weiterbildung umfasst das Ventil einen Einlasskanal, einen Auslasskanal, und einen Schließkörper. Der Schließkörper ist gemäß vorliegenden Stand der Technik kugelförmig. Der Schließkörper wirkt mit einem Ventilsitz zusammen. Der Einlasskanal mündet in den Ventilraum bzw. führt aus diesem heraus. Der Schließkörper schließt bei Anlage an dem Ventilsitz eine hydraulische Verbindung von dem Einlasskanal zu dem Auslasskanal, und er öffnet die hydraulische Verbindung beim Abheben von dem Ventilsitz. Durch das Öffnen und Schließen der hydraulischen Verbindung wird der Druck im Ventilraum auf einfache Art geregelt.

**[0014]** Vorteilhafterweise ist der Auslasskanal zumindest mittelbar mit dem Ausströmbereich hydraulisch verbunden. Dadurch wird der Druck im Ventilraum bei geöffnetem Ventil auf das Druckniveau des Ausströmbereichs geregelt, welches in der Regel das niedrigste Druckniveau innerhalb der Expansionsmaschine ist. Dadurch wird die Belastung des Wellendichtrings bei geöffnetem Ventil minimiert.

**[0015]** In einer vorteilhaften Weiterbildung der Expansionsmaschine umfasst das Ventil einen Regelungsraum und einen in den Regelungsraum mündenden Regelungskanal. Dadurch kann das Ventil pneumatisch oder hydraulisch geregelt oder sogar gesteuert werden.

**[0016]** In einer vorteilhaften Weiterbildung ist der Regelungskanal mit dem Umgebungsraum oder mit der Atmosphäre hydraulisch verbunden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn auf der der Expansionsmaschine abgewandten Seite des Wellendichtrings der Druck des Umgebungsraums oder der Atmosphärendruck anliegt, weil dann genau dieser Druck auch als Regelgröße für das Ventil verwendet werden kann. Weiterhin ist die Regelung mit At-

mosphärendruck oder mit dem Druck des Umgebungsraums sehr kostengünstig, da ein Volumen, das ein entsprechendes Druckniveau aufweist, ohnehin in der Expansionsmaschine bzw. deren Anbauteilen oder eben in der Umgebung vorhanden ist.

**[0017]** Erfindungsgemäß umfasst das Ventil eine Membran, und der Regelungsraum grenzt an die Membran. Dadurch kann der Regelungsraum mediendicht, insbesondere zum Einlasskanal und zum Auslasskanal, abgetrennt werden.

**[0018]** Vorzugsweise besteht die Membran aus einem Metall, insbesondere aus einem dünnen Metall, oder aus einem Elastomer. Dadurch ist die Membran vergleichsweise gut deformierbar und die hydraulische Verbindung von Einlasskanal zu Auslasskanal weist bei geöffnetem Ventil dementsprechend auch einen ausreichend großen Querschnitt auf.

**[0019]** In einer vorteilhaften Ausführung wirkt die Membran auf ihrer dem Regelungsraum gegenüberliegenden Seite zumindest mittelbar mit dem Schließkörper zusammen. Dadurch können die Geometrien und Materialien von Membran und Schließkörper bezüglich ihrer Funktionen bestmöglich ausgewählt werden: die Membran vergleichsweise elastisch und der Schließkörper verschleißfest und vergleichsweise steif.

**[0020]** In einer Weiterführung wirkt die Membran unter Zwischenlage eines Hilfskolbens mit dem Schließkörper zusammen, wobei der Hilfskolben vorzugsweise in einer Führungshülse längsbeweglich geführt ist. Der Hilfskolben hat dadurch zum einen die Funktion, die Längsbewegung beim Öffnen und Schließen des Ventils möglichst reibungsarm auszuführen, beispielsweise im Zusammenwirken mit der Führungshülse. Zum anderen kann die Kraftübertragung zwischen Hilfskolben und Schließkörper so gestaltet werden, dass sich der Schließkörper beim Schließen des Ventils sehr gut in den Ventilsitz zentriert, beispielsweise durch konvexe Ausführungen der Kontaktflächen von Hilfskolben und Schließkörper.

**[0021]** In einer anderen vorteilhaften Ausführung der Expansionsmaschine ist eine Ringkammer den Einlasskanal zumindest teilweise radial umgebend ausgebildet. Der Auslasskanal mündet in die Ringkammer, wobei der Ventilsitz zwischen dem Einlasskanal und der Ringkammer angeordnet ist. Dadurch wirken die Drücke vom Auslasskanal bzw. der Ringkammer und vom Einlasskanal in gleicher Richtung auf den Schließkörper. Steht der Auslasskanal unter geringerem Druck als Atmosphärendruck, dann ist für diesen Betriebszustand der Schließkörper mit einer vergleichsweise geringen resultierenden hydraulischen Kraft durch das Arbeitsmedium belastet. Der Schließkörper wird daher gegen den Ventilsitz gedrückt. Da der Ventilsitz zwischen der Ringkammer und dem

Einlasskanal ausgebildet ist, kann über die Breite des Ventilsitzes so auch eine Drossellänge für den Betriebszustand des geöffneten Ventils eingestellt werden.

**[0022]** Vorteilhafterweise ist der Schließkörper eine Membran, vorzugsweise aus einem Elastomer oder einem dünnen Metall. Die Membran kann einfach, beispielsweise scheibenförmig, aufgebaut sein und ist damit kostengünstig einsetzbar.

**[0023]** In einer vorteilhaften Weiterbildung ist auch hier an der dem Ventilsitz gegenüberliegenden Seite der Membran ein Regelungsraum ausgebildet, der in einen Regelungskanal mündet. Der Regelungsraum kann somit über den Regelungskanal an ein Volumen angeschlossen werden, das einen Regelungsdruck aufweist, beispielsweise an die Atmosphäre oder den Umgebungsraum. Der Schließkörper bzw. die Membran ist dann von einer Seite mit diesem Regelungsdruck beaufschlagt und von der anderen Seite teilweise mit dem Druck der Ringkammer bzw. des Ausströmbereichs und teilweise mit dem Druck des Einlasskanals bzw. des Ventilraums. Durch die Flächenverhältnisse der einzelnen Flächen, auf welche die unterschiedlichen Drücke wirken, kann so das Öffnen und Schließen des Ventils geregelt werden, zum Beispiel folgendermaßen: Fällt der Druck in der Ringkammer unter den Druck des Regelungsraums, wird die Membran in den Ventilsitz gedrückt und die Druckhaltefunktion für den Ventilraum somit aktiviert.

