



(11) **EP 3 557 071 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.10.2019 Patentblatt 2019/43

(51) Int Cl.:
F04D 19/04^(2006.01) F04D 29/58^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18167557.0**

(22) Anmeldetag: **16.04.2018**

(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

- **Böttcher, Jochen**
35394 Gießen (DE)
- **Koch, Christian**
35580 Wetzlar (DE)
- **Stoll, Tobias**
35644 Hohenahr (DE)

(71) Anmelder: **PFEIFFER VACUUM GMBH**
35614 Asslar (DE)

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

(72) Erfinder:
• **Bernhardt, Gernot**
35625 Hüttenberg (DE)

(54) **VAKUUMPUMPE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN DERSELBEN**

(57) Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit wenigstens einer Pumpenkomponente, mit einer Heizeinrichtung zum Beheizen der Pumpenkomponente und mit einem Sensor zur Erfassung einer

Messgröße für den Pumpenbetrieb, wobei der Sensor unabhängig von der Heizeinrichtung angeordnet und die Heizeinrichtung für den Betrieb in Abhängigkeit der durch den Sensor erfassten Messgröße konfiguriert ist.

EP 3 557 071 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe.

[0002] Im Betrieb von Vakuumpumpen kann es wünschenswert sein, bestimmte Temperaturschwellen zu überschreiten beziehungsweise eine maximal erlaubte Pumpentemperatur aufrechtzuerhalten. Dies gilt beispielsweise im Betrieb von Turbomolekularpumpen für das Erreichen niedriger Enddrücke. Ebenso kann im Betrieb von Vorpumpen durch eine höhere Betriebstemperatur eine höhere Wasserdampfverträglichkeit erreicht werden. Insbesondere kann die Kondensationsneigung hierdurch verringert werden.

[0003] Für das Überschreiten bestimmter Temperaturschwellen beziehungsweise zur Aufrechterhaltung verhältnismäßig hoher Pumpentemperaturen werden üblicherweise gesonderte Heizeinrichtungen vorgesehen. Zum einen wird hierdurch die Anzahl notwendiger Komponenten erhöht, was mit hohem apparativem Aufwand verbunden ist und somit hohe Kosten verursacht. Des Weiteren erlaubt eine gesondert vorgesehene Heizeinrichtung nur eine verhältnismäßig ungenaue Temperierung der fraglichen Pumpenbereiche beziehungsweise Pumpenkomponenten.

[0004] Vor diesem Hintergrund bestand die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Vakuumpumpe anzugeben, welche die Aufrechterhaltung einer jeweils gewünschten Temperatur mit einer höheren Genauigkeit ermöglicht und gleichzeitig mit verringertem Aufwand herstellbar ist. Ebenso bestand die Aufgabe darin, ein Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe anzugeben.

[0005] In Bezug auf die Vakuumpumpe ist die voranstehende Aufgabe mit den Gegenständen der unabhängigen Ansprüche 1 und 8 und in Bezug auf das Verfahren mit den Gegenständen der Ansprüche 14 und 15 gelöst worden. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nachfolgend erörtert.

[0006] Eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe kann insbesondere als Vorpumpe konfiguriert und/oder angeordnet sein. Es kann sich bei einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe insbesondere um eine Turbomolekularpumpe handeln.

[0007] Nach einem ersten Aspekt der Erfindung weist eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe wenigstens eine Pumpenkomponente, eine Heizeinrichtung zum Beheizen der Pumpenkomponente sowie einen Sensor zur Erfassung einer Messgröße für den Pumpenbetrieb auf. Erfindungsgemäß ist der Sensor unabhängig von der Heizeinrichtung angeordnet und die Heizeinrichtung für den Betrieb in Abhängigkeit der durch den Sensor erfassten Messgröße konfiguriert.

[0008] Bei dem Sensor kann es sich somit um eine Komponente handeln, die unabhängig von der Heizeinrichtung in der Vakuumpumpe vorgesehen ist, insbeson-

dere Messgrößen erfasst, die auch anderweitig verwertet werden. Beispielsweise kann der Sensor eine Messgröße erfassen und anderen Einrichtungen als der erfindungsgemäß vorgesehenen Heizeinrichtung zur Verfügung stellen, insbesondere für Funktionalitäten der Vakuumpumpe, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Heizfunktionalität der Heizeinrichtung stehen.

