



(11)

EP 3 633 204 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.04.2020 Patentblatt 2020/15

(51) Int Cl.:
F04D 19/04 ^(2006.01) **F04D 27/00** ^(2006.01)
F04D 29/058 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19195628.3**

(22) Anmeldetag: **05.09.2019**

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

(71) Anmelder: **PFEIFFER VACUUM GMBH**
35614 Asslar (DE)
(72) Erfinder: **Wang, Jinou**
35606 Solms-Oberbiel (DE)
(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald**
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(54) **VAKUUMPUMPE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, umfassend: einen Rotor, der zum Bewirken einer Pumpwirkung zu einer Drehbewegung antreibbar ist; ein erstes und ein zweites Radiallager für den Rotor, wobei das erste Radiallager ein aktiv geregeltes Magnetlager ist und wobei das zweite Radiallager als passives Magnetlager ausgebildet ist; eine erste Radialsensoranordnung zur Bestimmung einer Radialauslenkung des Rotors in einem ersten Axialbereich; und eine zweite Radialsensoranordnung zur Bestimmung einer Radialauslenkung in einem zweiten, vom ersten verschiedenen Axialbereich.

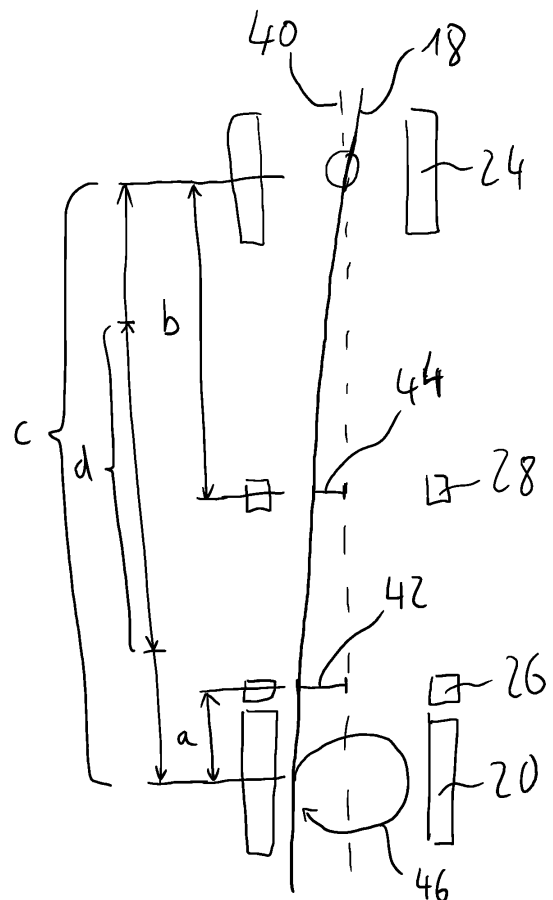


Fig. 8

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, umfassend: einen Rotor, der zum Bewirken einer Pumpwirkung zu einer Drehbewegung antreibbar ist; ein erstes und ein zweites Radiallager für den Rotor, wobei vorzugsweise das erste Radiallager ein aktiv geregeltes Magnetlager ist und das zweite Radiallager als passives Magnetlager ausgebildet ist; und eine Radialsensoranordnung zur Bestimmung einer Radialauslenkung des Rotors.

[0002] Es sind Vakuumpumpen, insbesondere Turbomolekularpumpen, bekannt, bei denen ein Pump rotor magnetisch gelagert ist. Die magnetische Lagerung weist zahlreiche Vorteile auf, insbesondere ermöglicht sie einen reibungs- und schmierstofffreien Betrieb der Pumpe. Einlassseitig werden dabei typischerweise passive Magnetlager, insbesondere Permanentmagnetlager, zur radialen Festlegung des Rotors eingesetzt. Am gegenüberliegenden Rotorende wird häufig sowohl zur radialen als auch zur axialen Festlegung des Rotors ein aktiv geregeltes Magnetlager eingesetzt. So kann auf einfache und kostengünstige Weise eine ölfreie Pumpe realisiert werden. Die aktive Regelung des Magnetlagers umfasst insbesondere einen beim Magnetlager angeordneten Radialsensor. In Abhängigkeit von einer vom Radialsensor gemessenen Auslenkung des Rotors wird ein Elektromagnet des aktiven Magnetlagers derart angesteuert, dass eine zur Auslenkung gegenläufige Kraft auf den Rotor ausgeübt wird.

[0003] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, bei einer Vakuumpumpe der eingangs genannten Art die Regelung der Rotorauslenkung zu verbessern, insbesondere Schwingungen des Rotors besser entgegenwirken zu können und/oder die Stabilität der Magnetlagerregelung zu verbessern.

[0004] Diese Aufgabe wird durch eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen nach Anspruch 1 gelöst, und insbesondere dadurch, dass eine zweite Radialsensoranordnung zur Bestimmung einer Radialauslenkung in einem zweiten, vom ersten verschiedenen Axialbereich vorgesehen ist. Die Aufgabe wird auch von einer Vakuumpumpe nach Anspruch 2 gelöst. Bei dieser ist insbesondere die erste Radialsensoranordnung dem ersten Radiallager axial zugeordnet ist und/oder bei diesem angeordnet. Vorzugsweise und grundsätzlich unabhängig hiervon kann die zweite Radialsensoranordnung beispielsweise weder dem ersten noch dem zweiten Radiallager axial zugeordnet und/oder zu beiden Radiallagern beabstandet sein.

[0005] Durch die zweite Radialsensoranordnung im zweiten Axialbereich kann zusammen mit der ersten Radialsensoranordnung im ersten Axialbereich eine Neigung des Rotors festgestellt werden. Eine solche äußert sich dadurch, dass die erste und die zweite Radialsensoranordnung unterschiedliche Auslenkungen des Rotors feststellen. Dadurch, dass die Neigung bekannt ist, kann die Auslenkung des Rotors besser geregelt werden

und Schwingungen kann besser vorgebeugt werden.

[0006] Die Auslenkung bezieht sich generell auf eine Nullachse, welche eine ideale Rotationsachse des Rotors ist. Wenn eine Auslenkung vorliegt, weicht die Rotorachse von der Nullachse ab.

[0007] Beispielsweise kann das zweite Radiallager als Magnetlager ausgebildet sein. Gemäß einer Ausführungsform ist das zweite Radiallager als passives Magnetlager ausgebildet. Zum Beispiel kann das zweite Radiallager als Permanentmagnetlager ausgebildet sein.

[0008] Die erste Radialsensoranordnung und/oder der erste Axialbereich können beispielsweise beim und/oder benachbart zum ersten Radiallager angeordnet sein.

[0009] So kann beispielsweise die Rotorauslenkung im ersten Radiallager mit hoher Genauigkeit gemessen werden.

[0010] Bei einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass ein axialer Abstand a definiert ist durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte der ersten Radialsensoranordnung und einer axialen Mitte des ersten Radiallagers, wobei ein axialer Abstand b definiert ist durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte der zweiten Radialsensoranordnung und einer axialen Mitte des zweiten Radiallagers, wobei ein Verhältnis b/a mindestens 2, vorzugsweise mindestens 3,5, vorzugsweise mindestens 5, weiter vorzugsweise mindestens 7, beträgt.

[0011] Allgemein können der erste Axialbereich einer axialen Mitte der ersten Radialsensoranordnung und/oder der zweiten Axialbereich einer axialen Mitte der zweiten Radialsensoranordnung entsprechen.

[0012] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der zweite Axialbereich bzw. die zweite Radialsensoranordnung zwischen dem ersten und dem zweiten Radiallager angeordnet. Hierdurch kann ein kompakter Aufbau der Pumpe beibehalten werden und dennoch ein verhältnismäßig großer Abstand der Axialbereiche der Radialsensoranordnung realisiert werden, was die Messgenauigkeit verbessert.

[0013] Bevorzugt kann ein Abstand c definiert sein durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte des ersten Radiallagers und einer axialen Mitte des zweiten Radiallagers, wobei ein axial mittlerer Teilbereich des Abstandes c eine axiale Länge d aufweist, wobei die zweite Radialsensoranordnung mit ihrer axialen Mitte in diesem Teilbereich angeordnet ist, und wobei ein Verhältnis d/c 0,7, vorzugsweise 0,5, vorzugsweise 0,4, beträgt.

[0014] Bei einigen Ausführungsformen kann beispielsweise vorgesehen sein, dass der zweite Axialbereich zwischen einem Motor für den Rotor und dem zweiten Radiallager angeordnet ist. Auch dies ermöglicht eine hohe Messgenauigkeit bei kompaktem Aufbau. Zum Beispiel kann der Motor zwischen den Radialsensoranordnungen angeordnet sein. Bei einigen Ausführungsformen kann die zweite Radialsensoranordnung an einem Bauteil angeordnet sein, welches einen Motorraum definiert und/oder ein Motorgehäuse bildet. Generell kann

beispielsweise die zweite Radialsensoranordnung vom zweiten Radiallager beabstandet sein.