**[0024]** Vorteilhafterweise ist der Regelungsraum zwischen der Membran und einem Deckel ausgebildet. Der Deckel verspannt vorzugsweise auch die Membran an ihrem Umfang, beispielweise indem er die Membran gegen das Gehäuse des Ventils bzw. der Expansionsmaschine drückt. Dadurch wird die Membran am Umfang innerhalb des Ventils fixiert. Das Öffnen und Schließen des Ventils erfolgt somit durch eine Bewegung der nicht verspannten Flächen der Membran.

**[0025]** Vorzugsweise ist der Regelungskanal in dem Deckel ausgebildet, wobei der Regelungskanal an seinem dem Regelungsraum gegenüberliegenden Ende vorzugsweise mit dem Umgebungsraum oder mit der Atmosphäre hydraulisch verbunden ist. Dadurch kann der Regelungskanal durch eine einfache Bohrung im Deckel kostengünstig hergestellt werden.

**[0026]** Speziell für den Fall, dass der Regelungsraum mit dem Umgebungsraum verbunden ist, kann der Regelungskanal alternativ auch bauraumsparend durch ein gemeinsames Gehäuse von Expansionsmaschine bzw. Ventil und Umgebungsraum geführt sein.

**[0027]** In bevorzugten Ausführungen ist die erfindungsgemäße Expansionsmaschine in einem Ab-

wärmerückgewinnungssystem insbesondere einer Brennkraftmaschine angeordnet. Das Abwärmerückgewinnungssystem umfasst in Flussrichtung des Arbeitsmediums eine Pumpe, einen Verdampfer, die Expansionsmaschine und einen Kondensator. In einer vorteilhaften Ausführung ist der Auslasskanal hydraulisch zumindest mittelbar mit dem Kondensator verbunden. Der Ausströmbereich der Expansionsmaschine ist hydraulisch üblicherweise mit dem Kondensator verbunden und weist somit den gleichen Druck auf wie der Kondensator. Vorteilhafterweise wird der Auslasskanal dann an dieses ohnehin vorhandene Druckniveau angeschlossen. Das Abwärmerückgewinnungssystem wird vorzugsweise nicht bei einem einzigen Betriebspunkt, sondern bei sehr unterschiedlichen Betriebspunkten betrieben, da auch die Brennkraftmaschine bei unterschiedlichen Betriebspunkten betrieben wird. Dadurch ist es für den Gesamtwirkungsgrad des Abwärmerückgewinnungssystems sehr günstig, wenn die Expansionsmaschine sowohl im Überdruck- als auch im Unterdruckbetrieb laufen kann. Die erfindungsgemäße Expansionsmaschine ist demzufolge hierfür besonders geeignet.

#### Zeichnungen

**[0028]** Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Expansionsmaschine innerhalb eines Abwärmerückgewinnungssystems, wobei nur die wesentlichen Bereiche dargestellt sind.

**[0029]** Fig. 2 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel der Expansionsmaschine, wobei nur die wesentlichen Bereiche dargestellt sind.

**[0030]** Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Ventils der Expansionsmaschine, wobei Fig. 3a das Ventil in Schließstellung und Fig. 3b das Ventil in Öffnungsstellung zeigt.

**[0031]** Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des Ventils, wobei nur die wesentlichen Bereiche dargestellt sind.

#### Beschreibung

**[0032]** Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Expansionsmaschine **20** innerhalb eines Abwärmerückgewinnungssystems **1**, wobei nur die wesentlichen Bereiche dargestellt sind. In dem Abwärmerückgewinnungssystem **1** sind in Flussrichtung eines Arbeitsmediums eine Pumpe **30**, ein Verdampfer **31**, eine Expansionsmaschine **20** und ein Kondensator **32** angeordnet. Der Verdampfer **31** ist auch an eine nicht dargestellte Abgasleitung einer nicht dargestellten Brennkraftmaschine angeschlossen.

**[0033]** Flüssiges Arbeitsmedium wird von der Pumpe **30** verdichtet und zum Verdampfer **31** gefördert,

wo es durch die Wärmeenergie des Abgases der Brennkraftmaschine verdampft wird. Anschließend wird das verdampfte Arbeitsmedium der Expansionsmaschine **20** zugeführt, wo es unter Abgabe von mechanischer Energie entspannt wird. Anschließend wird das Arbeitsmedium im Kondensator **32** wieder verflüssigt.

**[0034]** Die Expansionsmaschine **20** kann dabei beispielsweise eine Turbine, ein Kolbenexpander oder ein Scrollexpander sein. Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** ist die Expansionsmaschine **20** eine Turbine mit einem Laufrad **23** und einer Abtriebswelle **24**.

**[0035]** Die Expansionsmaschine **20** umfasst weiterhin erfindungsgemäß einen Einströmbereich **21**, einen Ausströmbereich **22**, einen Wellendichtring **25**, ein Ventil **10**, einen Ventilraum **11** und eine Trennwand **27**. Das verdichtete Arbeitsmedium durchströmt den Einströmbereich **21** und den Ausströmbereich **22** und wird dabei entspannt. Die dabei abgegebene mechanische Energie wird durch die Abtriebswelle **24** an einen oder mehrere nicht dargestellte Verwerter übertragen, beispielsweise einen Turbolader, ein Getriebe oder einen Generator.

**[0036]** Der Einströmbereich **21** ist über eine Drossel **9** mit dem Ventilraum **11** hydraulisch zumindest mittelbar verbunden. Das Ventil **10** öffnet und schließt eine hydraulische Verbindung von dem Ventilraum **11** zu dem Ausströmbereich **22** bzw. zu dem Kondensator **32**. Der Ventilraum **11** ist durch die Trennwand **27** zu dem Ausströmbereich und durch den Wellendichtring **25** zu einem Umgebungsraum **40** abgedichtet. Der Umgebungsraum **40** kann dabei beispielsweise ein Getrieberaum oder aber auch ein Atmosphärenraum sein.