[0009] Auf diese Weise lässt sich einerseits eine Reduzierung der Komponentenzahl erzielen, wodurch der apparative Aufwand und damit auch der Kostenaufwand für eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe verringert werden kann. Insbesondere kann durch Nutzung eines ohnehin in der Vakuumpumpe vorgesehenen Sensors, der insbesondere auch zu anderen Zwecken in der Vakuumpumpe vorgesehen ist, die Anordnung weiterer Sensoren in redundanter Weise vermieden werden. Der apparative Aufwand lässt sich hiermit effektiv reduzieren.

[0010] Gleichzeitig kann bei einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe die Beheizung der Pumpenkomponente mit erhöhter Genauigkeit erfolgen, da der Betrieb in Abhängigkeit von Messdaten eines unabhängig angeordneten Sensors erfolgt. Durch den unabhängig von der Heizeinrichtung vorgesehenen Sensor kann die jeweils zu ermittelnde Messgröße näher oder unmittelbar an der gewünschten Stelle der Vakuumpumpe beziehungsweise der jeweiligen Pumpenkomponente erfasst werden. Die Heizwirkung der Heizeinrichtung an dem jeweils kritischen Teil der Vakuumpumpe kann somit verzögerungsfrei oder mit nur geringer Verzögerung erfasst werden. In Abhängigkeit davon lässt sich die Heizleistung der Heizeinrichtung präzise anpassen. Die Betriebspräzision der Heizeinrichtung kann hierdurch insgesamt verbessert werden.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe ist der Sensor zur Erfassung einer Messgröße für die Steuerung und/oder Regelung des Pumpenbetriebes, insbesondere eines Pumpenantriebes, ausgebildet. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, dass die durch den Sensor jeweils erfasste Messgröße eine Erhöhung, Beibehaltung oder Verringerung der Pumpenantriebsleistung auslöst. Ebenso kann die jeweils erfasste Messgröße eine Notmaßnahme wie zum Beispiel einen Not-Stopp auslösen.

[0012] Der Sensor kann ferner zur Erfassung einer Messgröße für die Beeinflussung des Pumpenbetriebs über eine Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung ausgebildet sein. Dementsprechend kann die jeweils erfasste Messgröße einer Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung zur Verfügung gestellt und diese in Abhängigkeit des jeweiligen Messwerts oder der Messwertentwicklung den gegenwärtigen Pumpenbetrieb anpassen.

[0013] Ebenso besteht die Möglichkeit, dass der Sensor zur Erfassung einer Messgröße ausgebildet ist, die lediglich zu informatorischen Zwecken wiedergegeben wird, so dass beispielsweise eine Bedienperson die aktuellen Messwerte der Messgröße einer Anzeigeeinrichtung entnehmen kann. Je nach Messwert kann somit ei-

ne Bedienperson zur Veränderung oder Beibehaltung des Pumpenbetriebs veranlasst werden.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Sensor beabstandet von der Heizeinrichtung, insbesondere in einem Pumpeninnenraum, angeordnet. Der konstruktive Gestaltungsspielraum wird hierdurch vergrößert, da die Position der Heizeinrichtung insbesondere unabhängig von der Position des Sensors gewählt werden kann. Der Sensor kann insbesondere zur Erfassung einer Messgröße an einer kritischen Stelle der Vakuumpumpe angeordnet werden, so dass bei der Erfassung der jeweiligen Messgröße eine größtmögliche Präzision erzielt werden kann. Insbesondere kann der Sensor zur Erfassung einer Messgröße an oder in der Pumpenkomponente eingerichtet sein. Bei der fraglichen Pumpenkomponente kann es sich beispielsweise um das Pumpengehäuse, um einen Abschnitt des Pumpengehäuses oder auch um eine innerhalb des Pumpengehäuses angeordnete Komponente handeln.

[0015] Demgegenüber kann die Wahl der Position der Heizeinrichtung im Hinblick auf eine einfache Gesamtkonzeption, eine einfache Montierbarkeit und/oder im Hinblick auf eine einfache Austauschbarkeit der Heizeinrichtung gewählt sein. Ebenso kann die Wahl der Position der Heizeinrichtung im Hinblick auf eine günstige Überleitung einer Heizleistung auf die jeweils zu beheizende Pumpenkomponente gewählt sein.

[0016] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausgestaltung ist der Sensor ein Temperatursensor. Bei der zu erfassenden Messgröße kann es sich somit um eine Temperatur handeln, insbesondere um eine Komponententemperatur oder um eine Temperatur des jeweils zu fördernden Mediums. In bevorzugter Weise kann der Sensor zur Erfassung einer Pumpenbetriebstemperatur und/oder zur Erfassung der Temperatur der Pumpenkomponente eingerichtet sein, insbesondere zur Erfassung einer vordefinierten Maximaltemperatur der Pumpenkomponente. