

(19)



(11)

EP 3 683 447 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
22.07.2020 Patentblatt 2020/30

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

(21) Anmeldenummer: 19218135.2

(22) Anmeldetag: 19.12.2019

(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

(72) Erfinder:
• **Gilbrich, Sönke**
35753 Greifenstein (DE)
• **Jung, Hans-Jürgen**
35644 Hohenahr (DE)
• **Schmitz, Miriam**
35606 Solms (DE)

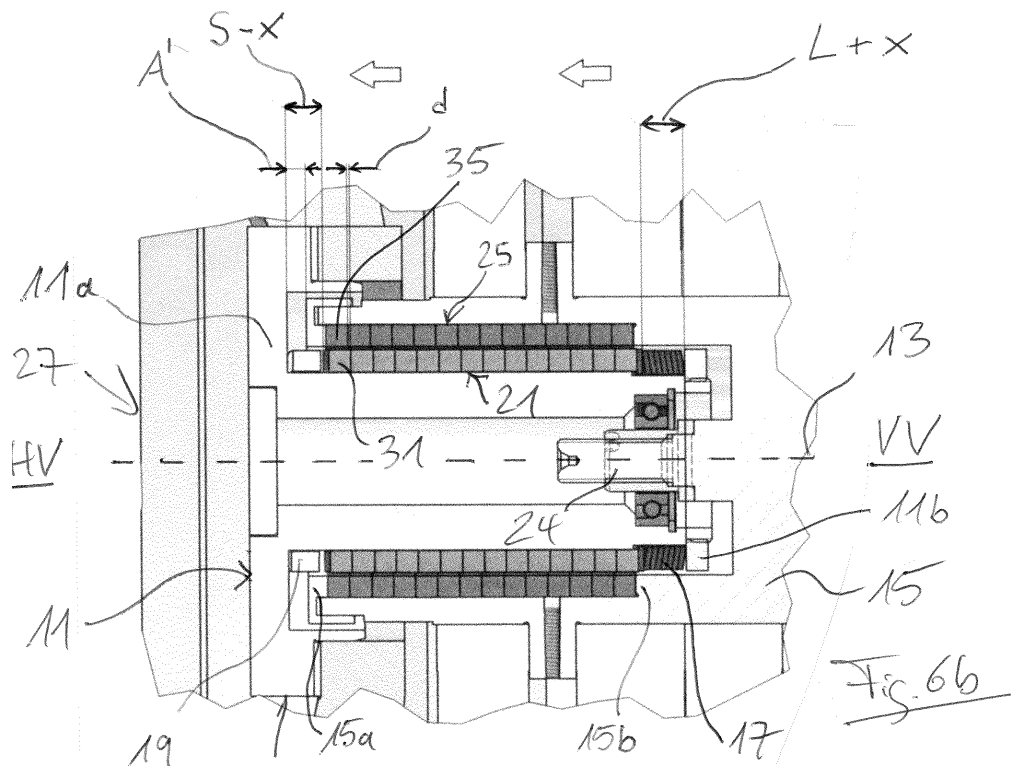
(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum GmbH**
35614 Asslar (DE)

(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, mit einem Stator und einem im Betrieb relativ zum Stator um eine Drehachse rotierenden Rotor, zwischen denen wenigstens ein radiales Magnetlager mit bezüglich der Drehachse koaxial ineinander liegenden Paketen jeweils aus mehreren axi-

al aufeinander folgenden Permanentmagnetringen angeordnet ist, wobei zumindest eines der Pakete axial zwischen zwei Stellabschnitten einer Stelleinrichtung eingespannt ist, und wobei sich die Stellabschnitte unter Wärmeeinfluss derart verhalten, dass eine axiale Verschiebung des Pakets resultiert.

**EP 3 683 447 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, mit einem Stator und einem im Betrieb relativ zum Stator um eine Drehachse rotierenden Rotor, zwischen denen wenigstens ein radiales Magnetlager mit bezüglich der Drehachse koaxial ineinander liegenden Lagerpaketen jeweils aus mehreren axial aufeinander folgenden Permanentmagnetringen angeordnet ist.

[0002] Derartige Vakuumpumpen sind grundsätzlich bekannt. Für die Praxis sind Turbomolekularvakuum-pumpen von besonderer Bedeutung. Die Pumpwirkung beruht hierbei auf einer Anordnung aus dem Stator zugeordneten Statorschaufeln und Rotorscheaufeln, die mit dem Rotor verbunden sind. Bei einem typischen Aufbau einer Turbomolekularvakuumpumpe verläuft die Drehachse des Rotors parallel zur Pumprichtung, die von einer auch als Hochvakuumseite (HV-Seite) bezeichneten, mit einem Pumpeneinlass versehenen Ansaugseite der Pumpe zur auch als Vorvakuum-Seite (VV-Seite) bezeichneten Auslassseite der Pumpe verläuft.

[0003] Die Lagerung des Rotors erfolgt in der Praxis typischerweise durch eine sogenannte Hybridlagerung. Auf der Hochvakuumseite befindet sich das bereits erwähnte Magnetlager zwischen Rotor und Stator. Auf der Vorvakuumseite ist der Rotor mittels eines Wälzlagers, insbesondere eines Kugellagers, gelagert.

[0004] Die Rotoren von Vakuumpumpen und insbesondere von Turbomolekularvakuum-pumpen rotieren während des Betriebs mit sehr hohen Drehzahlen. Im Betrieb kommt es daher zu einer Erwärmung der Pumpe und dabei insbesondere des Rotors. Die Folge ist eine vergleichsweise hohe Wärmeausdehnung des Rotors insbesondere in axialer Richtung, also parallel zur Drehachse.

[0005] Dies führt in der Praxis zu Problemen. Grundsätzlich ist für das Magnetlager eine axiale Vorspannung erforderlich. Dies bedeutet, dass das Lagerpaket des Rotors und das Lagerpaket des Stators axial gegeneinander verschoben sind, so dass kein Rotor-Permanentmagnetlagerring exakt auf der gleichen axialen Höhe liegt wie ein Stator-Permanentmagnetlagerring. Bislang erfolgt die Vorspannung des Magnetlagers in der Praxis meist derart, dass das Rotorlagerpaket, also der Stapel der rotorseitigen Permanentmagnetringe, in Richtung der Vorvakuumseite gegenüber dem Statorlagerpaket verschoben ist. Diese bei der Herstellung der Vakuumpumpe vorgenommene Einstellung des rotorseitigen Magnetlagers ist der vorstehend erwähnten Wärmeausdehnung des Rotors im Betrieb geschuldet. Denn aufgrund der betriebsbedingten Erwärmung des Rotors und der daraus resultierenden axialen Wärmeausdehnung des Rotors verändert sich die Relativposition zwischen dem rotorseitigen Magnetlagerpaket und dem statorseitigen Magnetlagerpaket. Dies führt allerdings zu einer Veränderung der Vorspannung des Magnetlagers, was zur Folge hat, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Rotor

eine plötzliche Bewegung in Richtung der Hochvakuumseite ausführt. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem "Springen" des zuvor "vorvakuumseitig laufenden" Rotors, der anschließend "hochvakuumseitig" läuft.

[0006] Dieses in der Praxis beobachtete Phänomen hat zum einen den Nachteil, dass aufgrund des Springens des Rotors das Wälzlager des Rotors durch mechanische Schläge einer übermäßigen Beanspruchung ausgesetzt ist. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die Vorspannung des Magnetlagers der Pumpe von der Betriebstemperatur abhängig ist, d.h. die Pumpe mit unterschiedlichen Vorspannungen läuft. Hieraus resultiert ein in der Praxis regelmäßig beobachtetes unruhiges Laufverhalten, was von den Anwendern als nachteilig empfunden wird.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Pumpe der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass ein unruhiges Laufverhalten aufgrund einer betriebsbedingten Erwärmung der Pumpe vermieden wird und insbesondere die Vorspannung des Magnetlagers zumindest im Wesentlichen unabhängig von der Betriebstemperatur der Pumpe ist.

[0008] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Anspruchs 1. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zumindest eines der Lagerpakete axial zwischen zwei Stellabschnitten einer Stelleinrichtung eingespannt ist, wobei sich die Stellabschnitte unter Wärmeeinfluss derart verhalten, dass eine axiale Verschiebung des zwischen den Stellabschnitten eingespannten Lagerpakets resultiert, wobei insbesondere die Stellabschnitte sich hinsichtlich einer in axialer Richtung wirkenden, durch Wärmeeinfluss hervorgerufenen Änderung ihrer Abmessung und/oder ihrer Form und/oder ihrer Steifigkeit voneinander unterscheiden.

[0009] Erfindungsgemäß verhalten sich die beiden Stellabschnitte unter Wärmeeinfluss derart, dass eine axiale Verschiebung des betreffenden, zwischen den beiden Stellabschnitten eingespannten Lagerpakets resultiert. Hierdurch kann die erfindungsgemäße Stelleinrichtung ein unterschiedliches Temperaturverhalten von Rotor und Stator ausgleichen und so verhindern, dass sich die axiale Relativposition zwischen Rotorlagerpaket und Statorlagerpaket aufgrund einer Erwärmung der Pumpe verändert. Dadurch kann auch die Vorspannung des Magnetlagers beibehalten werden, so dass die Pumpe zu jedem Zeitpunkt und folglich unabhängig von ihrer Betriebstemperatur in einem definierten Betriebszustand läuft.