**[0037]** Die Trennwand **27** ist in der **Fig. 1** zwischen dem Ausströmbereich **22** und dem Ventilraum **11** dargestellt, muss jedoch nicht zwangsläufig so angeordnet sein. Sie soll nur verdeutlichen, dass es in den Ventilraum **11** lediglich einen hydraulischen Zufluss über die Drossel **9** und einen hydraulischen Abfluss über das Ventil **10** gibt und dass der Ventilraum **11** im Übrigen von dem Einströmbereich **21** und dem Ausströmbereich **22** getrennt ist. Weiterhin hängt die Anordnung des Ventilraums **11** davon ab, auf welcher Seite die Abtriebswelle **24** aus der Expansionsmaschine **20** herausgeführt wird, da üblicherweise an dieser Stelle der Wellendichtring **25** angeordnet ist und dementsprechend auch benachbart der Ventilraum **11** angeordnet werden muss.

**[0038]** In einer alternative Ausführungsform kann beispielsweise das Ventil **10** auch in der Trennwand **27** angeordnet sein; oder die Trennwand **27** kann zwischen Einströmbereich **21** und Ventilraum **11** angeordnet sein und die Drossel **9** dann in der Trennwand **27** ausgebildet sein. Entscheidend für die diversen

Ausführungsformen sind dabei auch die Drücke in Einströmbereich **21**, Ausströmbereich **22**, Ventilraum **11** und Umgebungsraum **40**; darauf wird später jedoch noch genauer eingegangen.

**[0039]** **Fig. 2** zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel der Expansionsmaschine **20**, wobei nur die wesentlichen Bereiche dargestellt sind. Die Expansionsmaschine **20** ist als Radialturbine ausgeführt und umfasst ein Gehäuse **26**, in dem das Ventil **10** angeordnet ist. Vorteilhafterweise sind auch das Laufrad **23**, die mit ihm fest verbundene Abtriebswelle **24** und der Wellendichtring **25** in dem Gehäuse **26** angeordnet. Weiterhin sind in dem Gehäuse **26** der Einströmbereich **21**, der Ausströmbereich **22** und der Ventilraum **11** ausgebildet. Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** kann die in der **Fig. 1** schematisch dargestellte Trennwand **27** somit aus einem Verbund von Laufrad **23** und Abtriebswelle **24** gesehen werden.

**[0040]** Der Ventilraum **11** ist vorteilhafterweise an einer Rückseite **23b** des Laufrads **23** ausgebildet, also auf der dem eigentlichen Strömungspfad des Arbeitsmediums durch das Laufrad **23** abgewandten Seite. Dadurch kann ein im Ventilraum **11** gegenüber dem Ausströmbereich **22** herrschender Überdruck einen zumindest teilweisen Ausgleich der auf das Laufrad **23** wirkenden Drücke bzw. Kräfte in axialer Richtung bewirken. Der Wellendichtring **25** dichtet den Ventilraum **11** zu dem Umgebungsraum **40** ab, indem eine auf dem Wellendichtring **25** angeordnete Dichtlippe **25a** mit der Abtriebswelle **24** zusammenwirkt.

**[0041]** Der Übergang vom Einströmbereich **21** zum Ausströmbereich **22** ist keine klar zu definierende Grenze. Das Arbeitsmedium wird beim Durchströmen des Laufrads **23** auf dessen Vorderseite **23a** entspannt, wobei durch die Entspannung ein Druckgefälle über dem Laufrad **23** bzw. über der Vorderseite **23a** entsteht, so dass hier der Einströmbereich **21** nicht eindeutig vom Ausströmbereich **22** zu trennen ist, sondern sich eine Art Mischbereich ausbildet, in welchem der Druck von einem Einlassdruck vor der Expansionsmaschine **20** zu einem Auslassdruck nach der Expansionsmaschine **20** fällt.

**[0042]** Der Ventilraum **11** ist über die Drossel **9** hydraulisch mit dem Einströmbereich **21** verbunden. In alternativen Ausführungsformen kann der Ventilraum **11** jedoch auch mit dem Mischbereich verbunden sein. Es ist jedoch darauf zu achten, dass an der Drossel **9** der dem Ventilraum **11** gegenüberliegende Bereich – unabhängig davon ob Einströmbereich **21** oder Mischbereich – im Betrieb der Expansionsmaschine **20** einen größeren Druck aufweist als der Umgebungsraum **40**.

**[0043]** Das Ventil **10** umfasst einen Einlasskanal **12**, einen Auslasskanal **13**, einen kugelförmigen Schließkörper **15** und eine aus dem Stand der Technik be-

kannte Schließfeder **16**. Der Einlasskanal **12** mündet in den Ventilraum **11**. Der Auslasskanal **13** mündet vorteilhafterweise in einen Bereich, der einen geringeren Druck aufweist als der Ventilraum **11**, zum Beispiel in den Ausströmbereich **22**. Der Schließkörper **15** wirkt mit einem an dem Gehäuse **26** ausgebildeten Ventilsitz **26a** zusammen und öffnet und schließt dadurch eine hydraulische Verbindung von dem Einlasskanal **12** zu dem Auslasskanal **13**. Die Schließfeder **16** drückt den Schließkörper **15** gegen den Ventilsitz **26a**. Durch die Schließfeder **16** kann somit ein Mindestdruck in dem Ventilraum **11** eingestellt werden.

**[0044]** Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Ventils **10**, wobei Fig. 3a das Ventil **10** in Schließstellung und Fig. 3b das Ventil **10** in Öffnungsstellung zeigt. Das Ventil **10** ist in dem Gehäuse **26** der Expansionsmaschine **20** angeordnet. Alternativ kann das Ventil **10** jedoch auch in einem beliebigen anderen Gehäuse angeordnet sein.