[0015] Alternativ oder zusätzlich kann beispielsweise vorgesehen sein, dass axial zwischen dem zweiten Axialbereich und dem zweiten Radiallager wenigstens ein Rotorelement, vorzugsweise eine Mehrzahl an Rotorelementen, vorgesehen ist. Bei dem oder den Rotorelementen kann es sich bevorzugt um Turborotorelemente einer Turbomolekularpumpe handeln. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die zweite Radialsensoranordnung aus Sicht des zweiten Radiallagers axial hinter demjenigen Rotorelement angeordnet ist, welche zum zweiten Radiallager am weitesten beanstandet ist und/oder am weitesten auslassseitig angeordnet ist. Generell bevorzugt kann die zweite Radialsensoranordnung beispielsweise axial auslassseitig in Bezug auf eine oder mehrere Pumpstufen, insbesondere Turbostufen, angeordnet sein.

[0016] Allgemein kann es sich bei der Vakuumpumpe bevorzugt um eine Turbomolekularpumpe handeln, insbesondere eine solche mit einer 3-Achs-aktiven Magnetlagerung und mit einer Passivmagnetlagerung.

[0017] Es kann beispielsweise vorgesehen sein, dass für den Rotor eine Neigungsregelung vorgesehen ist. Somit kann der Rotor besser geregelt werden und es können entlang seiner Rotorachse unterschiedliche Auslenkungen gezielt minimiert werden. Durch die zweite Radialsensoranordnung und/oder die Neigungsregelung kann der Rotor dynamisch geregelt werden - im Gegensatz zu einer lediglich statischen Regelung bei nur einer Radialsensoranordnung.

[0018] Bei einer Ausführungsform ist eine Aktorik der Neigungsregelung durch das erste Radiallager gebildet. D. h., dass eine der Auslenkung entgegenwirkende Kraft von dem ersten Radiallager auf die Rotorwelle übertragen wird. Zu diesem Zweck weist das erste Radiallager zum Beispiel einen Elektromagneten auf. Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Aktorik der Neigungsregelung ausschließlich durch das erste Radiallager gebildet. Somit bewirkt das erste Radiallager alleine einen Ausgleich von Rotorneigungen. Hierdurch ist keine zusätzliche Aktorik notwendig, welche die Regelung komplizierter machen würde und zusätzliche Bauteile erfordern würde. Grundsätzlich kann aber alternativ oder zusätzlich eine Aktorik der Neigungsregelung auch beispielsweise durch ein aktives Axiallager gebildet sein. Beispielsweise ist das zweite Radiallager passiv ausgebildet und nimmt nicht aktiv an der Neigungsregelung teil.

[0019] Die Neigungsregelung kann beispielsweise dazu ausgebildet sein, eine Neigung des Rotors durch eine impulsartige und/oder stoßartige Beeinflussung des Rotors auszugleichen. Dies bildet eine einfach zu implementierende Maßnahme, um die Neigung des Rotors zu verringern. Die impulsartige bzw. stoßartige Beeinflussung kann beispielsweise nur in einem einzigen Axialbereich und/oder nur durch das erste Radiallager bewirkt werden.

[0020] Bei einigen Ausführungsformen ist das zweite

Radiallager einlassseitig und/oder ist das erste Radiallager an einem einem Einlass der Pumpe gegenüberliegenden Ende des Rotors und/oder auslassseitig angeordnet. Generell kann das zweite Radiallager beispielsweise bei einer bevorzugten Betriebslage der Pumpe oben angeordnet sein und/oder das erste Radiallager kann unten angeordnet sein. Insbesondere im Zusammenhang mit einer Splitflow-Pumpe können die Radiallager aber beispielsweise auch in einer horizontalen Ebene angeordnet sein.

[0021] Bei einigen Ausführungsformen ist zum Beispiel eine axiale Lagerung des Rotors durch ein magnetisches Axiallager vorgesehen. Dieses Axiallager kann beispielsweise aktiv geregelt sein.

[0022] Eine jeweilige Radialsensoranordnung kann beispielsweise radial Auslenkungen in zwei radialen Richtungen erfassen. Die zwei radialen Richtungen können beispielsweise senkrecht zueinander sein. Generell kann eine jeweilige Radialsensoranordnung beispielsweise eine induktive Sensorik aufweisen. Auch andere Sensorprinzipien sind möglich, beispielsweise ein kapazitiver oder ein optischer Sensor.

[0023] Die Erfindung umfasst außerdem ein Verfahren zum Betrieb einer Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, insbesondere nach vorstehend beschriebener Art, bei dem ein Rotor zumindest durch ein erstes und ein zweites Radiallager gelagert wird, wobei das erste Radiallager ein aktiv geregeltes Magnetlager ist. Mittels einer ersten Radialsensoranordnung wird in einem ersten Axialbereich eine Radialauslenkung des Rotors bestimmt. Mittels einer zweiten Radialsensoranordnung wird eine Radialauslenkung des Rotors in einem zweiten, vom ersten verschiedenen Axialbereich bestimmt.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform wird auf der Grundlage von durch die Radialsensoranordnungen ermittelten Messwerten eine Neigung des Rotors ausgeglichen, beispielsweise durch eine impulsartige Beeinflussung des Rotors mittels des aktiv geregelten, ersten Radiallagers.

[0025] Generell lassen sich alle im Zusammenhang mit einer Vakuumpumpe beschriebenen Merkmale und Ausführungsformen vorteilhaft zur Weiterbildung des Betriebsverfahrens heranziehen, und umgekehrt.

[0026] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Kalibrierung der zweiten Radialsensoranordnung einer Vakuumpumpe nach vorstehend beschriebener Art, mit den Merkmalen nach den hierauf gerichteten Ansprüchen. Dieses Kalibrierungsverfahren umfasst zumindest die Schritte, dass der Rotor durch das erste Radiallager um einen bestimmten Radius ausgelenkt wird, dass ein Messwert von der zweiten Radialsensoranordnung aufgenommen wird, dass eine tatsächliche Auslenkung des Rotors im zweiten Axialbereich in Abhängigkeit von der Auslenkung im ersten Axialbereich bekannt oder ermittelbar ist, und dass der Messwert der tatsächlichen Auslenkung zugeordnet wird, sodass im Betrieb der Pumpe von einem Messwert der zweiten Radialsensoranord-

nung auf eine Auslenkung des Rotor im zweiten Axialbereich geschlossen werden kann.

[0027] Somit ist letztlich eine Kalibrierung des Verstärkungsfaktors des Messwertes der zweiten Radialsensoranordnung implementiert, und dies auf eine besonders einfache und zuverlässige Weise.

[0028] Bei einigen Ausführungsformen wird zunächst und/oder vor der Auslenkung des Rotors durch das erste Radiallager um den bestimmten Radius die erste Radialsensoranordnung kalibriert. Dabei wird beispielsweise der Rotor durch das erste Radiallager bis zu einem Anschlag oder Maximalwert angezogen oder ausgelenkt, beispielsweise um einen Verstärkungsfaktor und/oder ein Offset des Sensorsignals zu bestimmen. Die Kalibrierung der ersten Radialsensoranordnung kann beispielsweise unmittelbar vor der Kalibrierung der zweiten Radialsensoranordnung durchgeführt werden oder auch irgendwann vorher.

[0029] Bei einer weiteren Ausführungsform wird der Rotor durch das erste Radiallager in mehr als einer Richtung radial ausgelenkt. So kann die zweite Radialsensoranordnung in mehreren Richtungen und auf besonders einfache Weise kalibriert werden. Die Regelung lässt sich somit noch genauer durchführen.

[0030] Bei einigen Ausführungsformen ist vorgesehen, dass der Rotor durch das erste Radiallager entlang einer Kreisbahn ausgelenkt wird. Dies ermöglicht eine besonders einfache aber genaue Kalibrierung der zweiten Radialsensoranordnung. Die Kreisbahn kann beispielsweise einen vorbestimmten Radius aufweisen. Der Rotor kann entlang der Kreisbahn mit einer bestimmten Frequenz ausgelenkt werden. Die Auslenkung entlang der Kreisbahn kann anschaulich auch als "Rühren" bezeichnet werden.

[0031] Bei einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Rotor während der Kalibrierung nicht rotiert. Beispielsweise wird der Rotor zwar um die Nullachse herum, beispielsweise entlang einer Kreisbahn, bewegt. Er rotiert jedoch beispielsweise nicht, d. h. in Umfangsrichtung bleibt der Rotor fest bzw. steht. Generell kann der Motor der Pumpe, welcher den Rotor antreibt, während der Kalibrierung ausgeschaltet sein.

[0032] Die tatsächliche Auslenkung des Rotors im zweiten Axialbereich kann gemäß einer Ausführungsform in Abhängigkeit von der Auslenkung im ersten Axialbereich aufgrund mechanischer Zusammenhänge rechnerisch ermittelt werden. Grundlage dieser Ermittlung können beispielsweise bilden: Steifigkeit des zweiten Radiallagers, Trägheit und Geometrie des Rotors und Radius und Frequenz der Auslenkung oder Erregung des Wellenendes.

[0033] Durch das Kalibrierungsverfahren wird beispielsweise ausgenutzt, dass die mechanischen Zusammenhänge in der Pumpe gut bekannt sind, insbesondere weil generell eine hohe Fertigungsgenauigkeit herrscht. Die zweite Radialsensoranordnung kann somit präzise kalibriert werden, nämlich beispielsweise durch den Vergleich einer bekannten Maximalauslenkung des Rotors

mit einem von der zweiten Radialsensoranordnung ermittelten Messwert, insbesondere Spannungswert.

[0034] Das Kalibrierungsverfahren kann als dynamische Kalibrierung bezeichnet werden, im Gegensatz zu einer sonst üblichen Kalibrierung einer einzigen Radialsensoranordnung, die auch als statische Kalibrierung bezeichnet werden kann.