[0010] Da die Permanentmagnetringe praktisch nicht komprimierbar sind, ist unter einem Einspannen des betreffenden Lagerpakets durch die beiden Stellabschnitte der Stelleinrichtung keine Kompression des Lagerpakets zu verstehen. Vielmehr ist unter dem Einspannen zu verstehen, dass die Stelleinrichtung, also die beiden Stellabschnitte, eine ausreichende Steifigkeit aufweist, um zu verhindern, dass sich die Lagerringe des betreffenden Lagerpakets voneinander abstoßen und sich verschie-

ben können, was die Einstellung einer definierten Vorspannung unmöglich machen würde.

[0011] Mögliche Ausführungsformen der Erfindung sind in den Ansprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie der Zeichnung angegeben.

[0012] Insbesondere können sich die Stellabschnitte hinsichtlich einer in axialer Richtung wirksamen, durch Wärmeeinfluss hervorgerufenen Änderung ihrer Abmessung und/oder ihrer Form und/oder ihrer Steifigkeit voneinander unterscheiden.

[0013] Beispielsweise können die Stellabschnitte jeweils eine im Ausgangszustand vorgespannte Federanordnung umfassen, von denen die eine unter Wärmeeinfluss stärker an Steifigkeit verliert oder gewinnt als die andere, so dass eine auf das Paket in axialer Richtung wirkende Kraft resultiert.

[0014] Ein Stellabschnitt kann sich z.B. bei einer Temperaturerhöhung um ein Maß ausdehnen, das durch seinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten bestimmt ist. Eine Veränderung der Abmessung des Stellabschnitts in axialer Richtung kann sich alternativ oder zusätzlich auch durch eine Änderung der Form des Stellabschnitts ergeben, die durch eine Temperaturänderung hervorgerufen wird. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn der Stellabschnitt zumindest teilweise aus verschiedenen Materialien besteht, die sich hinsichtlich ihres thermischen Ausdehnungskoeffizienten voneinander unterscheiden, wie es beispielsweise bei Bimetallen der Fall ist.

[0015] Des Weiteren kann sich in manchen Ausführungsformen einer der Stellabschnitte unter Wärmeeinfluss so verformen, dass seine axiale Bauhöhe entweder zunimmt oder abnimmt, während der andere Stellabschnitt derart ausgestaltet ist, dass er entweder durch das aufgrund der Bauhöhenzunahme mit einer axial wirksamen Kraft beaufschlagte Lagerpaket axial komprimiert wird oder sich - ausgehend von einem komprimierten Ausgangszustand - aufgrund der Bauhöhenabnahme entspannt, also axial ausdehnt, und dadurch das Paket mit einer axial wirksamen Kraft beaufschlagt. Im Ergebnis wird das Lagerpaket, das selbst axial nicht komprimierbar ist, in beiden Fällen also axial verschoben.

[0016] Eine Bauhöhenzunahme oder eine Bauhöhenabnahme eines Stellabschnitts kann durch eine beliebige Verformung und/oder durch eine Wärmeausdehnung erfolgen.

[0017] Allgemeiner ausgedrückt kann erfindungsgemäß also vorgesehen sein, dass einer der Stellabschnitte (der z.B. aus einem Bimetall hergestellt ist) sich bei einer Temperaturänderung unmittelbar selbst in einer in axialer Richtung wirksamen Weise verformt, während der andere Stellabschnitt (bei dem es sich z.B. um eine Feder aus einem beliebigen Material handelt) so ausgebildet ist, dass er hierauf durch eine ebenfalls axial, mit gleichem Betrag, aber in die entgegengesetzte Richtung, wirksame Verformung reagieren kann. Dabei muss der andere Stellabschnitt nicht so ausgebildet sein, dass er sich - wie z.B. ein aus einem Bimetall hergestellter Stell-

abschnitt - aufgrund der Temperaturänderung unmittelbar selbst verformt. Vielmehr kann der andere Stellabschnitt so ausgebildet sein (z.B. als ein Federelement), dass er sich dadurch verformt, dass er komprimiert wird oder sich entspannt, wenn die mittels des Lagerpakets auf ihn ausgeübte Kraft erhöht bzw. verringert wird. Hierdurch wird erreicht, dass das Paket zu jedem Zeitpunkt zwischen den Stellabschnitten eingespannt ist und somit eine definierte axiale Position einnimmt. Außerdem kann hierdurch eine ausreichende Steifigkeit der von den beiden Stellabschnitten gebildeten Stelleinrichtung gewährleistet werden.

[0018] Es kann also vorgesehen sein, dass sich der eine - der insofern agierende - Stellabschnitt aufgrund der Temperaturänderung unmittelbar selbst verformt, während der andere - der insofern reagierende - Stellabschnitt sich ebenfalls verformt, aber eben nicht unmittelbar aufgrund der Temperaturänderung, sondern als Reaktion auf eine Änderung der axial über das Lagerpaket einwirkenden Kraft. Ist diese Änderung eine Verringerung der Kraft, entspannt sich der reagierende Stellabschnitt. Vergrößert sich die Kraft, wird der reagierende Stellabschnitt komprimiert.

[0019] Dies schließt aber nicht aus, dass auch der reagierende Stellabschnitt so ausgebildet ist, dass er sich unmittelbar aufgrund einer Temperaturänderung verformt. Es kann also eine Überlagerung einer unmittelbaren Wirkung und einer mittelbaren Wirkung der Temperaturänderung erfolgen.

[0020] Die erfindungsgemäße Stelleinrichtung kann folglich einen agierenden Stellabschnitt und einen reagierenden Stellabschnitt aufweisen. Der agierende Stellabschnitt kann so ausgebildet sein, dass er bei einer Temperaturerhöhung seine axiale Bauhöhe entweder vergrößert oder verkleinert. Der agierende Stellabschnitt kann auf der VV-Seite oder auf der HV-Seite des betreffenden Lagerpakets angeordnet sein. Die Anordnung des agierenden Stellabschnitts hängt davon ab, ob dieser bei einer Temperaturerhöhung seine axiale Bauhöhe vergrößert oder verkleinert und ob das Lagerpaket bei einer Temperaturerhöhung zur W-Seite oder zur HV-Seite verschoben werden soll. Soll das Lagerpaket z.B. zur HV-Seite verschoben werden und ist der agierende Stellabschnitt so ausgebildet, dass er bei einer Temperaturerhöhung seine axiale Bauhöhe verkleinert, wird der agierende Stellabschnitt auf der HV-Seite des Lagerpakets angeordnet.

[0021] In einigen Ausführungsformen kann vorgesehen sein, dass die Stelleinrichtung am Stator angeordnet ist und mit ihren Stellabschnitten das statorseitige Lagerpaket einspannt. Dehnt sich der Rotor im Betrieb aufgrund der Erwärmung in axialer Richtung aus und kommt es hierdurch zu einer axialen Verschiebung des Rotorlagerpakets, kann durch die beiden das Statorlagerpaket einspannenden Stellabschnitte erreicht werden, dass das Statorlagerpaket mit der wärmebedingten Bewegung des Rotorlagerpakets gewissermaßen "mitwandert".

[0022] Dementsprechend kann in manchen Ausführungsformen vorgesehen sein, dass das statorseitige Lagerpaket zwischen den Stellabschnitten eingespannt und das Temperaturverhalten der Stelleinrichtung auf das Temperaturverhalten des Rotors derart abgestimmt ist, dass die axiale Relativposition der beiden Lagerpakete im Betrieb zumindest im Wesentlichen unverändert bleibt.

[0023] Die Erfindung ist aber nicht darauf beschränkt, die erfindungsgemäße Stelleinrichtung für das Statorpaket vorzusehen. Alternativ kann die Stelleinrichtung auch am Rotor angeordnet sein und mit Stellabschnitten das rotorseitige Lagerpaket einspannen. Dementsprechend kann in manchen Ausführungsformen vorgesehen sein, dass das rotorseitige Lagerpaket zwischen den Stellabschnitten eingespannt und das Temperaturverhalten der Stelleinrichtung auf das Temperaturverhalten des Stators derart abgestimmt ist, dass die axiale Relativposition der beiden Lagerpakete im Betrieb zumindest im Wesentlichen unverändert bleibt.

[0024] Bei manchen möglichen Ausführungsformen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass sich einer der Stellabschnitte im Betrieb axial ausdehnt und/oder unter Vergrößerung seiner axialen Abmessung verformt und dabei den anderen Stellabschnitt mittels des sich axial verschiebenden Pakets axial komprimiert. Alternativ kann in einigen Ausführungsformen der Erfindung vorgesehen sein, dass einer der Stellabschnitte im Betrieb axial schrumpft und/oder sich unter Verkleinerung seiner axialen Abmessung verformt und eine axiale Ausdehnung und/oder Vergrößerung des anderen, zuvor komprimierten, Stellabschnitts erlaubt, der dadurch das Lagerpaket axial verschiebt.

[0025] Zumindest einer der Stellabschnitte kann wenigstens ein Stellelement umfassen, das zumindest teilweise aus einem Bimetall besteht. Ein Bimetall zeichnet sich dadurch aus, dass es unterschiedliche Metalle umfasst, die sich hinsichtlich ihrer Wärmeausdehnungskoeffizienten voneinander unterscheiden. Hierdurch verändert das Bimetall bei einer Temperaturänderung seine Form, beispielsweise im Sinne einer Verbiegung. Dieser Effekt kann für die Erfindung ausgenutzt werden, um bei einer Erwärmung der Pumpe für eine ausreichend große Ausdehnung oder Schrumpfung des Stellelementes und/oder Formänderung des Stellelementes in axialer Richtung zu sorgen.

[0026] Beispielsweise kann das zumindest teilweise aus einem Bimetall bestehende Stellelement derart ausgebildet sein, dass es ausgehend von einem flachen oder leicht gewölbten Zustand bei einer Temperaturerhöhung in einen gewölbten oder stärker gewölbten Zustand übergeht, oder umgekehrt. Vorzugsweise kann das Stellelement in dem gewölbten bzw. stärker gewölbten Zustand wie eine Tellerfeder geformt sein. Tellerfedern sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt und zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie in der Lage sind, auf vergleichsweise kleinem Raum relativ große Kräfte zu übertragen. Erfindungsgemäß kann eine einzige von ei-

nem Bimetall gebildete Tellerfeder eingesetzt werden. Alternativ ist es möglich, ein Tellerfederpaket aus mehreren gestapelten Bimetall-Tellerfedern vorgesehen sein.

[0027] In manchen Ausführungsformen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass zumindest einer der Stellabschnitte, insbesondere der im vorstehend erläuterten Sinne reagierende Stellabschnitt, wenigstens ein Federelement umfasst. Bei dem Federelement kann es sich beispielsweise um eine sogenannte Wellenfeder handeln. Wellenfedern sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt. Diese bestehen typischerweise aus einem oder aus mehreren übereinander liegenden, kreis-, teilkreis-, ring- oder teiltringförmigen Metallstreifen, die jedoch jeweils nicht in einer einzigen Ebene liegen, sondern in Umfangsrichtung eine Wellenform aufweisen, d.h. eine dreidimensionale Form besitzen.

[0028] Auch der im vorstehend erläuterten Sinne agierende Stellabschnitt kann eine Wellenfeder umfassen, die zumindest teilweise aus einem Bimetall hergestellt ist, d.h. ein ein Bimetall umfassendes Stellelement des agierenden Stellabschnitts muss nicht - wie im vorstehenden Beispiel erläutert - nach Art einer oder mehrerer Tellerfedern ausgebildet sein. Die Wellenfeder des agierenden Stellabschnitts kann derart ausgebildet sein, dass sich die Amplitude ihrer Wellenform und damit die axial wirksame Bauhöhe bei einer Temperaturerhöhung verändert. Dabei kann die Wellenfeder so ausgebildet sein, dass entweder in einem Nichtbetriebszustand oder in einem Betriebszustand die Amplitude Null ist oder nur geringfügig von Null verschieden ist, die Wellenfeder also flach oder im Wesentlichen flach ist und sich erst bei einer Temperaturveränderung - entweder einer Temperaturerhöhung oder einer Temperaturverringerung - so verformt, dass sie eine Wellenform einnimmt.

[0029] Einige Ausführungsformen der Erfindung können für die erfindungsgemäße Stelleinrichtung eine Kombination aus zwei Stellabschnitten aufweisen, wobei der eine Stellabschnitt ein zumindest teilweise aus einem Bimetall bestehendes Stellelement, beispielsweise in Form einer oder mehrerer Tellerfedern, und der andere Stellabschnitt ein Federelement umfasst, beispielsweise in Form einer Wellenfeder. Dabei kann vorgesehen sein, dass das zumindest teilweise aus einem Bimetall bestehende Stellelement auf der Vorvakuumseite des Magnetlagers und das Federelement auf der Hochvakuumseite des Magnetlagers angeordnet ist. Die umgekehrte Anordnung der beiden Stellelemente ist jedoch erfindungsgemäß ebenfalls möglich, d.h. das zumindest teilweise aus einem Bimetall bestehende Stellelement kann in alternativen Ausführungsformen auf der Hochvakuumseite des Magnetlagers und das Federelement auf dessen Vorvakuumseite angeordnet sein.

[0030] Des Weiteren kann in manchen Ausführungsformen der Erfindung vorgesehen sein, dass die Stellabschnitte der erfindungsgemäßen Stelleinrichtung jeweils an ihrer vom Magnetlagerpaket abgewandten axialen Seite an einem Stützabschnitt des Stators bzw. des Ro-

tors abgestützt sind. Zwischen den beiden axial beabstandeten Stützabschnitten des Stators bzw. des Rotors sind dann mit Ausnahme der beiden Stellabschnitte und des von diesen eingespannten Magnetlagerpakets keine weiteren Komponenten - gegebenenfalls mit Ausnahme von Distanzelementen wie nachstehend erläutert - angeordnet.

[0031] Die Stellabschnitte können jeweils zusätzlich zu einem oder mehreren verformbaren Stellelementen, z.B. wie sie vorstehend erläutert worden sind, ein Distanzelement umfassen, welches zwischen dem betreffenden Stellelement und dem von diesem aus gesehen ersten Permanentmagnetlagering angeordnet ist. Das Distanzelement kann also ein Bestandteil des jeweiligen Stellabschnitts sein oder als ein solcher Bestandteil betrachtet werden. Dies ist aber nicht zwingend. Die Distanzelemente können jeweils eine Komponente zwischen dem Lagerpaket und dem Stellabschnitt sein oder als eine solche Komponente betrachtet werden. Durch ein solches Distanzelement kann der betreffende Lagerring insbesondere vor Beschädigungen aufgrund der Verformung des Stellelementes geschützt werden. Die axiale Schichtung stellt sich dann also wie folgt dar: VV-seitiger Stützabschnitt - W-seitiges Stellelement - W-seitiges Distanzelement - Permanentmagnetringlagerpaket - HV-seitiges Distanzelement - HV-seitiges Stellelement - HV-seitiger Stützabschnitt.

[0032] Wie eingangs bereits erwähnt, sind bei den bekannten Magnetlagern, wie sie vorzugsweise bei einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe vorgesehen sein können, die beiden Magnetlagerpakete in axialer Richtung gegeneinander verschoben. Diese Vorspannung des Magnetlagers wird als Voreinstellung bei der Herstellung der Pumpe vorgenommen. Dabei kann dasjenige Lagerpaket, das nicht durch die Stelleinrichtung eingespannt ist, entweder in Richtung einer Vorvakuumseite oder einer Hochvakuumseite des Magnetlagers gegenüber dem durch die Stelleinrichtung eingespannten Lagerpaket verschoben sein. In beiden Fällen ist durch die Erfindung sichergestellt, dass das Rotorlagerpaket auf der voreingestellten Seite bleibt und sich während des Betriebs ein stabiler Zustand einstellt.

[0033] Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

- 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 Schnittrlinie A-A,
- Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2

gezeigten Schnittrlinie B-B,

- Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittrlinie C-C,
- Fig. 6a und 6b jeweils teilweise einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe entlang der Drehachse des Rotors in einem Nichtbetriebszustand (Fig. 6a) und einem Betriebszustand (Fig. 6b), und
- Fig. 7a und 7b jeweils eine Darstellung entsprechend Fig. 6a bzw. Fig. 6b, wobei jeweils ausschließlich der Stator der Pumpe gezeigt ist.

[0034] 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.

[0035] 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 (vgl. auch Fig. 3). Am Elektronikgehäuse 123 sind mehrere Anschlüsse 127 für Zubehör vorgesehen. Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z.B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0036] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0037] 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, eingelassen 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. Andere existierende Turbomolekularvakuum pumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0038] 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. Grundsätzlich sind dabei beliebige Winkel möglich.

[0039] Andere existierende Turbomolekularvakuum pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[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. Dies ist bei anderen existierenden Turbomolekularvakuum pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[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. Es existieren andere Turbomolekularvakuum pumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 167, 169 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.

[0051] 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.

[0052] 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. Bei anderen existierenden Turbomolekularvakuum pumpen (nicht dargestellt) kann anstelle einer Spritzmutter eine Spritzschraube vorgesehen sein. Da somit unterschiedliche Ausführungen möglich sind, wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff "Spritzspitze" verwendet.

[0053] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0054] 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.

[0055] 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 201 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.

[0056] 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, damit 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.

[0057] 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.

[0058] 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 Vorvakuum pumpen bewirkte Vakuumdruck.

[0059] 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 137 gegenüber den radial außerhalb liegenden Holweck-Pumpstufen zu erreichen.

[0060] Die nachfolgend anhand eines möglichen Ausführungsbeispiels erläuterte Erfindung kann bei Turbomolekularvakuum pumpen eingesetzt werden, wie sie vorstehend beispielhaft anhand der Fig. 1 bis 5 beschrieben und im Zusammenhang mit der Beschreibung der

Fig. 1 bis 5 erwähnt, aber nicht dargestellt, worden ist.

[0061] Die in den Fig. 6a und 6b sowie 7a und 7b nicht dargestellten Bestandteile einer erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe entsprechen dem herkömmlichen Aufbau einer derartigen Pumpe, wie er beispielsweise anhand der Fig. 1 bis 5 beschrieben worden ist.

[0062] Ein um eine Drehachse 13 drehbar gelagerter und mit Rotorscheufeln versehener Rotor 15 ist im Bereich seines der Hochvakuumseite HV, also dem Pumpeneinlass 27 der Vakuumpumpe, zugewandten axialen Endes mit einer im Folgenden auch als Rotorlagerpaket 25 bezeichneten Anordnung aus mehreren axial aufeinander folgenden Permanentmagnetringen 35 versehen. An seinem entgegengesetzten axialen Ende, das der Vorvakuumseite VV der Pumpe zugewandt ist, ist der Rotor 15 durch ein Wälzlager (nicht dargestellt) an einem Gehäuse oder einem Unterteil der Pumpe (nicht dargestellt) abgestützt.