**[0045]** Der Einlasskanal **12** ist in einer Einlassleitung **12a** und der Auslasskanal **13** in einer Auslassleitung **13a** ausgebildet. Die Einlassleitung **12a** und die Auslassleitung **13a** sind in das Gehäuse **26** eingepresst oder eingeschraubt. Sowohl der Einlasskanal **12** als auch der Auslasskanal **13** münden in einen im Gehäuse **26** ausgebildeten Innenraum **50**. Im Innenraum **50** ist zwischen Einlassleitung **12a** und Auslassleitung **13a** am Gehäuse **26** der Ventilsitz **26a** angeordnet, mit dem der im Innenraum **50** angeordnete Schließkörper **15** zusammenwirkt. Der Schließkörper **15** wird in Schließstellung des Ventils **10** von einer Membran **51**, welche in diesem Ausführungsbeispiel wie eine Blattfeder wirkt, unter Zwischenlage eines Hilfskolbens **52** gegen den Ventilsitz **26a** gedrückt (Fig. 3a). In Öffnungsstellung des Ventils **10** ist der Schließkörper **15** von dem Ventilsitz **26a** abgehoben und öffnet so die hydraulische Verbindung von dem Einlasskanal **12** zu dem Auslasskanal **13** (Fig. 3b).

**[0046]** Der Hilfskolben **52** ist von einer fest mit dem Gehäuse **26** verbundenen Führungshülse **53** längsbeweglich, also in Öffnungs- und Schließrichtung des Schließkörpers **15**, im Gehäuse **26** geführt. Die Membran **51** ist mit einem Klemmstück **54** an ihrem Rande fest mit der Führungshülse **53** und somit auch mittelbar mit dem Gehäuse **26** verbunden. Ein Deckel **55** ist mit dem Gehäuse **26** verschraubt und drückt dadurch das Klemmstück **54** unter Zwischenlage des Randes der Membran **51** gegen die Führungshülse **53**; die Membran **51** ist somit an ihrem Umfang mit dem Gehäuse **26** gespannt. Der Kontakt zwischen Führungshülse **53** und Schließkörper **15** kann beispielsweise konvex gestaltet sein, um das selbständige Zentrieren des Schließkörpers **15** im Ventilsitz **26a** zu optimieren.

**[0047]** Zwischen Membran **51**, Klemmstück **54** und Deckel **55** ist ein Regelungsraum **60** ausgebildet. Die Membran **51** dichtet dabei den Regelungsraum **60** gegen den Innenraum **50** ab. In den Regelungsraum **60** mündet ein Regelungskanal **14**. Der Regelungskanal **14** kann, wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 3, eine Bohrung im Deckel **55** sein. Der Regelungskanal **14** kann jedoch beispielsweise auch in einer Regelungsleitung ausgebildet sein, welche in den Deckel **55** oder in das Gehäuse **26** eingeschraubt oder eingepresst ist.

**[0048]** In alternativen Ausführungsformen können die Führungshülse **53** und/oder das Klemmstück **54** auch weggelassen werden. Die entsprechenden Funktionen – Verspannen der Membran **51** und Führung des Hilfskolbens **52** – werden dann beispielsweise in die beiden Bauteile Gehäuse **26** und Deckel **55** integriert. Weiterhin ist es auch möglich den Hilfskolben **52** wegzulassen und die Membran **51** direkt auf den Schließkörper **15** wirken zu lassen.

**[0049]** Vorzugsweise sind der Regelungskanal **14** mit der Atmosphäre, der Einlasskanal **12** mit dem Ventilraum **11** und der Auslasskanal **13** mit dem Ausströmbereich **22** hydraulisch verbunden.

**[0050]** Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des Ventils **10**, wobei nur die wesentlichen Bereiche dargestellt sind. Das Ventil **10** ist in dem Gehäuse **26** der Expansionsmaschine **20** angeordnet. Alternativ kann das Ventil **10** jedoch auch in einem beliebigen anderen Gehäuse angeordnet sein.

**[0051]** In dem Gehäuse **26** sind der Einlasskanal **12** und der Auslasskanal **13** angeordnet. Eine Membran **51'** ist zwischen dem Gehäuse **26** und dem Deckel **55** eingespannt, wobei in diesem Ausführungsbeispiel die Membran **51'** die Funktion des Schließkörpers hat. Der Deckel **55** ist mit dem Gehäuse **26** verschraubt. Im Deckel **55** ist der Regelungskanal **14** ausgebildet. Zwischen dem Deckel **55** und der Membran **51'** ist der Regelungsraum **60** ausgebildet, in welchen der Regelungskanal **14** mündet.

**[0052]** An der dem Regelungsraum **60** gegenüberliegenden Seite dichtet die Membran **51'** in Schließstellung des Ventils **10** den Einlasskanal **12** ab, indem sie mit dem am Gehäuse **26** ausgebildeten Ventilsitz **26a** zusammenwirkt. Den Einlasskanal **12** zumindest teilweise radial umgebend ist im Gehäuse **26** eine Ringkammer **61** ausgebildet, in die der Auslasskanal **13** mündet. In Schließstellung des Ventils **10** ist die hydraulische Verbindung von dem Einlasskanal **12** zu der Ringkammer **61** durch Anlage der Membran **51'** an den Ventilsitz **26a** geschlossen. In Öffnungsstellung des Ventils **10** ist die Membran **51'** von dem Ventilsitz **26a** abgehoben und damit die hydraulische Verbindung von dem Einlasskanal **12** zu der Ringkammer **61** geöffnet.

**[0053]** Die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Expansionsmaschine **20** ist wie folgt:

Der Wellendichtring **25** dichtet den mit Arbeitsmedium gefüllten Ventilraum **11** zum Umgebungsraum **40** ab. Der Umgebungsraum **40** kann dabei beispielsweise mit Luft oder mit Getriebeöl gefüllt sein. Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** ist die Dichtlippe **25a** des Wellendichtrings **25** in Richtung Ventilraum **11**, also zur Expansionsmaschine hin gekrümmt. Dies ist eine für eine Expansionsmaschine **20** typische Anordnung der Dichtlippe **25a**. Das heißt im Ventilraum **11** muss ein größerer Druck herrschen als im Umgebungsraum **40**, um die Dichtlippe **25a** auf die Abtriebswelle **24** zu drücken und damit eine Dichtungswirkung zu erzielen. Das Ventil **10** ist vorzugsweise in Expansionsmaschinen **20** angeordnet, welche zumindest zeitweise im Unterdruck betrieben werden; das heißt der Ausströmbereich **22** dieser Expansionsmaschinen **20** weist zumindest zeitweise einen geringeren Druck als Atmosphärendruck auf.