[0035] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe,

Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1,

Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,

Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,

Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C,

Fig. 6 eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe,

Fig. 7 eine Radialsensoranordnung,

Fig. 8 eine Rotorauslenkung während einer Kalibrierung.

[0036] Die in Fig. 1 gezeigte Turbomolekularpumpe 111 umfasst einen von einem Einlassflansch 113 umgebenen Pumpeneinlass 115, an welchen in an sich bekannter Weise ein nicht dargestellter Rezipient angeschlossen werden kann. Das Gas aus dem Rezipienten kann über den Pumpeneinlass 115 aus dem Rezipienten gesaugt und durch die Pumpe hindurch zu einem Pumpenauslass 117 gefördert werden, an den eine Vorvakuumpumpe, wie etwa eine Drehschieberpumpe, angeschlossen sein kann.

[0037] Der Einlassflansch 113 bildet bei der Ausrichtung der Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 das obere Ende des Gehäuses 119 der Vakuumpumpe 111. Das Gehäuse 119 umfasst ein Unterteil 121, an welchem seitlich ein Elektronikgehäuse 123 angeordnet ist. In dem Elektronikgehäuse 123 sind elektrische und/oder elektronische Komponenten der Vakuumpumpe 111 untergebracht, z.B. zum Betreiben eines in der Vakuumpumpe angeordneten Elektromotors 125. Am Elektronikgehäuse 123 sind mehrere Anschlüsse 127 für Zubehör vorgesehen. Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z.B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsan-

schluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0038] Am Gehäuse 119 der Turbomolekularpumpe 111 ist ein Fluteinlass 133, insbesondere in Form eines Flutventils, vorgesehen, über den die Vakuumpumpe 111 geflutet werden kann. Im Bereich des Unterteils 121 ist ferner noch ein Sperrgasanschluss 135, der auch als Spülgasanschluss bezeichnet wird, angeordnet, über welchen Spülgas zum Schutz des Elektromotors 125 (siehe z.B. Fig. 3) vor dem von der Pumpe geförderten Gas in den Motorraum 137, in welchem der Elektromotor 125 in der Vakuumpumpe 111 untergebracht ist, gebracht werden kann. Im Unterteil 121 sind ferner noch zwei Kühlmittelanschlüsse 139 angeordnet, wobei einer der Kühlmittelanschlüsse als Einlass und der andere Kühlmittelanschluss als Auslass für Kühlmittel vorgesehen ist, das zu Kühlzwecken in die Vakuumpumpe geleitet werden kann.

[0039] Die untere Seite 141 der Vakuumpumpe kann als Standfläche dienen, sodass die Vakuumpumpe 111 auf der Unterseite 141 stehend betrieben werden kann. Die Vakuumpumpe 111 kann aber auch über den Einlassflansch 113 an einem Rezipienten befestigt werden und somit gewissermaßen hängend betrieben werden. Außerdem kann die Vakuumpumpe 111 so gestaltet sein, dass sie auch in Betrieb genommen werden kann, wenn sie auf andere Weise ausgerichtet ist als in Fig. 1 gezeigt ist. Es lassen sich auch Ausführungsformen der Vakuumpumpe realisieren, bei der die Unterseite 141 nicht nach unten, sondern zur Seite gewandt oder nach oben gerichtet angeordnet werden kann.

[0040] An der Unterseite 141, die in Fig. 2 dargestellt ist, sind noch diverse Schrauben 143 angeordnet, mittels denen hier nicht weiter spezifizierte Bauteile der Vakuumpumpe aneinander befestigt sind. Beispielsweise ist ein Lagerdeckel 145 an der Unterseite 141 befestigt.

[0041] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann.

[0042] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0043] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgaspumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0044] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0045] Die Turbomolekularpumpe 111 umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren an der Rotorwelle 153 befestigten radialen Rotorscheiben 155 und zwischen den Rotorscheiben 155 angeordneten und in dem Gehäuse 119 festgelegten Statorscheiben 157. Dabei bilden eine Rotorscheibe 155 und eine benachbarte

Statorscheibe 157 jeweils eine turbomolekulare Pumpstufe. Die Statorscheiben 157 sind durch Abstandsringe 159 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander gehalten.

[0046] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Der Rotor der Holweck-Pumpstufen umfasst eine an der Rotorwelle 153 angeordnete Rotornabe 161 und zwei an der Rotornabe 161 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 163, 165, die coaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls coaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0047] Die pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Pumpstufen sind durch die Mantelflächen, also durch die radialen Innen- und/oder Außenflächen, der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 und der Holweck-Statorhülsen 167, 169 gebildet. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Statorhülse 167 liegt der radialen Außenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 171 gegenüber und bildet mit dieser die der Turbomolekularpumpen nachfolgende erste Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 steht der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 173 gegenüber und bildet mit dieser eine zweite Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 liegt der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Rotorhülse 165 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 175 gegenüber und bildet mit dieser die dritte Holweck-Pumpstufe.

[0048] Am unteren Ende der Holweck-Rotorhülse 163 kann ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der radial außenliegende Holweck-Spalt 171 mit dem mittleren Holweck-Spalt 173 verbunden ist. Außerdem kann am oberen Ende der inneren Holweck-Statorhülse 169 ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der mittlere Holweck-Spalt 173 mit dem radial innenliegenden Holweck-Spalt 175 verbunden ist. Dadurch werden die ineinander geschachtelten Holweck-Pumpstufen in Serie miteinander geschaltet. Am unteren Ende der radial innenliegenden Holweck-Rotorhülse 165 kann ferner ein Verbindungskanal 179 zum Auslass 117 vorgesehen sein.

[0049] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 163, 165 weisen jeweils mehrere spiralförmig um die Rotationsachse 151 herum in axialer Richtung verlaufende Holweck-Nuten auf, während die gegenüberliegenden Mantelflächen der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 glatt ausgebildet sind und das Gas zum Betrieb der Vakuumpumpe 111 in den Holweck-Nuten vorantreiben.

[0050] Zur drehbaren Lagerung der Rotorwelle 153

sind ein Wälzlager 181 im Bereich des Pumpenauslasses 117 und ein Permanentmagnetlager 183 im Bereich des Pumpeneinlasses 115 vorgesehen.

[0051] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0052] Im Betrieb der Vakuumpumpe 111 wird das Betriebsmittel durch kapillare Wirkung von dem Betriebsmittelspeicher über den Abstreifer auf die rotierende Spritzmutter 185 übertragen und in Folge der Zentrifugalkraft entlang der Spritzmutter 185 in Richtung des größeren werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 185 zu dem Wälzlager 181 hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt. Das Wälzlager 181 und der Betriebsmittelspeicher sind durch einen wannenförmigen Einsatz 189 und den Lagerdeckel 145 in der Vakuumpumpe eingefasst.

[0053] Das Permanentmagnetlager 183 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 191 und eine statorseitige Lagerhälfte 193, welche jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinander gestapelten permanentmagnetischen Ringen 195, 197 umfassen. Die Ringmagnete 195, 197 liegen einander unter Ausbildung eines radialen Lagerspalts 199 gegenüber, wobei die rotorseitigen Ringmagnete 195 radial außen und die statorseitigen Ringmagnete 197 radial innen angeordnet sind. Das in dem Lagerspalt 199 vorhandene magnetische Feld ruft magnetische Abstoßungskräfte zwischen den Ringmagneten 195, 197 hervor, welche eine radiale Lagerung der Rotorwelle 153 bewirken. Die rotorseitigen Ringmagnete 195 sind von einem Trägerabschnitt 201 der Rotorwelle 153 getragen, welcher die Ringmagnete 195 radial außenseitig umgibt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind von einem statorseitigen Trägerabschnitt 203 getragen, welcher sich durch die Ringmagnete 197 hindurch erstreckt und an radialen Streben 205 des Gehäuses 119 aufgehängt ist. Parallel zu der Rotationsachse 151 sind die rotorseitigen Ringmagnete 195 durch ein mit dem Trägerabschnitt 203 gekoppeltes Deckelelement 207 festgelegt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind parallel zu der Rotationsachse 151 in der einen Richtung durch einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 209 sowie einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 211 festgelegt. Zwischen dem Befestigungsring 211 und den Ringmagneten 197 kann außerdem eine Tellerfeder 213 vorgesehen sein.

[0054] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not- bzw. Fanglager 215 vorgesehen, welches im normalen Betrieb der Vakuumpumpe 111 ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors 149 relativ zu dem Stator in Eingriff gelangt, um

einen radialen Anschlag für den Rotor 149 zu bilden, da eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert wird. Das Fanglager 215 ist als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet und bildet mit dem Rotor 149 und/oder dem Stator einen radialen Spalt, welcher bewirkt, dass das Fanglager 215 im normalen Pumpbetrieb außer Eingriff ist. Die radiale Auslenkung, bei der das Fanglager 215 in Eingriff gelangt, ist groß genug bemessen, sodass das Fanglager 215 im normalen Betrieb der Vakuumpumpe nicht in Eingriff gelangt, und gleichzeitig klein genug, sodass eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen unter allen Umständen verhindert wird.