[0063] Das Rotorlagerpaket 25 ist VV-seitig an einem von einer Schulter gebildeten Stützabschnitt 15b des Rotors 15 und HV-seitig an einem stirnseitigen Abschlussabschnitt 15a des Rotors 15 axial abgestützt. Mit dem Abschlussabschnitt 15a werden die Ringe 35 lückenlos zusammengepresst.

[0064] Der in den Fig. 7a und 7b jeweils separat dargestellte Stator 11 der erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe ist ebenfalls mit einer Anordnung aus mehreren axial aufeinander folgenden Permanentmagnetringen 31 versehen, die im Folgenden auch als Statorlagerpaket 21 bezeichnet wird. Dieses Statorlagerpaket 21 sowie das Lagerpaket 25 des Rotors 15 (vgl. Fig. 6a und 6b) bilden das radiale Magnetlager der erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe für deren Rotor 15 und dabei die HV-seitige Lagerstelle des Rotors 15 im Bereich des Einlasses 27 der Pumpe.

[0065] An seinem vorvakuumseitigen axialen Ende ist der Stator 11 mit einem auch als Sicherheitslager bezeichneten Notlager 23 in Form eines Wälzlagers versehen, das bei einer übermäßigen, nicht einem normalen Betriebszustand entsprechenden Auslenkung des Rotors 15 mit einem Zapfen 24 des Rotors 15 zusammenwirkt, um eine Beschädigung des Magnetlagers 21, 25 zu verhindern.

[0066] An seinem hochvakuumseitigen axialen Ende ist der Stator 11 mit einem Flanschabschnitt 29 versehen, der zum einen als axialer Stützabschnitt 11a für das Statorlagerpaket 21 und zum anderen zur HV-seitigen Fixierung des Stators 11 am nicht dargestellten Pumpengehäuse dient. Hierzu kann der Flanschabschnitt 29 mit einem sternförmigen Abschlussabschnitt des Pumpengehäuses (nicht dargestellt) verbunden werden, der sich senkrecht zur Drehachse 13 in der Einlassöffnung des Pumpengehäuses erstreckt und eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten, in radialer Richtung verlaufenden Armen umfasst.

[0067] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel unterscheidet sich die erfindungsgemäße Turbomolekular-

vakuumpumpe von herkömmlichen Pumpen dieser Art durch die axiale Aufnahme des Statorlagerpakets 21. Dieses ist nicht unmittelbar, sondern W-seitig und HV-seitig jeweils über einen Stellabschnitt 17 bzw. 19 an einem jeweiligen Stützabschnitt 11b bzw. 11a axial abgestützt.

[0068] W-seitig ist zwischen dem Statorlagerpaket 21 und dem betreffenden Stützabschnitt 11b des Stators 11 ein Stellabschnitt 17 in Form eines Tellerfederpakets vorgesehen, wobei die einzelnen Tellerfedern jeweils aus einem Bimetall hergestellt sind. In einem Nichtbetriebszustand gemäß Fig. 7a besitzen die einzelnen Tellerfedern einen flachen oder nur geringfügig gewölbten Zustand. In einem Betriebszustand gemäß Fig. 7b, in welchem sich aufgrund der betriebsbedingten Erwärmung der Pumpe auch die Tellerfedern erwärmt haben, sind diese in einen stärker gewölbten Zustand übergegangen, womit sich insgesamt die axiale Höhe dieses Stellabschnitts 17 gegenüber der Ausgangslage (Fig. 7a) vergrößert hat.

[0069] Bei einer betriebsbedingten Erwärmung der Pumpe wird das Statorlagerpaket 21 folglich durch den Stellabschnitt 17 in axialer Richtung zur HV-Seite verschoben. Dort ist zwischen dem Statorlagerpaket 21 und dem Stützabschnitt 11a des Flanschabschnitts 29 des Stators 11 ein Federelement 19 beispielsweise in Form einer oder mehrerer Wellenfedern angeordnet. Dieses Federelement 19 bildet einen weiteren Stellabschnitt, der zusammen mit dem Tellerfederpaket 17 eine erfindungsgemäße Stelleinrichtung für das Statorlagerpaket 21 bildet.

[0070] Bei einer Temperaturerhöhung wird das insofern passive oder reagierende Federelement 19 also mittelbar über das zur HV-Seite hin verschobene Statorlagerpaket 17 durch den insofern aktiven oder agierenden Stellabschnitt 17 komprimiert, und zwar um ein Maß, das die Zunahme der axialen Höhe des Stellabschnitts 17 kompensiert.

[0071] Diese resultierende Bewegungsrichtung des Statorlagerpakets 21 korrespondiert mit derjenigen Richtung, in die sich in dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel unter Wärmeeinfluss der Rotor 15 ausdehnt und sich folglich das Rotorlagerpaket 25 bewegt.

[0072] Die sich unter Wärmeeinfluss, also in einem Betriebszustand gegenüber einem Nichtbetriebszustand ergebenden, geometrischen Verhältnisse sind in den Fig. 6a und 6b dargestellt, die jeweils den betriebsfähigen Zustand der Vakuumpumpe zeigen, in welchem die beiden Magnetlagerpakete 21, 25 des Magnetlagers koaxial ineinander liegend angeordnet sind, wobei sich das Statorlagerpaket 21 radial innerhalb des Rotorlagerpakets 25 befindet und der Zapfen 24 des Rotors 15 von dem Notlager 23 des Stators 11 umgeben ist.

[0073] In einem Nichtbetriebszustand oder Ausgangszustand gemäß Fig. 6a ist das Rotorlagerpaket 25 zur VV-Seite hin eingestellt. Auf der Hochvakuum-Seite bezeichnet A den axialen Abstand zwischen dem Stator 11 und dem Abschlussabschnitt 15a des Rotors 15. Die

auch als Einbauhöhe bezeichnete axiale Höhe des Federelements 19 des Stators 11 ist mit S bezeichnet. Mit d ist dasjenige Maß bezeichnet, um welches die Permanentmagnetringe 31 des Statorlagerpakets 21 gegenüber den Permanentmagnetringen 35 des Rotorlagerpakets 25 axial versetzt sind. Mit L ist schließlich die axiale Höhe des VV-seitigen Stellabschnitts 17 des Stators 11, also des Bimetall-Tellerfederstapels, bezeichnet.

[0074] Wenn sich die Pumpe und dabei insbesondere der Rotor 15 während des Betriebs erwärmt, stellen sich die geometrischen Verhältnisse des Betriebszustands gemäß Fig. 6b ein. Der Rotor 15 hat sich unter Wärmeeinfluss in axialer Richtung um ein bestimmtes Maß in Richtung der HV-Seite der Pumpe ausgedehnt, so dass nunmehr der axiale Abstand zwischen Stator 11 und Abschlussabschnitt 15a des Rotors 15 $A' < A$ beträgt. Gleichzeitig hat sich unter dem Wärmeeinfluss der Bimetall-Tellerfederstapel derart verformt, dass die axiale Höhe L dieses W-seitigen Stellabschnitts 17 um ein Maß x zugenommen hat und nunmehr $L + x$ beträgt. Um das gleiche Maß x hat die Einbauhöhe des HV-seitigen Federelements 19 des Stators 11, das durch das axial bewegte Statorlagerpaket 21 komprimiert worden ist, abgenommen, so dass nunmehr die Einbauhöhe des Federelements 19 $S - x$ beträgt.

[0075] Mit anderen Worten hat sich das Statorlagerpaket 21 unter dem Wärmeeinfluss aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der die beiden Stellabschnitte 17, 19 umfassenden Stelleinrichtung in axialer Richtung um das Maß x zur HV-Seite hin bewegt. Dabei sind erfindungsgemäß die beiden Stellabschnitte 17, 19 derart ausgelegt worden, dass das Maß x demjenigen axialen Maß A - A' entspricht, um welches sich der Rotor 15 in axialer Richtung ausgedehnt und das Rotorlagerpaket 25 zur HV-Seite hin bewegt hat. Mit anderen Worten ist unter dem Wärmeeinfluss das Statorlagerpaket 21 mit dem Rotor 15 zur HV-Seite hin "mitgewandert".

[0076] Der axiale Versatz d zwischen den Permanentmagnetringen 31 des Statorlagerpakets 21 einerseits und den Permanentmagnetringen 35 des Rotorlagerpakets 25 andererseits ist dabei gleichgeblieben. Damit ist auch die Vorspannung des Magnetlagers gleichgeblieben. Die Pumpe weist folglich zu jedem Zeitpunkt ein ruhiges Laufverhalten auf. Sprünge des Rotors 15 und damit einhergehende mechanische Schlagbeanspruchungen des Wälzlagers des Rotors 15 treten nicht mehr auf. Eine übermäßige Beanspruchung des Wälzlagers und die daraus resultierenden Nachteile werden vermieden.

[0077] Die erfindungsgemäße Stelleinrichtung, insbesondere die Anordnung aus Federelement 19 und Bimetall-Tellerfederpaket 17, kann anders als in dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel alternativ auch dem Rotor 15 zugeordnet werden. Eine jeweilige Zuordnung kann individuell für jeden Typ von Vakuumpumpe in Abhängigkeit von den Temperaturverhältnissen zwischen Rotor und Stator während des Betriebs gewählt werden.

[0078] Ebenfalls abhängig vom jeweiligen Pumpentyp kann ein permanent entweder in Richtung der Vorvakuumseite - wie im vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel - oder in Richtung der Hochvakuumseite eingestellter Rotor zu einem besseren Laufverhalten führen. Entsprechend wird dann die jeweilige Einstellung des Rotors zu wählen sein. Daraus resultiert dann die relative Anordnung der beiden unterschiedlichen Stellabschnitte 17, 19 der erfindungsgemäßen Stelleinrichtung. Mit anderen Worten kann der "aktive" oder "agierende" Stellabschnitt, beispielsweise ein Bimetall-Tellerfederpaket, entweder auf der VV-Seite oder auf der HV-Seite des jeweiligen Lagerpakets angeordnet sein, während der "passive" oder "reagierende" Stellabschnitt, beispielsweise eine Wellenfeder oder ein anderes Federelement, auf der jeweils anderen axialen Seite des betreffenden Lagerpakets angeordnet ist.

Bezugszeichenliste

[0079]

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

183 Permanentmagnetlager
 185 Spritzmutter
 187 Scheibe
 189 Einsatz
 191 rotorseitige Lagerhälfte
 193 statorseitige Lagerhälfte
 195 Ringmagnet
 197 Ringmagnet
 199 Lagerspalt
 201 Trägerabschnitt
 203 Trägerabschnitt
 205 radiale Strebe
 207 Deckelelement
 209 Stützring
 211 Befestigungsring
 213 Tellerfeder
 215 Not- bzw. Fanglager
 217 Motorstator
 219 Zwischenraum
 221 Wandung
 223 Labyrinthdichtung

11 Stator
 11a Stützabschnitt des Stators
 11b Stützabschnitt des Stators
 13 Drehachse
 15 Rotor
 15a Abschlussabschnitt des Rotors
 15b Stützabschnitt des Rotors
 17 Stellabschnitt, Bimetall-Tellerfederstapel
 19 Stellabschnitt, Federelement, Wellenfeder
 21 Statorlagerpaket
 23 Notlager
 24 Zapfen des Rotors
 25 Rotorlagerpaket
 27 Pumpeneinlass
 29 Flanschabschnitt des Stators
 31 Permanentmagnetring des Statorlagerpakets
 35 Permanentmagnetring des Rotorlagerpakets
 S Einbauhöhe der Wellenfeder im Ausgangszustand
 L axiale Höhe des Bimetall-Tellerfederpakets im Ausgangszustand
 x axiale Ausdehnung des Bimetall-Tellerfederpakets unter Wärmeeinfluss
 A axialer Abstand zwischen Stator und Rotor im Ausgangszustand
 A' axialer Abstand zwischen Stator und Rotor im Betriebszustand
 d axialer Versatz zwischen Permanentmagnetringen des Stators und Permanentmagnetringen des Rotors
 W Vorvakuumseite der Pumpe
 HV Hochvakuumseite der Pumpe

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einem Stator (11) und einem im Betrieb relativ zum Stator (11) um eine Drehachse (13) rotierenden Rotor (15), zwischen denen wenigstens ein radiales Magnetlager mit bezüglich der Drehachse (13) koaxial ineinander liegenden Lagerpaketen (21, 25) jeweils aus mehreren axial aufeinander folgenden Permanentmagnetringen (31, 35) angeordnet ist, wobei zumindest eines der Lagerpakete (21) axial zwischen zwei Stellabschnitten (17, 19) einer Stellerichtung eingespannt ist, und wobei sich die Stellabschnitte (17, 19) unter Wärmeeinfluss derart verhalten, dass eine axiale Verschiebung des zwischen den Stellabschnitten (17, 19) eingespannten Lagerpakets (21) resultiert.
2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, wobei die Stellabschnitte (17, 19) sich hinsichtlich einer in axialer Richtung wirksamen, durch Wärmeeinfluss hervorgerufenen Änderung ihrer Abmessung und/oder ihrer Form und/oder ihrer Steifigkeit voneinander unterscheiden.
3. Vakuumpumpe nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Stellerichtung am Stator (11) angeordnet ist und mit ihren Stellabschnitten (17, 19) das statorseitige Lagerpaket (21) einspannt.
4. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das statorseitige Lagerpaket (21) zwischen den Stellabschnitten (17, 19) eingespannt und die Stellerichtung auf das Temperaturverhalten des Rotors (15) derart abgestimmt ist, dass die axiale Relativposition der beiden Lagerpakete (21, 25) im Betrieb zumindest im Wesentlichen unverändert bleibt, oder wobei das rotorseitige Lagerpaket (25) zwischen den Stellabschnitten (17, 19) eingespannt und die Stellerichtung auf das Temperaturverhalten des Stators (11) derart abgestimmt ist, dass die axiale Relativposition der beiden Lagerpakete (21, 25) im Betrieb zumindest im Wesentlichen unverändert bleibt.
5. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei sich einer der Stellabschnitte (17) im Betrieb axial ausdehnt und/oder unter Vergrößerung seiner axialen Abmessung verformt und dabei den anderen Stellabschnitt (19) mittels des sich axial verschiebenden Lagerpakets (21) axial komprimiert, oder wobei einer der Stellabschnitte im Betrieb axial schrumpft und/oder sich unter Verkleinerung seiner axialen Abmessung verformt und eine axiale Ausdehnung und/oder Vergrößerung des anderen, zuvor komprimierten, Stellabschnitts erlaubt, der da-

durch das Lagerpaket axial verschiebt.

Magnetlagers gegenüber dem nicht durch die Stelleinrichtung eingespannten Lagerpaket (21) verschoben ist.

6. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Stellabschnitte (17, 19) jeweils als separate Bauteile oder Baugruppen ausgebildet sind und/oder wobei die Stellabschnitte (17, 19) jeweils an ihrer vom Lagerpaket (21) abgewandten axialen Seite an einem Stützabschnitt (11b, 11a) des Stators (11) bzw. des Rotors (15) abgestützt sind. 5
10
7. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei zumindest einer der Stellabschnitte wenigstens ein Stellelement (17) umfasst, das zumindest teilweise aus einem Bimetall besteht. 15
8. Vakuumpumpe nach Anspruch 7,
wobei das Stellelement (17) derart ausgebildet ist, dass es ausgehend von einem flachen oder leicht gewölbten Zustand bei einer Temperaturveränderung in einen gewölbten oder stärker gewölbten Zustand übergeht, wobei bevorzugt das Stellelement (17) in dem gewölbten bzw. stärker gewölbten Zustand wie eine Tellerfeder geformt ist. 20
25
9. Vakuumpumpe nach Anspruch 7,
wobei das Stellelement (17) als eine Wellenfeder ausgebildet ist, bei der sich die Amplitude ihrer Wellenform bei einer Temperaturveränderung verändert. 30
10. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei zumindest einer der Stellabschnitte wenigstens ein Federelement (19) umfasst, insbesondere eine Wellenfeder. 35
11. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 40
wobei der eine Stellabschnitt ein zumindest teilweise aus einem Bimetall bestehendes Stellelement (17) und der andere Stellabschnitt ein Federelement (19) umfasst, insbesondere wobei das zumindest teilweise aus einem Bimetall bestehende Stellelement (17) auf einer Vorvakuumseite (W) des Magnetlagers und das Federelement auf einer Hochvakuumseite (HV) des Magnetlagers angeordnet ist, oder umgekehrt. 45
50
12. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die beiden Lagerpakete (21, 25) zumindest in einem Nichtbetriebszustand in axialer Richtung gegeneinander verschoben sind, wobei bevorzugt dasjenige Lagerpaket (25), das nicht durch die Stelleinrichtung eingespannt ist, in Richtung einer Vorvakuumseite (VV) oder einer Hochvakuumseite (HV) des 55

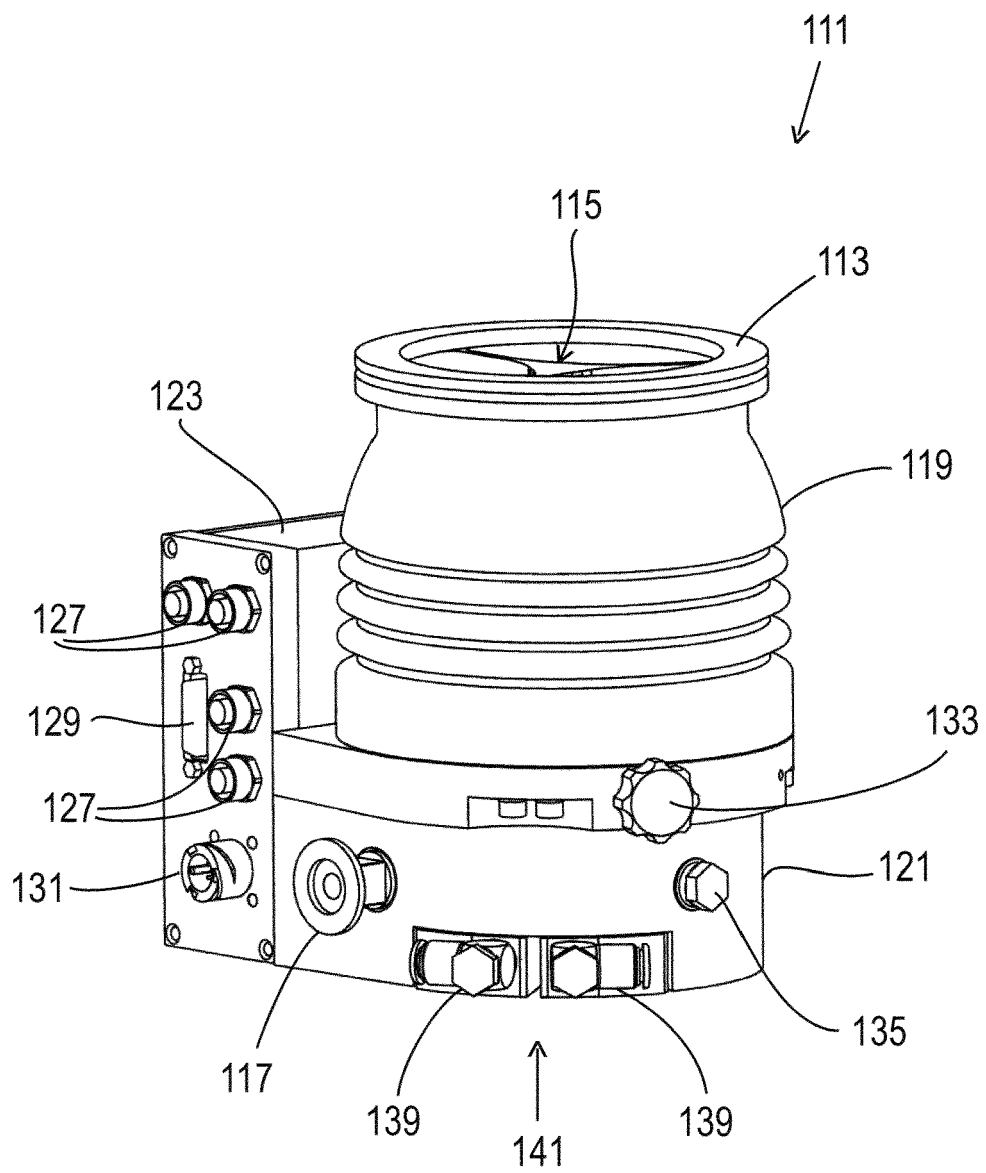


Fig. 1

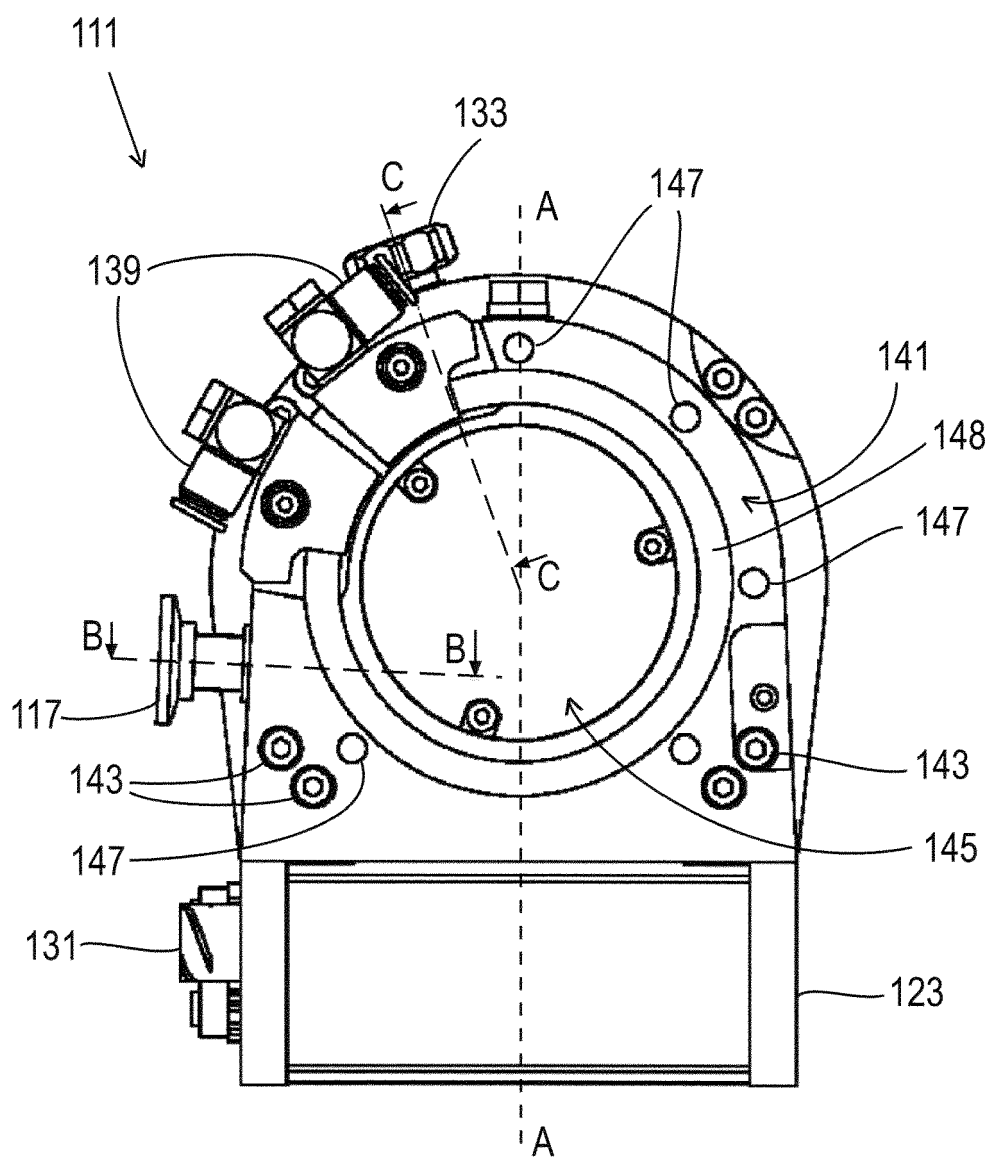


Fig. 2

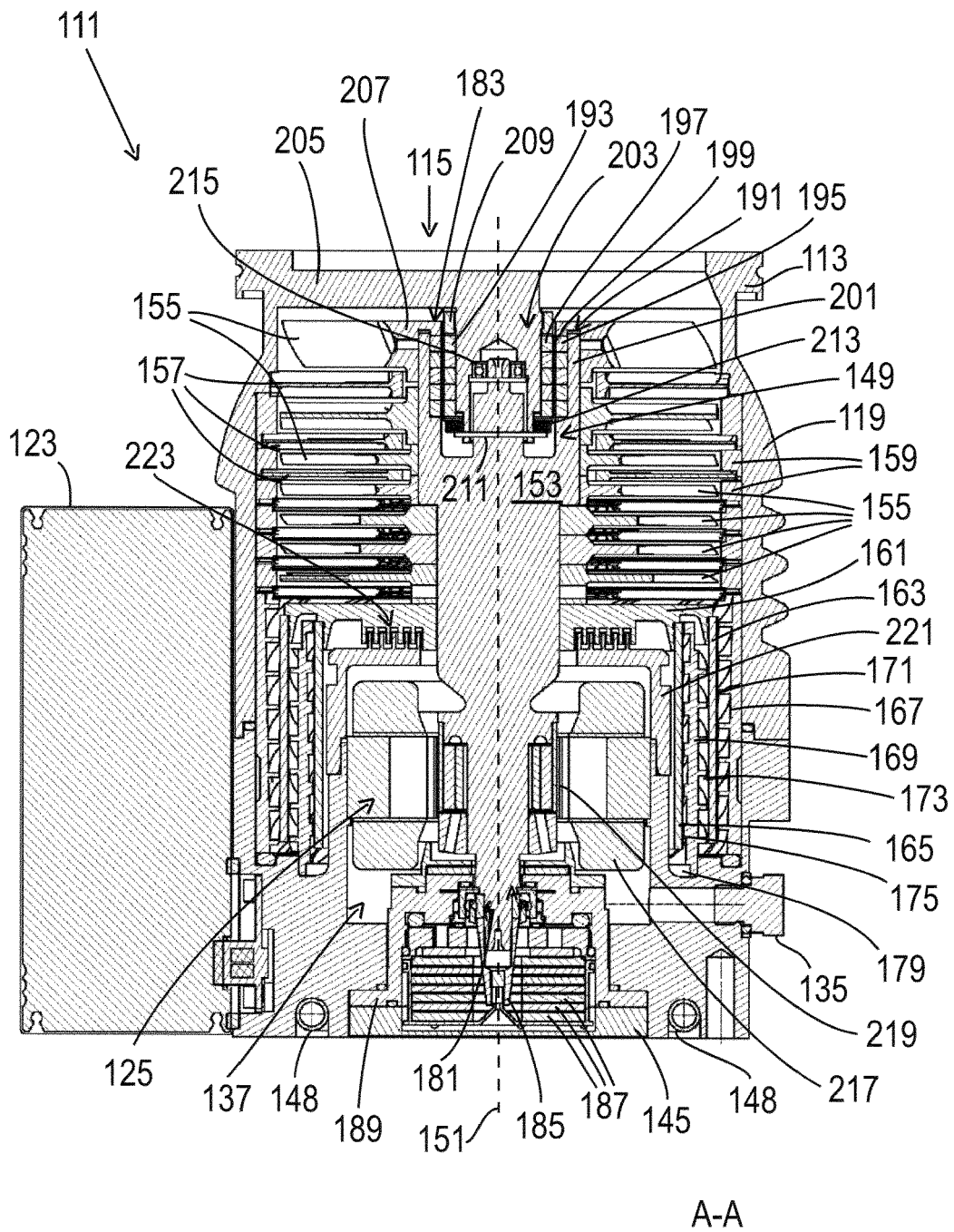


Fig. 3

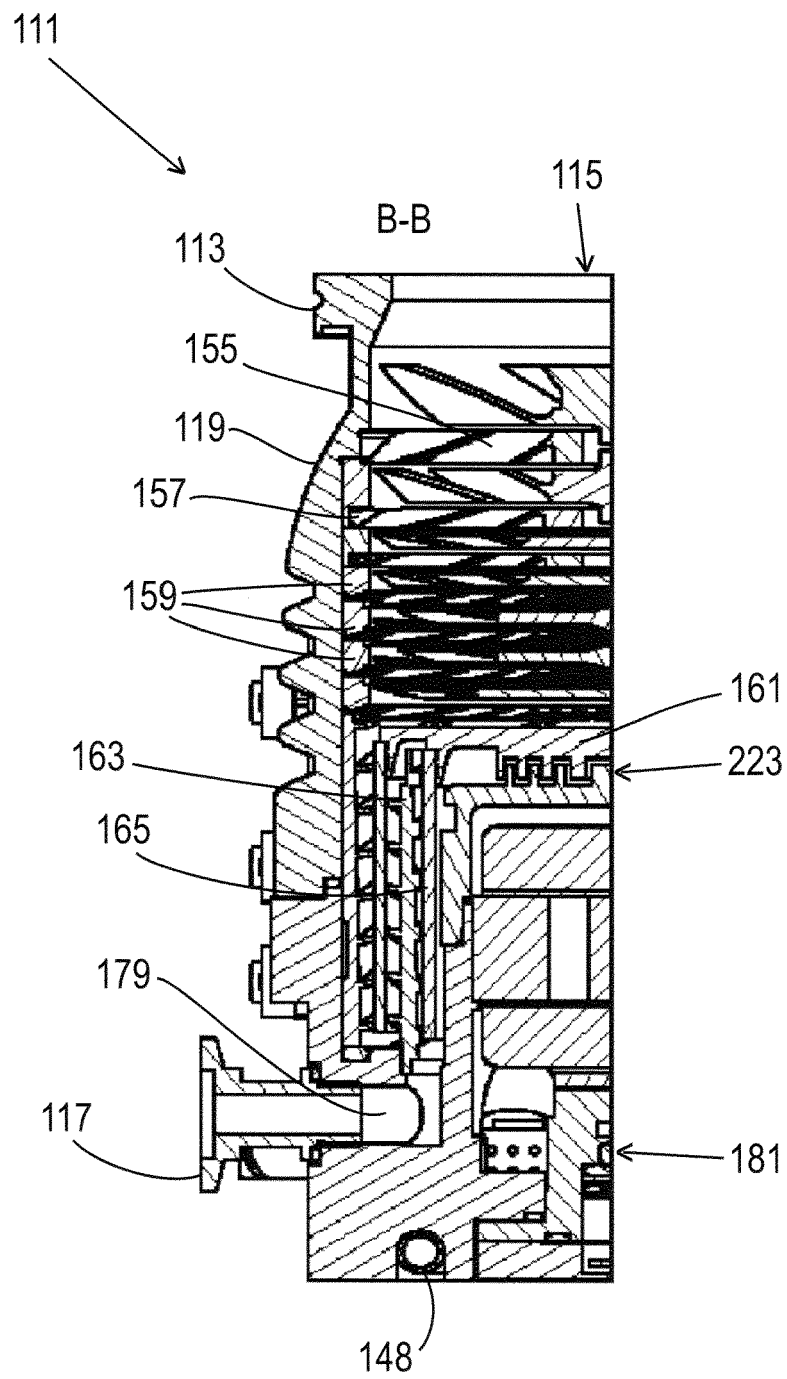


Fig. 4

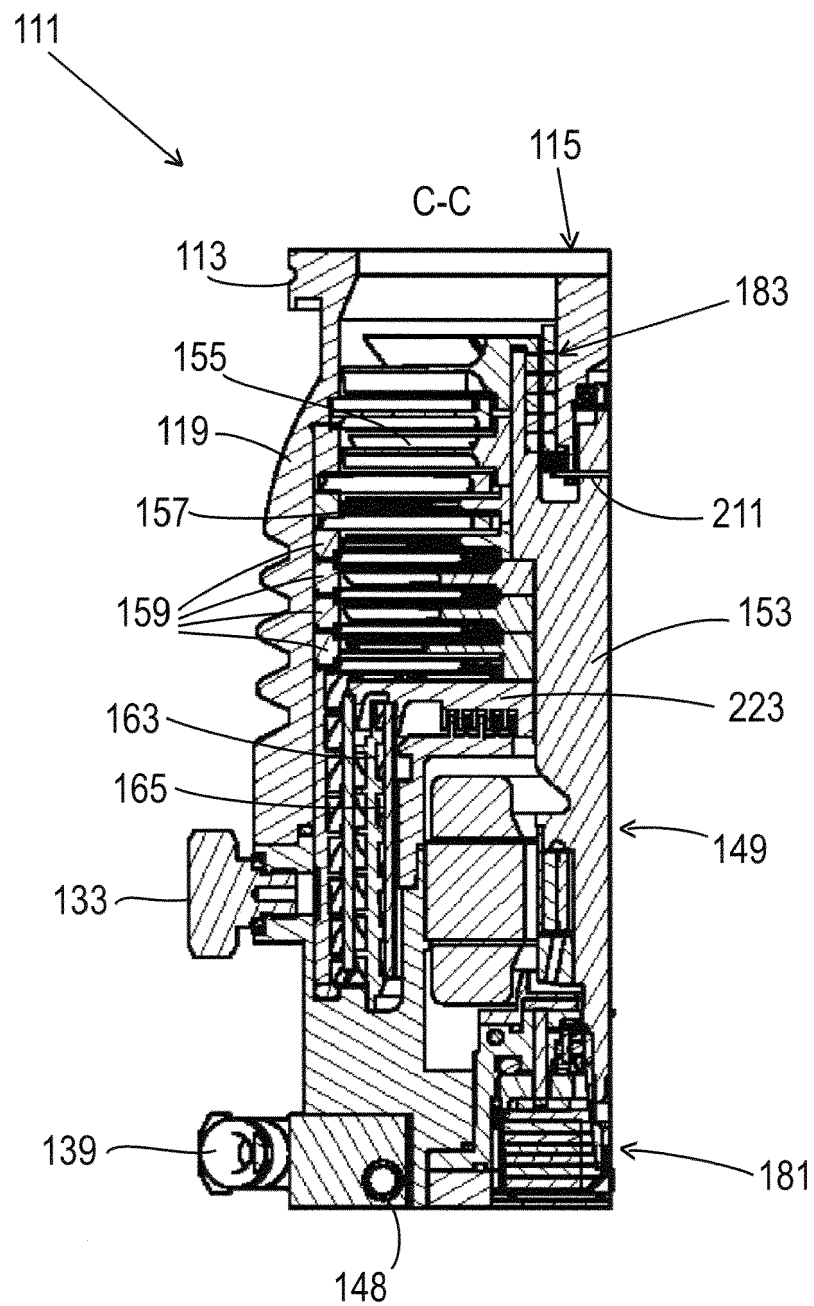
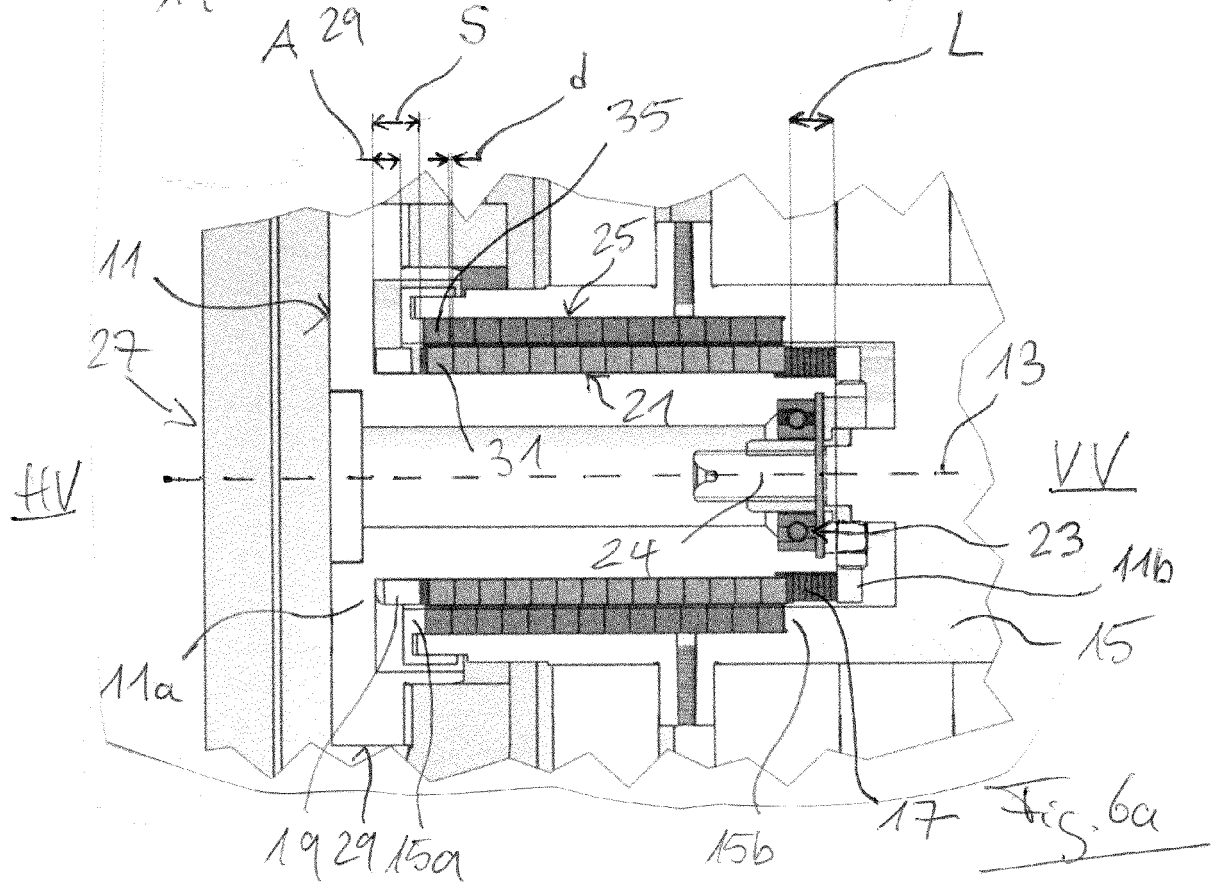
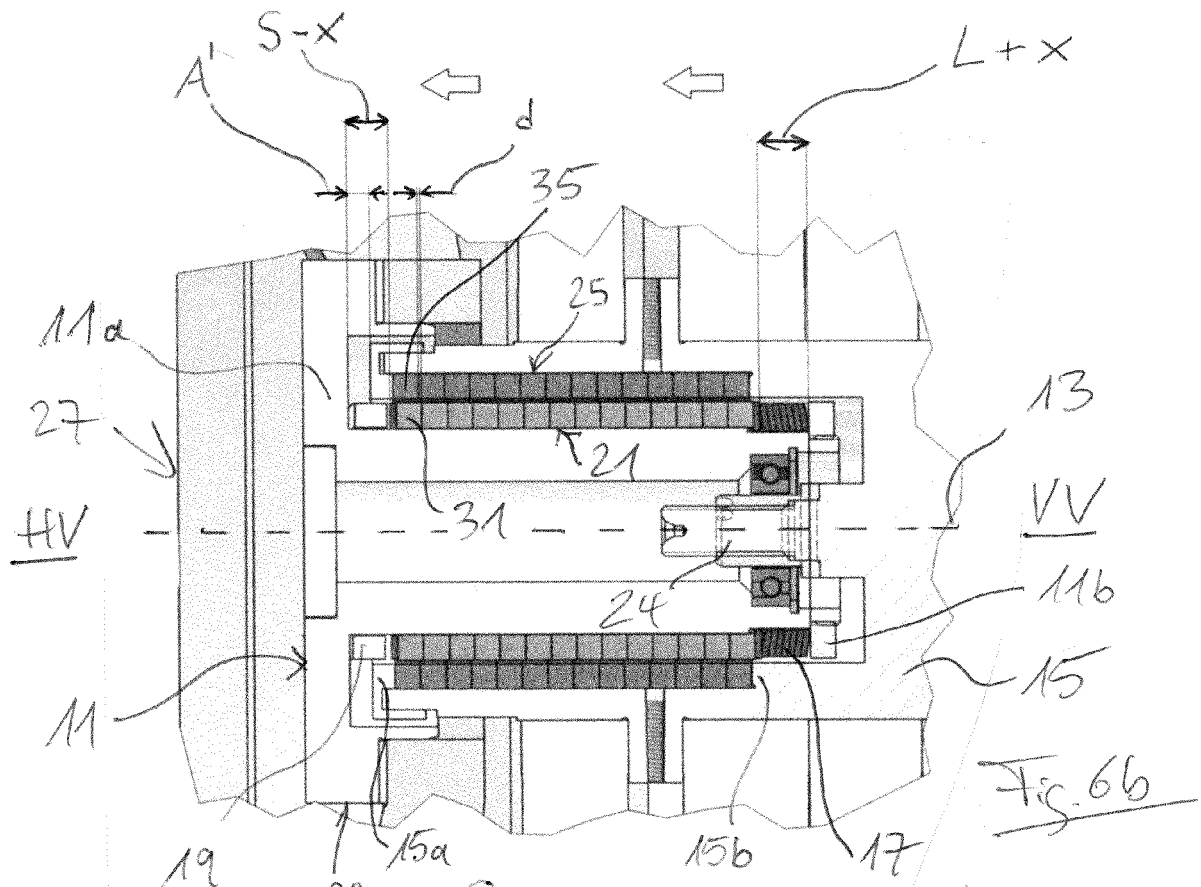
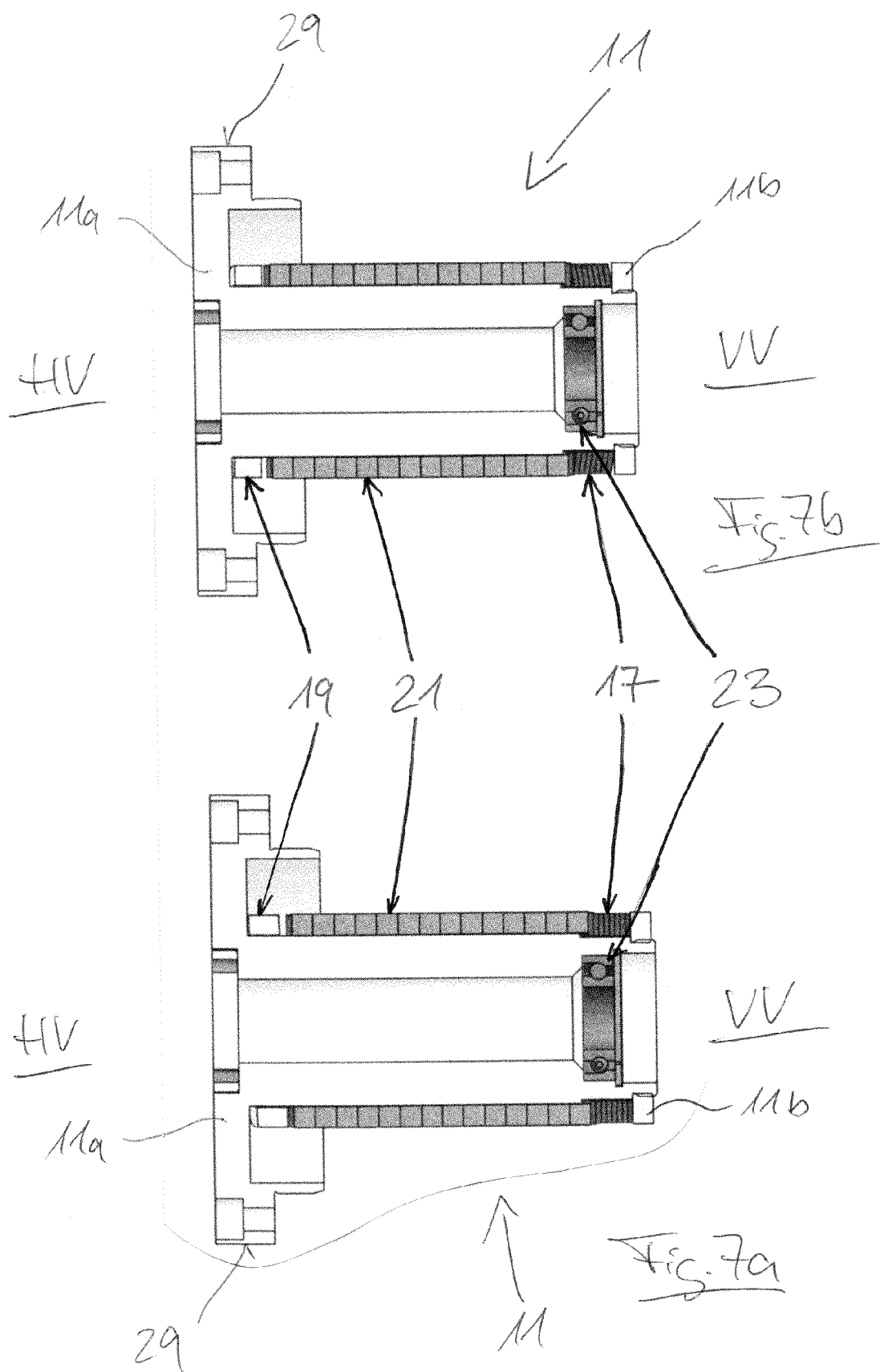


Fig. 5







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 21 8135

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)
X	DE 10 2009 024337 A1 (OERLIKON LEYBOLD VACUUM GMBH [DE]) 16. Dezember 2010 (2010-12-16) * Abbildungen 1-5 * * Absätze [0024] - [0035] *	1-6,10,12 7,11 8,9	INV. F04D19/04 F04D29/058
Y	EP 3 444 478 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 20. Februar 2019 (2019-02-20) * Abbildung 2 * * Absatz [0017] * * Anspruch 5 *	7,11	
X	EP 3 085 964 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 26. Oktober 2016 (2016-10-26) * Abbildung 1 * * Absatz [0035] *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 12. Juni 2020	Prüfer Ingelbrecht, Peter
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 19 21 8135

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.

12-06-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 102009024337 A1	16-12-2010	DE 102009024337 A1 EP 2440789 A1 JP 2012529591 A TW 201105864 A WO 2010142633 A1	16-12-2010 18-04-2012 22-11-2012 16-02-2011 16-12-2010
20	EP 3444478 A1	20-02-2019	EP 3444478 A1 JP 2019035408 A	20-02-2019 07-03-2019
25	EP 3085964 A1	26-10-2016	CN 106064291 A EP 3085964 A1 JP 2016205391 A	02-11-2016 26-10-2016 08-12-2016
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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