**[0054]** Üblicherweise liegt das Druckniveau des Ventilraums **11** auf dem Niederdruckniveau der Expansionsmaschine **20**, also auf dem Druckniveau des Ausströmbereichs **22**. Ist der Ventilraum **11** also hydraulisch mit dem Ausströmbereich **22** verbunden bzw. verbindbar, so muss er durch eine Vorrichtung auf einem Druckniveau gehalten werden, welches über dem des Umgebungsraums **40** liegt, um die Dichtwirkung durch den Wellendichtring **25** zu erhalten. Und damit muss der Ventilraum **11** auch über dem Druckniveau des Ausströmbereichs **22** gehalten werden, falls dieses unter das Druckniveau des Umgebungsraums **40** fällt.

**[0055]** Diese Aufgabe erfüllt das Ventil **10**: Bei geöffnetem Ventil **10** ist die hydraulische Verbindung vom Ventilraum **11** zum Ausströmbereich **22** geöffnet, der Ventilraum **11** wird somit das Druckniveau des Ausströmbereichs **22** annehmen. Solange der Ausströmbereich **22** einen größeren oder gleich hohen Druck besitzt wie der Umgebungsraum **40**, wird dadurch also noch eine Dichtungswirkung des Wellendichtrings **25** erzielt. Fällt der Druck im Ausströmbereich **22** nun unter den Druck des Umgebungsraums **40**, beispielsweise weil die Expansionsmaschine **20** im Unterdruck betrieben wird, so wird das Ventil **10** geschlossen und damit die hydraulische Verbindung vom Ventilraum **11** zum Ausströmbereich **22**.

**[0056]** Der Ventilraum **11** ist über die Drossel **9** hydraulisch ständig mit einem Bereich verbunden, dessen Druckniveau im Betrieb der Expansionsmaschine **20** über dem Druckniveau des Umgebungsraums **40** liegt, zum Beispiel mit dem Einströmbereich **21**, wie in den Ausführungsbeispielen der **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt. Bei geschlossenem Ventil **10** steigt der Druck im Ventilraum **11** somit auf das Druckniveau dieses Bereichs an. Wird das Ventil **10** geöffnet, so entsteht an der Drossel **9** ein Druckgefälle.

**[0057]** Die Regelung der Öffnungs- und Schließbewegung des Ventils **10**, damit im Betrieb der Expansionsmaschine **20** auch bei minimalem Druck des Auslasskanals **13** bzw. des Ausströmbereichs **22** bzw. des Kondensators **32** noch ein Überdruck im Ventilraum **11** gegenüber dem Umgebungsraum **40** vorhanden ist, erfolgt in den unterschiedlichen Ausführungsformen auf verschiedene Weise:

- In der Ausführungsform der **Fig. 2** erfolgt die Regelung durch Einstellung der Schließfeder **16** im Zusammenhang mit dem Sitzdurchmesser des Ventilsitzes **26a**. Zum Beispiel: Wird der Kondensator **32** mit  $p_K = 0,5$  bar absolut betrieben und weist der Umgebungsraum **40** Atmosphärendruck, also  $p_U = 1,0$  bar auf, dann muss die Schließfeder **16** eine Druckhaltefunktion von  $p_V = 0,7$  bar besitzen (hier müssen die hydraulischen Kräfte aufgrund des Sitzdurchmessers des Ventilsitzes **26a** berücksichtigt werden), damit an der Wellendichtung **25** eine Druckdifferenz  $\Delta p = 0,2$  bar zur Abdichtung des Ventilraums **11** gegen den Umgebungsraum **40** herrscht. ( $\Delta p = p_K + p_V - p_U$ )

- In der Ausführungsform der **Fig. 3** erfolgt die Regelung durch die Durchmesser des Hilfskolbens **52** und des Ventilsitzes **26a**. In Varianten, in denen der Hilfskolben **52** weggelassen wird, wird dementsprechend der relevante Durchmesser der Membran **51**, an dem der Druck des Innenraums **50** anliegt, zur Regelung herangezogen.

- In der Ausführungsform der **Fig. 4** erfolgt die Regelung durch die Durchmesser von Ventilsitz **26a**, Ringkammer **61** und Regelungsraum **60**. Dabei sind vorzugsweise die Durchmesser von Ringkammer **61** und Regelungsraum **60** in etwa gleich groß. Der Durchmesser des Regelungsraums **60** muss jedoch größer als der Durchmesser des Ventilsitzes **26a** sein.

**[0058]** Die Steifigkeit der Membran **51**, **51'** hat selbstverständlich eine Auswirkung auf das Öffnungs- und Schließverhalten des Ventils **10** in den Ausführungsformen der **Fig. 3** und **Fig. 4**. Idealerweise ist die Membran **51**, **51'** weich ausgelegt, beispielsweise als Elastomer-Membran oder auch als dünne metallische Membran, um das Öffnungs- und Schließverhalten des Ventils **10** einfach und robust über die oben genannten Durchmesser auslegen zu können.

### Patentansprüche

1. Expansionsmaschine (**20**) mit einer Abtriebswelle (**24**) und einem mit der Abtriebswelle zusammenwirkenden Wellendichtring (**25**), wobei die Expansionsmaschine (**20**) einen Einströmbereich (**21**) und einen Ausströmbereich (**22**) aufweist und im Betrieb mit einem Arbeitsmedium durchströmt wird, wobei im Betrieb verdichtetes Arbeitsmedium in den Einströmbereich (**21**) und entspanntes Arbeitsmedium aus dem Ausströmbereich (**22**) strömt, und wobei der Wellen-

dichtring (25) einen mit Arbeitsmedium gefüllten Ventilraum (11) von einem Umgebungsraum (40) trennt, wobei ein Ventil (10) in der Expansionsmaschine (20) angeordnet ist und der Druck in dem Ventilraum (11) durch das Ventil (10) regelbar ist, wobei das Ventil (10) einen Einlasskanal (12), einen Auslasskanal (13), und einen Schließkörper (15) umfasst, wobei der Schließkörper (15) mit einem Ventilsitz (26a) zusammenwirkt, wobei der Einlasskanal (12) in den Ventilraum (11) mündet, und wobei der Schließkörper (15) bei Anlage an dem Ventilsitz (26a) eine hydraulische Verbindung von dem Einlasskanal (12) zu dem Auslasskanal (13) schließt und beim Abheben von dem Ventilsitz (26a) die hydraulische Verbindung öffnet, wobei das Ventil (10) einen Regelungsraum (60) und einen in den Regelungsraum (60) mündenden Regelungskanal (14) umfasst, wobei das Ventil (10) eine Membran (51) umfasst und wobei der Regelungsraum (60) an die Membran (51) grenzt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Membran (51) auf ihrer dem Regelungsraum (60) gegenüberliegenden Seite unter Zwischenlage eines Hilfskolbens (52) mit dem Schließkörper (15) zusammenwirkt, wobei der Hilfskolben (52) in einer Führungshülse (53) längsbeweglich geführt ist.

2. Expansionsmaschine (20) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Expansionsmaschine (20) ein Gehäuse (26) umfasst und das Ventil (10) in dem Gehäuse (26) angeordnet ist.

3. Expansionsmaschine (20) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einströmbereich (21) mit dem Ventilraum (11) durch eine Drossel (9) hydraulisch verbunden ist.

4. Expansionsmaschine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Auslasskanal (13) zumindest mittelbar mit dem Ausströmbereich (22) hydraulisch verbunden ist.

5. Expansionsmaschine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regelungskanal (14) mit dem Umgebungsraum (40) oder mit der Atmosphäre hydraulisch verbunden ist.

6. Abwärmerückgewinnungssystem (1) mit einer Expansionsmaschine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, einem Kondensator (32), einer Pumpe (30) und einem Verdampfer (31).