[0055] Die Vakuumpumpe 111 umfasst den Elektromotor 125 zum drehenden Antreiben des Rotors 149. Der Anker des Elektromotors 125 ist durch den Rotor 149 gebildet, dessen Rotorwelle 153 sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckt. Auf den sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt der Rotorwelle 153 kann radial außenseitig oder eingebettet eine Permanentmagnetanordnung angeordnet sein. Zwischen dem Motorstator 217 und dem sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt des Rotors 149 ist ein Zwischenraum 219 angeordnet, welcher einen radialen Motorspalt umfasst, über den sich der Motorstator 217 und die Permanentmagnetanordnung zur Übertragung des Antriebsmoments magnetisch beeinflussen können.

[0056] Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse innerhalb des für den Elektromotor 125 vorgesehenen Motorraums 137 festgelegt. Über den Sperrgasanschluss 135 kann ein Sperrgas, das auch als Spülgas bezeichnet wird, und bei dem es sich beispielsweise um Luft oder um Stickstoff handeln kann, in den Motorraum 137 gelangen. Über das Sperrgas kann der Elektromotor 125 vor Prozessgas, z.B. vor korrosiv wirkenden Anteilen des Prozessgases, geschützt werden. Der Motorraum 137 kann auch über den Pumpenauslass 117 evakuiert werden, d.h. im Motorraum 137 herrscht zumindest annäherungsweise der von der am Pumpenauslass 117 angeschlossenen Vorvakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

[0057] Zwischen der Rotornabe 161 und einer den Motorraum 137 begrenzenden Wandung 221 kann außerdem eine sog. und an sich bekannte Labyrinthdichtung 223 vorgesehen sein, insbesondere um eine bessere Abdichtung des Motorraums 217 gegenüber den radial außerhalb liegenden Holweck-Pumpstufen zu erreichen.

[0058] Die nachfolgend beschriebene, erfindungsgemäße Vakuumpumpe der Fig. 6 kann durch die Einzelmerkmale der vorstehend beschriebenen Vakuumpumpe vorteilhaft weitergebildet werden.

[0059] Fig. 6 zeigt eine Vakuumpumpe 10 in einer schematischen und stark reduzierten Darstellung. Die Vakuumpumpe 10 umfasst einen Rotor 12, welcher eine Mehrzahl an Turborotorscheiben 14 trägt und mittels eines Motors 16 zu einer Drehbewegung um die Rotorachse 18 antreibbar ist, sodass die relativ zu nicht dargestellten Statorscheiben rotierenden Turborotorscheiben

14 eine Pumpwirkung erzeugen. In Fig. 6 verläuft die Pumpwirkung von oben nach unten.

[0060] Der Rotor 12 ist durch eine Mehrzahl an Magnetlagern gelagert. Ein erstes Radiallager 20 für den Rotor 12 ist an einem auslassseitigen Ende des Rotors 12 angeordnet. Am selben Rotorende ist ein Axiallager 22 angeordnet. Am einlassseitigen Ende des Rotors 12 ist ein zweites Radiallager 24 angeordnet.

[0061] Das erste Radiallager 20 und das Axiallager 22 sind aktiv geregelt ausgebildet. Sie können also einer radialen bzw. axialen Auslenkung des Rotors 12 von seiner Idealposition aktiv entgegenwirken, beispielsweise über Elektromagnete. Zu diesem Zweck ist bei dem Radiallager 20 eine Radialsensoranordnung 26 angeordnet, mittels derer die radiale Auslenkung des Rotors 12 in einem ersten Axialbereich in zwei zur Rotorachse 16 senkrechten Raumrichtungen messbar ist. Eine Axialsensoranordnung ist ebenfalls vorgesehen aber nicht dargestellt.

[0062] Das zweite Radiallager 24 ist passiv ausgebildet, d. h. es umfasst keine Aktorik zur Beeinflussung des Rotors 12. Vielmehr weist das zweite Radiallager 24 zum Beispiel rotor- und statorseitig eine Mehrzahl von Permanentmagneten auf.

[0063] Es ist eine zweite Radialsensoranordnung 28 vorgesehen, mittels derer die Auslenkung des Rotors 12 in einem zweiten Axialbereich messbar ist. Die zweite Radialsensoranordnung ist in dieser Ausführungsform sowohl zwischen dem ersten Radiallager 20 und dem zweiten Radiallager 24 als auch zwischen dem Motor 16 und dem zweiten Radiallager 24 angeordnet ist. Zu diesem Zweck ist die zweite Radialsensoranordnung 28 an einem Bauteil 30 befestigt, welches einen Motorraum 32 des Motors 16 definiert.

[0064] Die erste und die zweite Radialsensoranordnung 26 bzw. 28 sind in axialer Richtung deutlich voneinander beanstandet. Wenn durch sie unterschiedliche Auslenkungen des Rotors 12 im entsprechenden Axialbereich gemessen werden, kann darauf geschlossen werden, dass der Rotor 12 geneigt ist, dass also die Rotorachse 18 des Rotors 12 nicht parallel ist zu einer idealen Rotorachse, welche auch als Nullachse bezeichnet werden kann. Sobald eine Neigung erkannt wird, kann das aktive, erste Radiallager 20 dieser entgegenwirken. Hierzu kann das erste Radiallager 20 beispielsweise den Rotor 12 impulsartig beeinflussen, um den Rotor 12 gewissermaßen in seine aufrechte Lage zurückzustoßen. Diese Art der Regelung lässt sich mit derjenigen eines inversen Pendels vergleichen. Wenn ein oberer Bereich des Rotors 12 zu kippen beginnt, wird unten ein Impuls in den Rotor 12 eingebracht, der dem Kippen entgegenwirkt und den Rotor 12 bestenfalls direkt oder nach und nach in seine aufrechte Lage zurückbringt, sodass die Rotorachse 18 parallel zur Nullachse ist. Beispielsweise zeitgleich wird aber nicht nur die Neigung geregelt, sondern die radiale Position des Rotors wird ebenfalls geregelt. Neigungs- und Positionsregelung werden insbesondere einander überlagert.

[0065] Eine beispielhafte Radialsensoranordnung 34 ist in Fig. 7 gezeigt. Eine oder beide der ersten und zweiten Radialsensoranordnungen 26 bzw. 28 können entsprechend ausgebildet sein.

[0066] Die Radialsensoranordnung 34 umfasst eine ringförmige Platine 36, auf der mehrere Spulen 38 aufgebracht sind. Ein in seiner Auslenkung zu messender Rotor würde sich durch den Ring hindurch und mit einer Rotorachse senkrecht zur Bildebene erstrecken. Wenn der Rotor ausgelenkt wird, sich also in Fig. 7 entlang der Bildebene verschiebt, verändert dies die Interaktivität der Spulen 38, was zu einem veränderten Messsignal führt. Von diesem Messsignal kann also auf die Auslenkung geschlossen werden. Dabei sind für jede Bewegungsrichtung x und y zwei Spulen gegenüberliegend vorgesehen.

[0067] Die Fig. 8 veranschaulicht ein Kalibrierungsverfahren für die zweite Radialsensoranordnung 28, z.B. einer Pumpe gemäß Fig. 6. Der Rotor ist hier lediglich durch seine Rotorachse 18 angedeutet. Durch das aktive, erste Radiallager 20 wird der Rotor bis zu einem Anschlag ausgelenkt. Die Rotorachse 18 ist dann geneigt, ist also schräg in Bezug auf die Nullachse 40 ausgerichtet. Die Auslenkung am Anschlag ist anhand der mechanischen Zusammenhänge des Rotorsystems bekannt oder kann beispielsweise alternativ oder zusätzlich durch die erste Radialsensoranordnung 26 ermittelt werden. Es versteht sich, dass die Auslenkung und Neigung der Rotorachse 18 hier zwecks Veranschaulichung extrem übertrieben dargestellt ist.

[0068] Die erste Radialsensoranordnung 26 ermittelt beispielsweise eine Auslenkung 42 im ersten Axialbereich. Aufgrund der bekannten mechanischen Zusammenhänge kann dann die tatsächliche Auslenkung 44 im zweiten Axialbereich, also bei der zweiten Radialsensoranordnung 28 berechnet werden. Außerdem wird ein Messwert durch die zweite Radialsensoranordnung 28 aufgenommen. Diesem wird die tatsächliche Auslenkung 44 zugeordnet. Nun ist ein Verstärkungsfaktor der Radialsensoranordnung 28 bekannt, sodass abhängig von einer gemessenen Sensorspannung auf den Wert einer Auslenkung geschlossen werden kann.

[0069] In Fig. 8 ist außerdem eine Kreisbahn 46 angedeutet, entlang derer der Rotor beispielsweise durch das erste Radiallager 20 zum Zwecke der Kalibrierung mit einem bestimmten Radius und einer bestimmten Frequenz bewegt werden kann. So können alle Auslenkungsrichtungen der Radialsensoranordnung 28 zuverlässig kalibriert werden.

[0070] In den Fig. 6 und 8 ist die erste Radialsensoranordnung 26 dem ersten Radiallager 20 axial zugeordnet ist und bei diesem angeordnet. Die zweite Radialsensoranordnung 28 ist weder dem ersten noch dem zweiten Radiallager 24 axial zugeordnet, sondern zu beiden Radiallagern 20, 24 beabstandet angeordnet.

[0071] In Fig. 8 sind jeweils axiale Mitten der Radiallager 20, 24 und der Radialsensoranordnungen 26, 28 angedeutet. Bestimmte axiale Abstände zwischen die-

sen axialen Mitten werden durch die Buchstaben a bis d in Bezug genommen.

[0072] Ein axialer Abstand a ist definiert durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte der ersten Radialsensoranordnung 26 und einer axialen Mitte des ersten Radiallagers 20. Ein axialer Abstand b ist definiert durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte der zweiten Radialsensoranordnung 28 und einer axialen Mitte des zweiten Radiallagers 24. Ein Verhältnis b/a beträgt vorzugsweise mindestens 2, vorzugsweise mindestens 3,5, vorzugsweise mindestens 5, vorzugsweise mindestens 7.

[0073] Ein Abstand c ist definiert durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte des ersten Radiallagers 20 und einer axialen Mitte des zweiten Radiallagers 24, wobei ein axial mittlerer Teilbereich des Abstandes c eine axiale Länge d aufweist, wobei die zweite Radialsensoranordnung 28 mit ihrer axialen Mitte in diesem Teilbereich angeordnet ist, und wobei ein Verhältnis d/c vorzugsweise 0,7, vorzugsweise 0,5, vorzugsweise 0,4, beträgt.

Bezugszeichenliste

[0074]

111 Turbomolekularpumpe
113 Einlassflansch
115 Pumpeneinlass
117 Pumpenauslass
119 Gehäuse
121 Unterteil
123 Elektronikgehäuse
125 Elektromotor
127 Zubehöranschluss
129 Datenschnittstelle
131 Stromversorgungsanschluss
133 Fluteinlass
135 Sperrgasanschluss
137 Motorraum
139 Kühlmittelanschluss
141 Unterseite
143 Schraube
145 Lagerdeckel
147 Befestigungsbohrung
148 Kühlmittelleitung
149 Rotor
151 Rotationsachse
153 Rotorwelle
155 Rotorscheibe
157 Statorscheibe
159 Abstandsring
161 Rotornabe
163 Holweck-Rotorhülse
165 Holweck-Rotorhülse
167 Holweck-Statorhülse
169 Holweck-Statorhülse
171 Holweck-Spalt

173 Holweck-Spalt
175 Holweck-Spalt
179 Verbindungskanal
181 Wälzlager
5 183 Permanentmagnetlager
185 Spritzmutter
187 Scheibe
189 Einsatz
191 rotorseitige Lagerhälfte
10 193 statorseitige Lagerhälfte
195 Ringmagnet
197 Ringmagnet
199 Lagerspalt
201 Trägerabschnitt
15 203 Trägerabschnitt
205 radiale Strebe
207 Decelelement
209 Stützring
211 Befestigungsring
20 213 Tellerfeder
215 Not- bzw. Fanglager
217 Motorstator
219 Zwischenraum
221 Wandung
25 223 Labyrinthdichtung
10 Vakuumpumpe
12 Rotor
14 Turborotorscheibe
16 Motor
30 18 Rotorachse
20 erstes Radiallager
22 Axiallager
24 zweites Radiallager
26 erste Radialsensoranordnung
35 28 zweite Radialsensoranordnung
30 Bauteil
32 Motorraum
34 Radialsensoranordnung
36 Platine
40 38 Spule
40 Nullachse
42 Auslenkung
44 Auslenkung
46 Kreisbahn
45

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (10), insbesondere Turbomolekularpumpe, umfassend:

55

einen Rotor (12), der zum Bewirken einer Pumpwirkung zu einer Drehbewegung antreibbar ist, ein erstes und ein zweites Radiallager (20, 24) für den Rotor (12), wobei das erste Radiallager (20) ein aktiv geregeltes Magnetlager ist und wobei das zweite Radiallager (24) als passives Magnetlager ausgebildet ist,

- eine erste Radialsensoranordnung (26) zur Bestimmung einer Radialauslenkung des Rotors (12) in einem ersten Axialbereich, und
eine zweite Radialsensoranordnung (28) zur Bestimmung einer Radialauslenkung in einem zweiten, vom ersten verschiedenen Axialbereich.
2. Vakuumpumpe (10), insbesondere nach Anspruch 1, umfassend
einen Rotor (12), der zum Bewirken einer Pumpwirkung zu einer Drehbewegung antreibbar ist,
ein erstes und ein zweites Radiallager (20, 24) für den Rotor (12),
eine erste Radialsensoranordnung (26) zur Bestimmung einer Radialauslenkung des Rotors (12) in einem ersten Axialbereich, und
eine zweite Radialsensoranordnung (28) zur Bestimmung einer Radialauslenkung in einem zweiten, vom ersten verschiedenen Axialbereich, wobei die erste Radialsensoranordnung (26) dem ersten Radiallager (20) axial zugeordnet ist und/oder bei diesem angeordnet ist, und
wobei die zweite Radialsensoranordnung (28) weder dem ersten noch dem zweiten Radiallager (24) axial zugeordnet und/oder zu beiden Radiallagern (20, 24) beabstandet ist.
3. Vakuumpumpe (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein axialer Abstand a definiert ist durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte der ersten Radialsensoranordnung (26) und einer axialen Mitte des ersten Radiallagers (20),
wobei ein axialer Abstand b definiert ist durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte der zweiten Radialsensoranordnung (28) und einer axialen Mitte des zweiten Radiallagers (24),
wobei ein Verhältnis b/a mindestens 2, vorzugsweise mindestens 3,5, vorzugsweise mindestens 5, vorzugsweise mindestens 7, beträgt.
4. Vakuumpumpe (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei der zweite Axialbereich zwischen dem ersten und dem zweiten Radiallager (20, 24) angeordnet ist und/oder
wobei ein Abstand c definiert ist durch einen axialen Abstand zwischen einer axialen Mitte des ersten Radiallagers (20) und einer axialen Mitte des zweiten Radiallagers (24), wobei ein axial mittlerer Teilbereich des Abstandes c eine axiale Länge d aufweist, wobei die zweite Radialsensoranordnung (28) mit ihrer axialen Mitte in diesem Teilbereich angeordnet ist, und wobei ein Verhältnis d/c 0,7, vorzugsweise 0,5, vorzugsweise 0,4, beträgt.
5. Vakuumpumpe (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- wobei der zweite Axialbereich zwischen einem Motor (16) für den Rotor (12) und dem zweiten Radiallager (24) angeordnet ist und/oder
wobei axial zwischen dem zweiten Axialbereich und dem zweiten Radiallager (24) wenigstens ein Rotorelement, vorzugsweise eine Mehrzahl an Rotorelementen, vorzugsweise Turborotorelementen, vorgesehen ist.
6. Vakuumpumpe (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei für den Rotor (12) eine Neigungsregelung vorgesehen ist.
7. Vakuumpumpe (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei eine Aktorik der Neigungsregelung durch das erste Radiallager (20) gebildet ist.
8. Vakuumpumpe (10) nach einem der Ansprüche 6 oder 7,
wobei die Neigungsregelung dazu ausgebildet ist, eine Neigung des Rotors (12) durch eine impulsartige Beeinflussung des Rotors (12) auszugleichen.
9. Vakuumpumpe (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei das zweite Radiallager (24) einlassseitig und das erste Radiallager (20) an einem einem Einlass der Pumpe gegenüberliegenden Ende des Rotors (12) angeordnet ist.
10. Verfahren zur Kalibrierung der zweiten Radialsensoranordnung (28) einer Vakuumpumpe (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Rotor (12) durch das erste Radiallager (20) um einen bestimmten Radius (42) ausgelenkt wird,
ein Messwert von der zweiten Radialsensoranordnung (28) aufgenommen wird,
eine tatsächliche Auslenkung (44) des Rotors (12) im zweiten Axialbereich in Abhängigkeit von der Auslenkung (42) im ersten Axialbereich bekannt oder ermittelbar ist, und
der Messwert der tatsächlichen Auslenkung (44) zugeordnet wird, sodass im Betrieb der Pumpe (10) von einem Messwert der zweiten Radialsensoranordnung (28) auf eine Auslenkung des Rotor (12) im zweiten Axialbereich geschlossen werden kann.
11. Verfahren nach Anspruch 10,
wobei zunächst die erste Radialsensoranordnung kalibriert wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,
wobei der Rotor (12) durch das erste Radiallager (20) in mehr als einer Richtung radial ausgelenkt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12,
wobei der Rotor (12) durch das erste Radiallager
(20) entlang einer Kreisbahn (46) ausgelenkt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, 5
wobei der Rotor während der Kalibrierung nicht ro-
tiert.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, 10
wobei die tatsächliche Auslenkung (44) des Rotors
(12) im zweiten Axialbereich in Abhängigkeit von der
Auslenkung (42) im ersten Axialbereich aufgrund
mechanischer Zusammenhänge rechnerisch ermit-
telt wird. 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