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

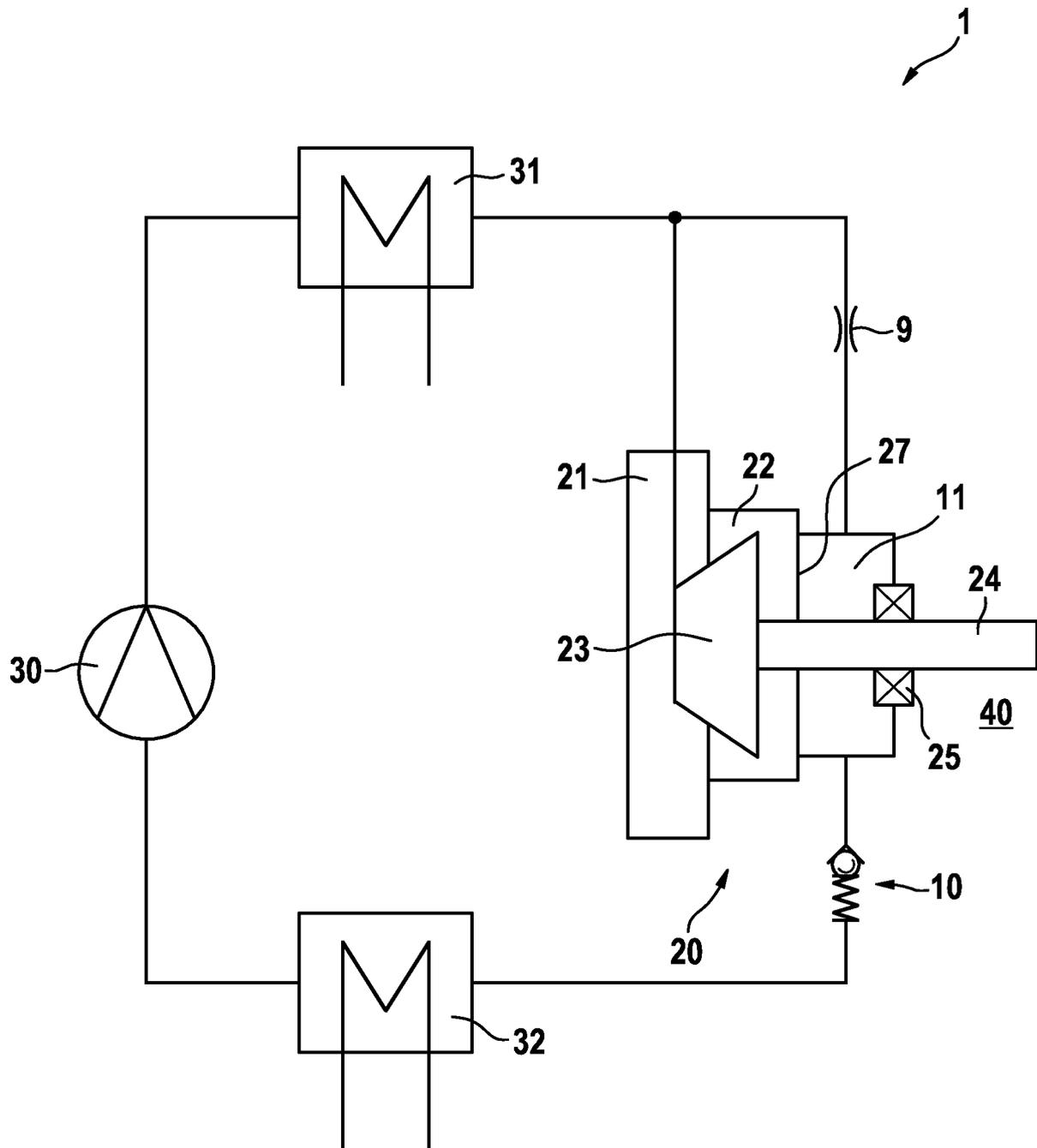


FIG. 1

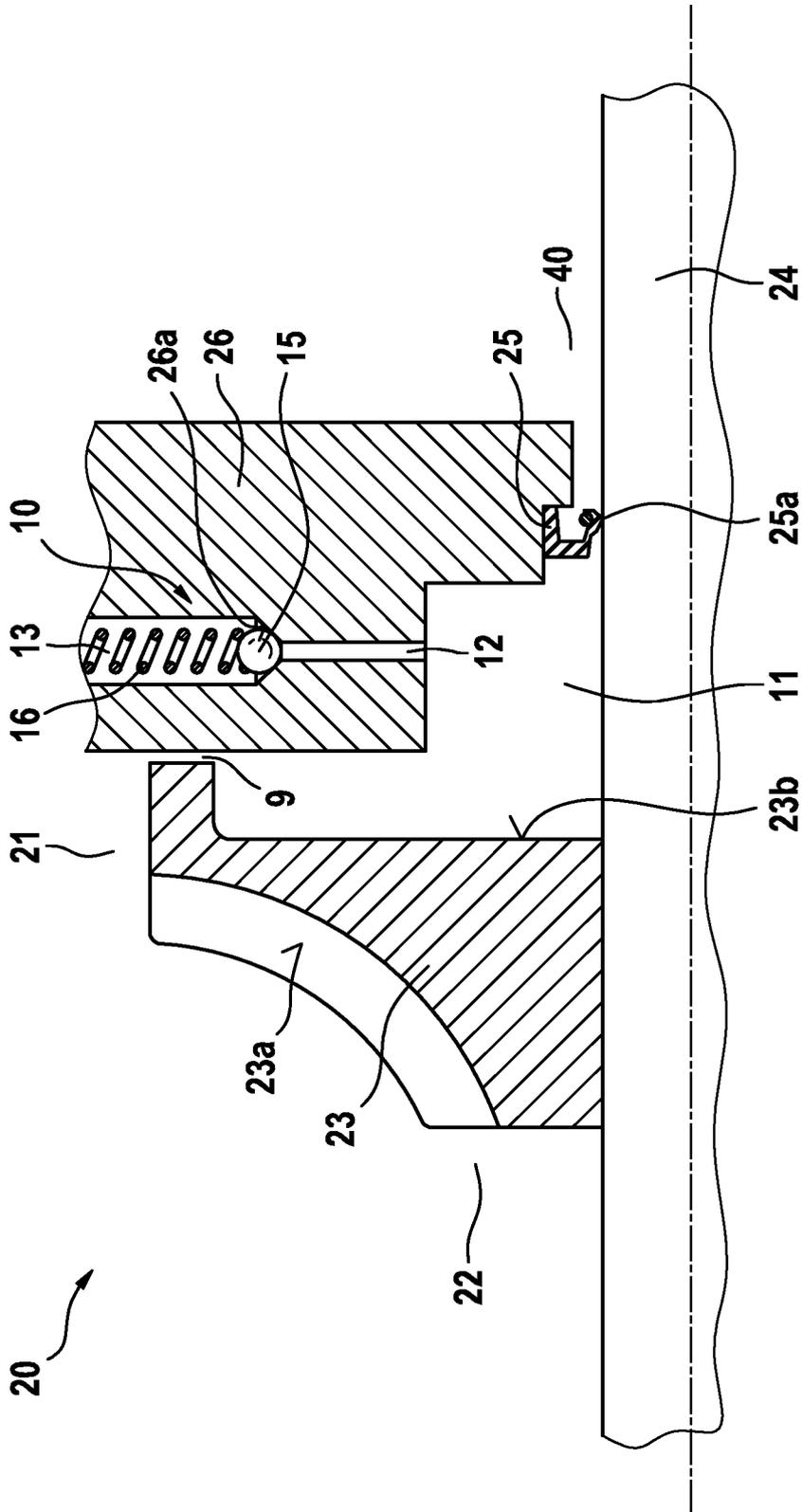


FIG. 2