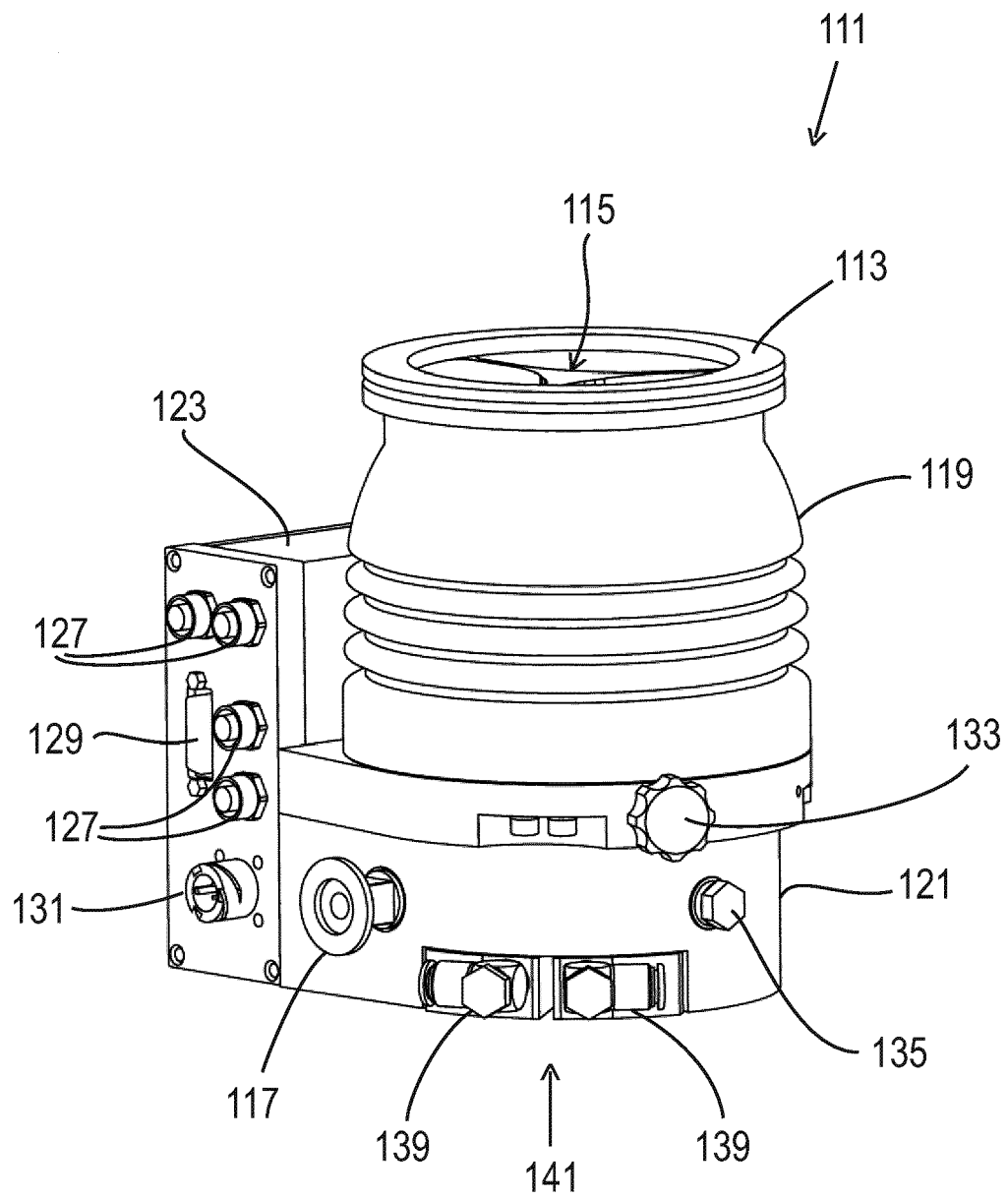


Fig. 1

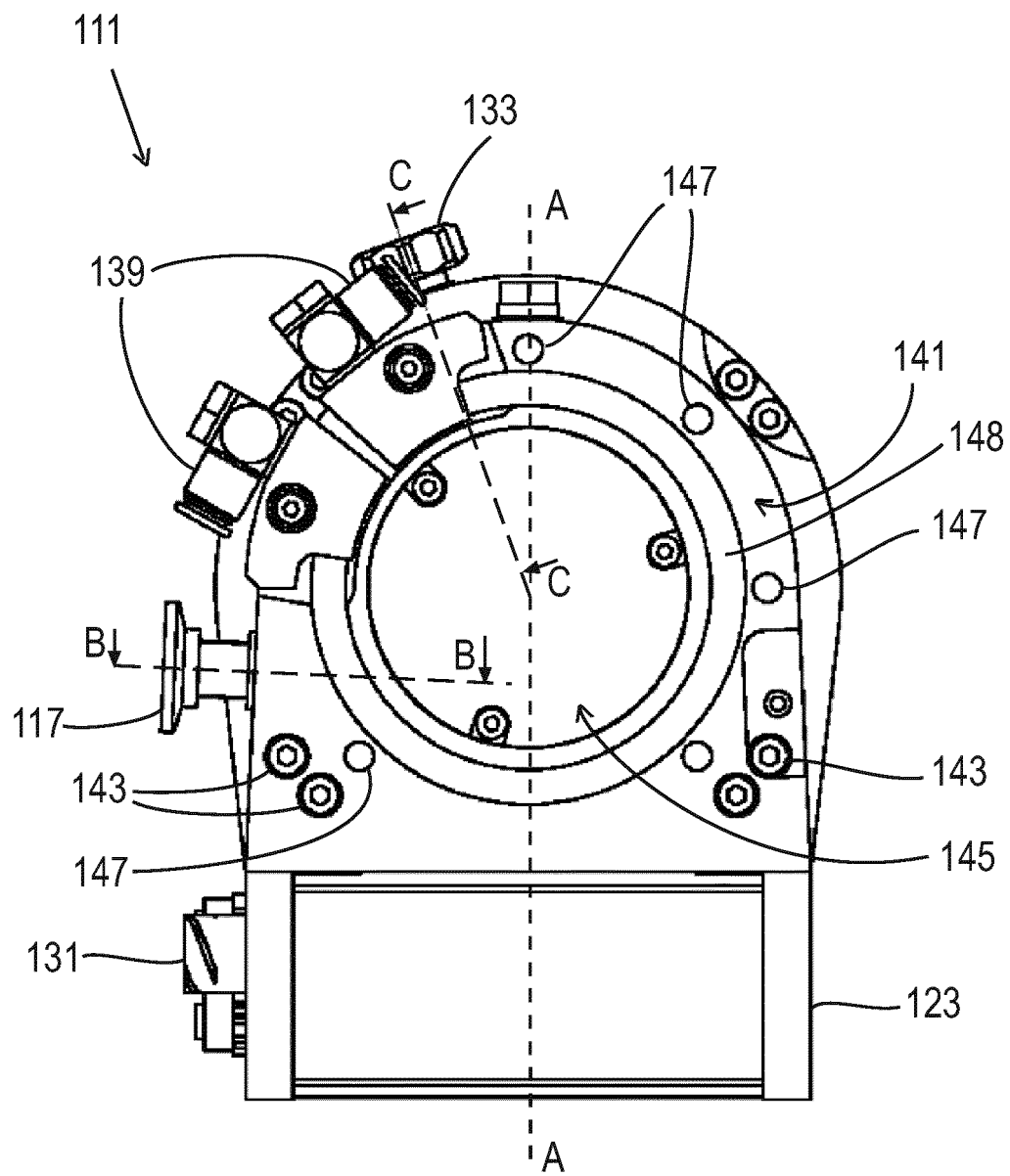


Fig. 2

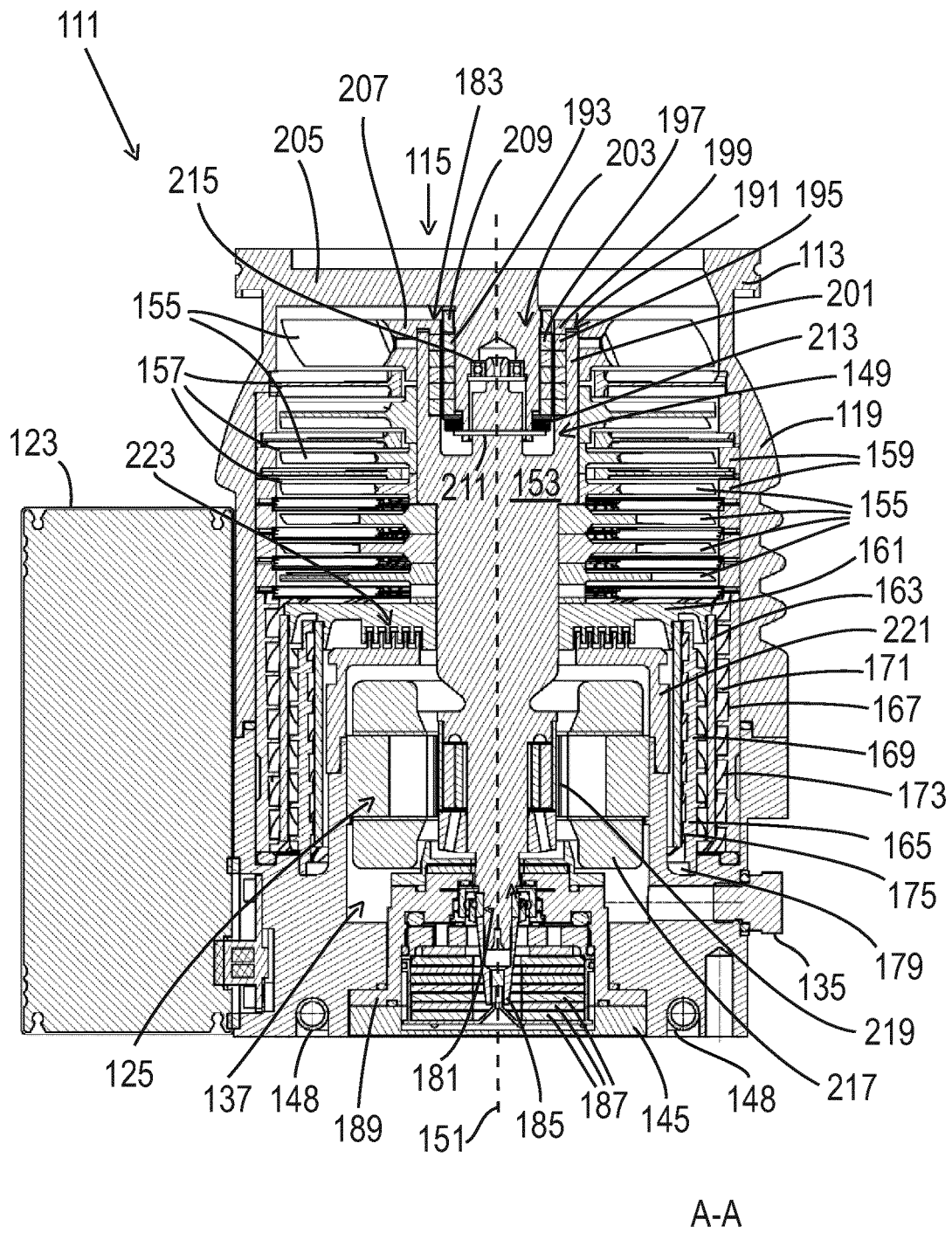


Fig. 3

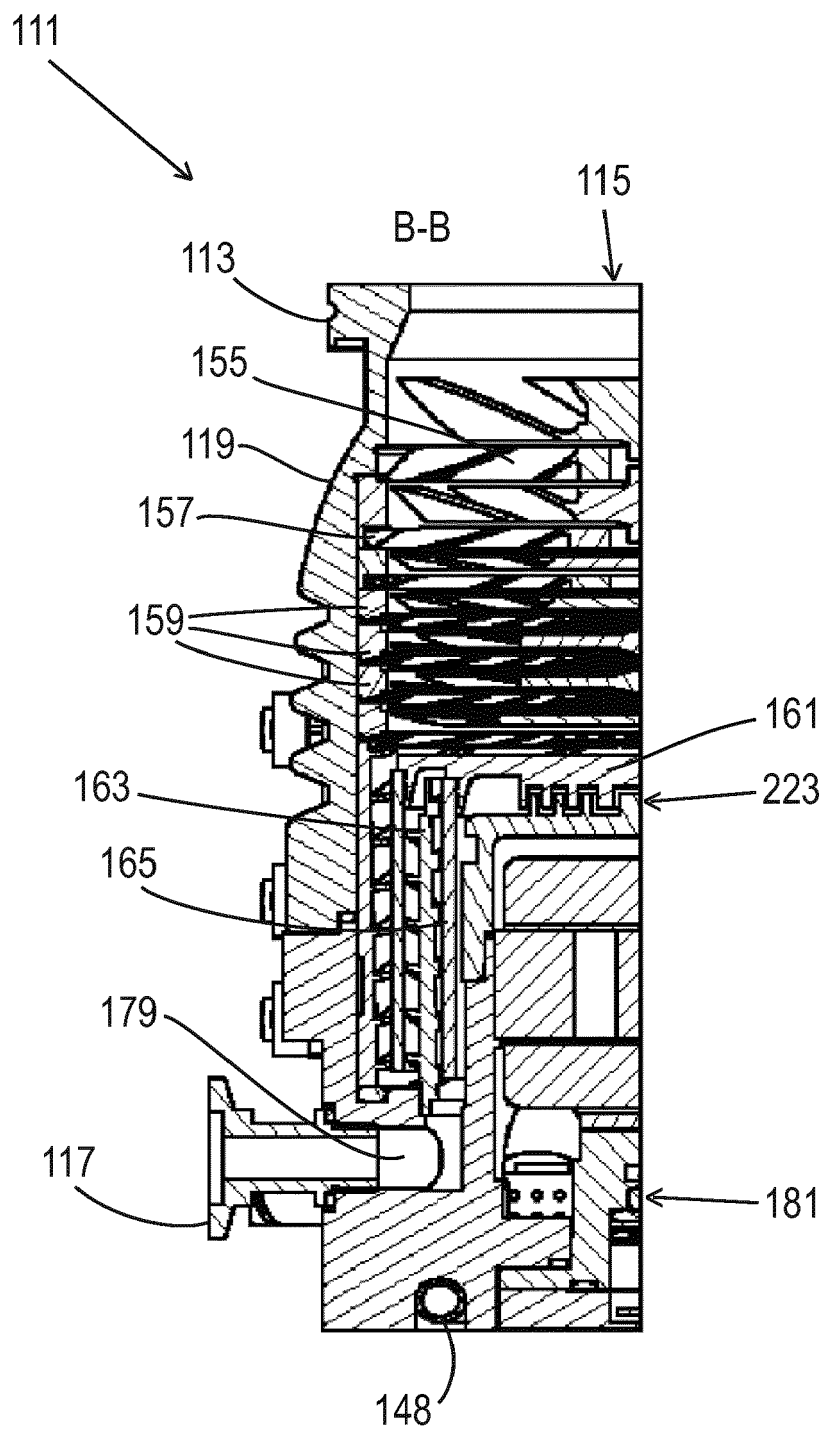


Fig. 4

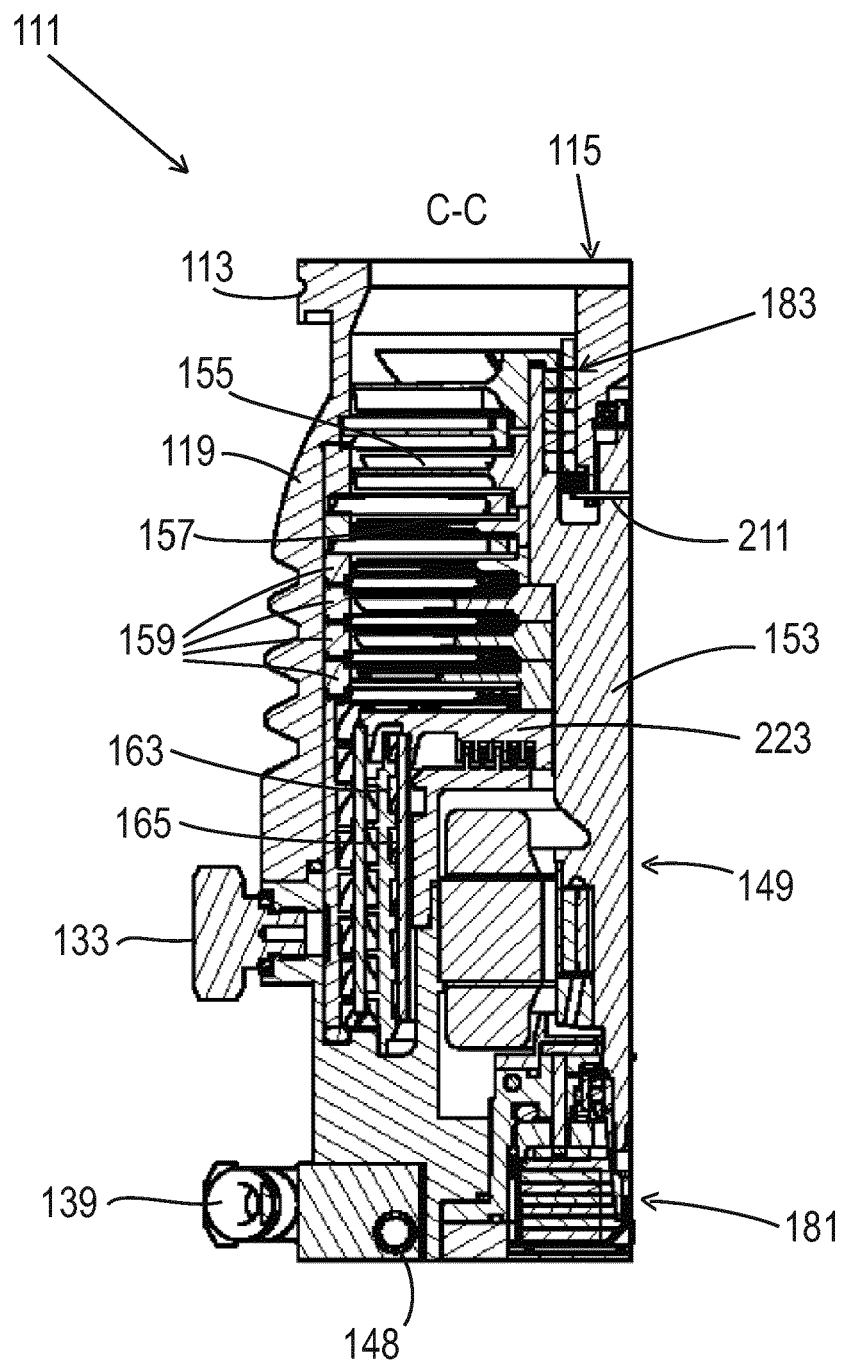
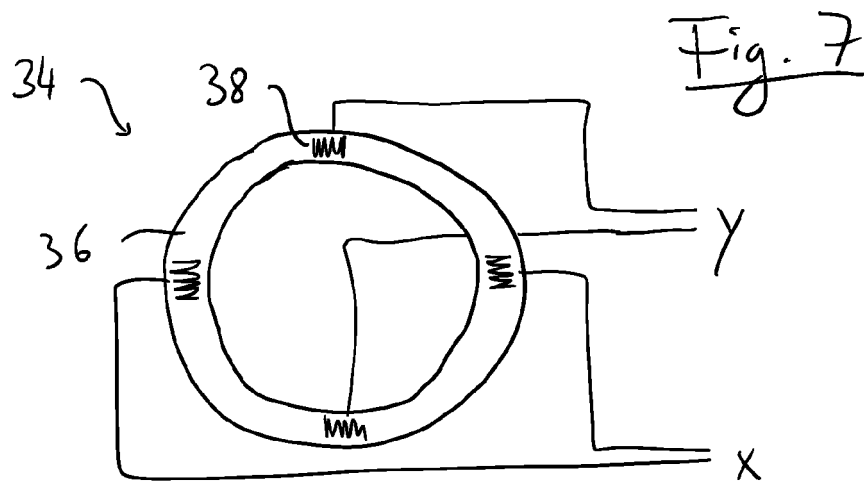
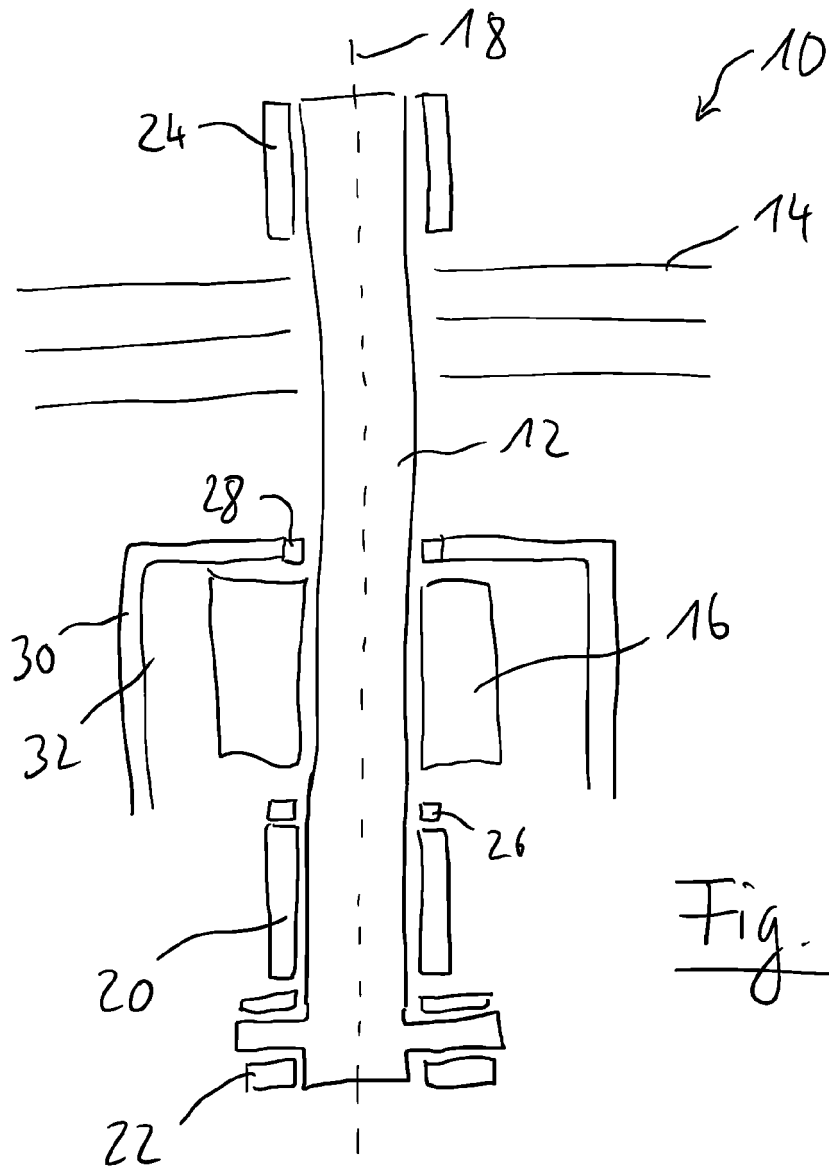


Fig. 5



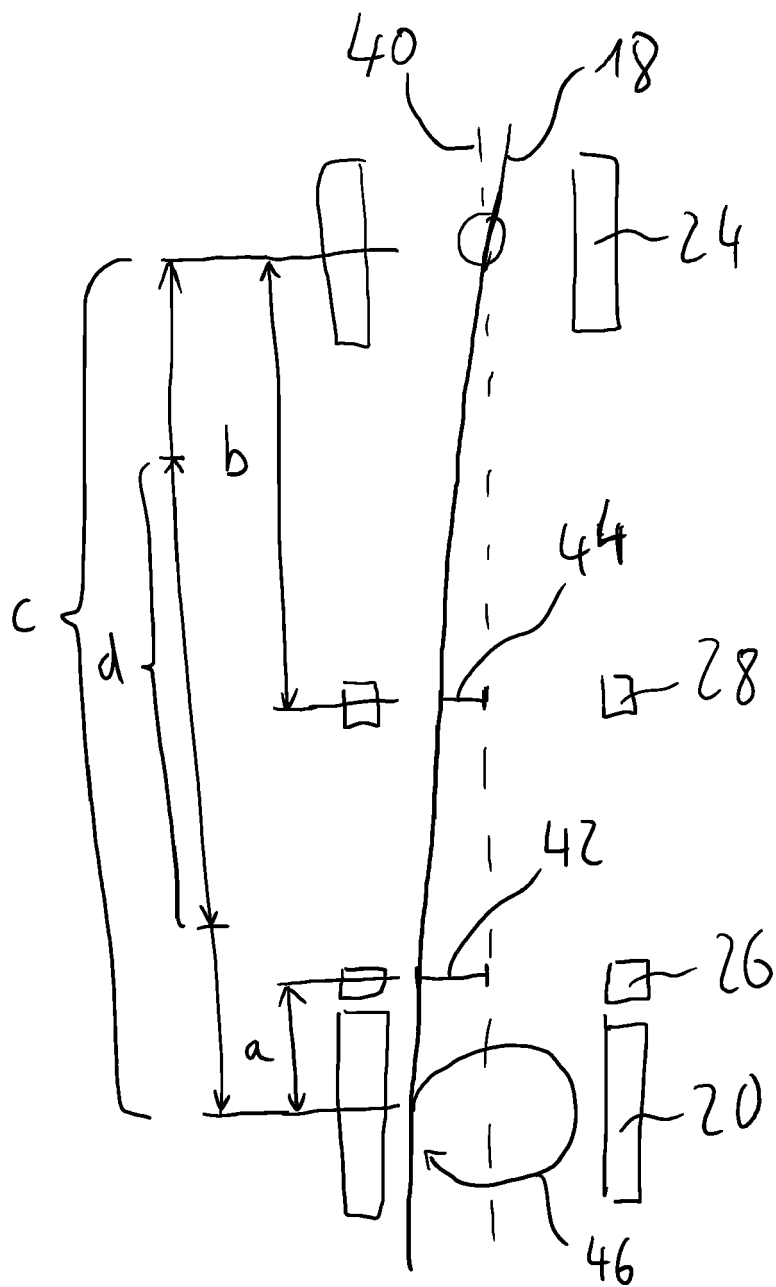


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 19 5628

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	JP 2010 216458 A (EM OYO GIJUTSU KENKYUSHO KK) 30. September 2010 (2010-09-30) * Zusammenfassung * * Absatz [0011] * * Abbildung 1 *	1-15	INV. F04D19/04 F04D27/00 F04D29/058
A	JP 2002 070857 A (EBARA CORP) 8. März 2002 (2002-03-08) * Zusammenfassung * * Absätze [0021], [0025] * * Abbildungen 1, 3 *	1-15	
A	JP 3 301619 B2 (NAT AEROSPACE LAB; EBARA CORP; EBARA RES CO LTD) 15. Juli 2002 (2002-07-15) * Absätze [0007], [0022], [0034] * * Abbildungen 1, 3 *	1-15	
A	DE 33 41 716 A (SEIKO INSTR & ELECTRONICS LTD) 24. Mai 1984 (1984-05-24) * Absätze [0019], [0027], [0050] * * Abbildungen 1-6 *	1-15	
A	JP H04 339195 A (EBARA CORP) 26. November 1992 (1992-11-26) * Zusammenfassung * * Seite 5, Zeilen 15-36 * * Seite 10, Zeilen 28-36 * * Abbildungen 1, 4-6 *	1-15	
A	WO 2019/064469 A1 (DAIKIN IND LTD [JP]) 4. April 2019 (2019-04-04) * Absätze [0001], [0009], [0108], [0109] * * Abbildungen 1, 6, 9 *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. Februar 2020	Prüfer De Tobel, David
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 19 19 5628

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

28-02-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2010216458 A	30-09-2010	KEINE	
JP 2002070857 A	08-03-2002	KEINE	
JP 3301619 B2	15-07-2002	JP 3301619 B2 JP H04300417 A	15-07-2002 23-10-1992
DE 3341716 A	24-05-1984	-----	
JP H04339195 A	26-11-1992	KEINE	
WO 2019064469 A1	04-04-2019	KEINE	

EPO FORM P0461

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