FIG. 3a

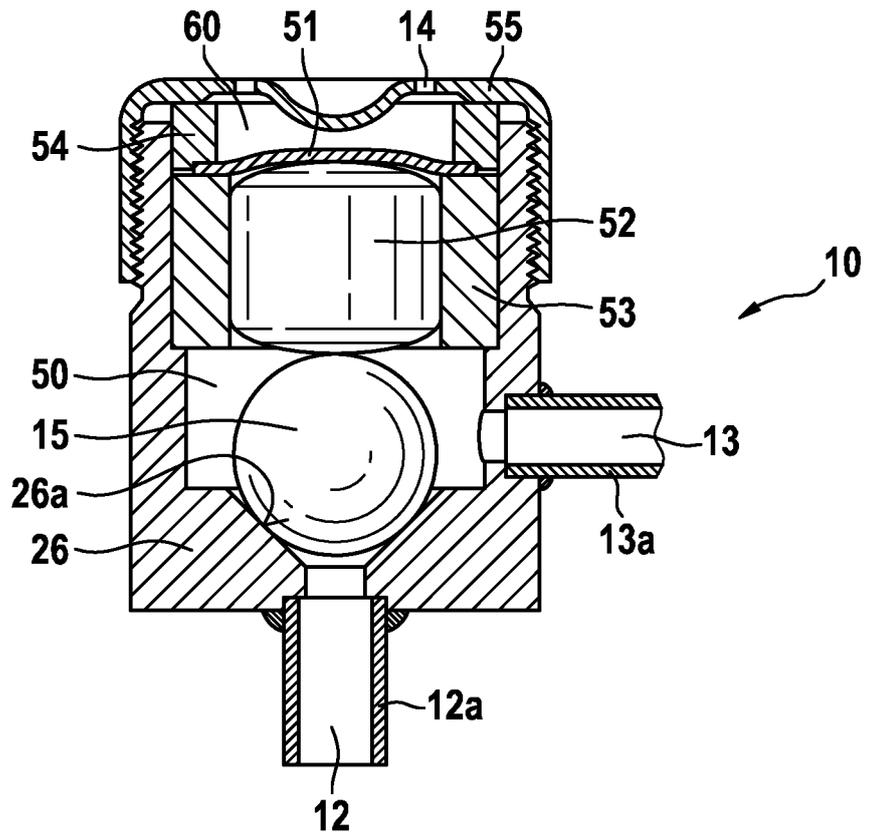
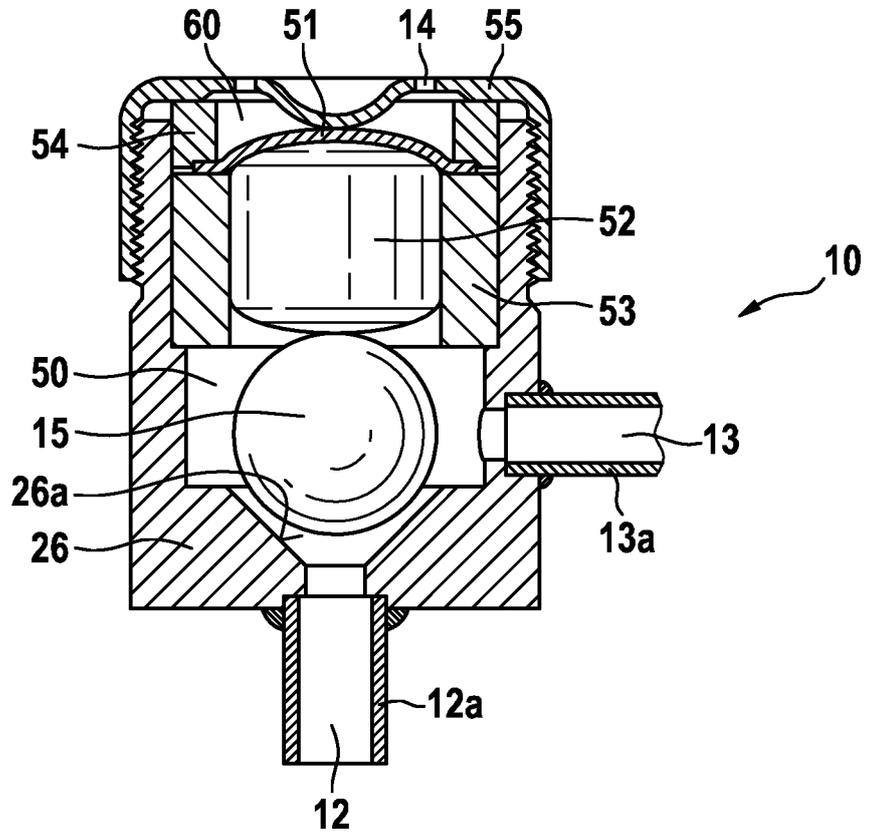


FIG. 3b



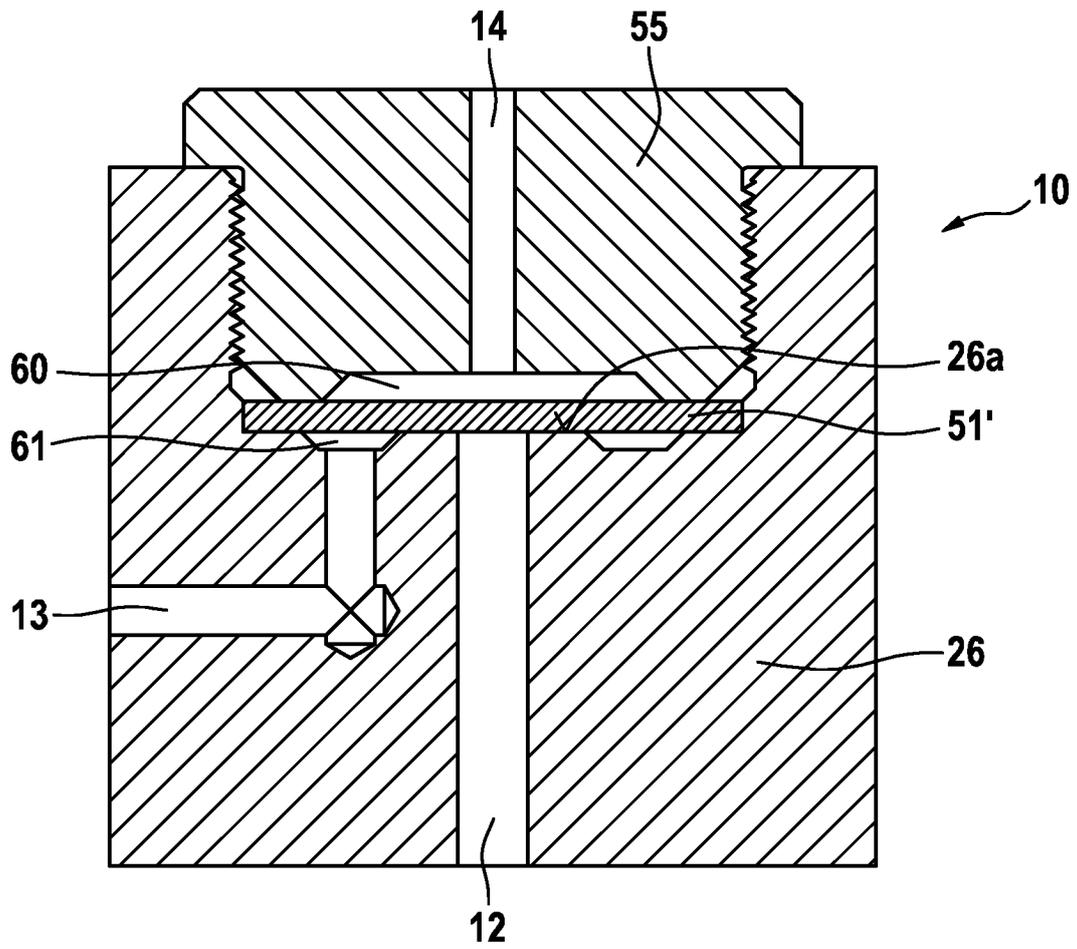


FIG. 4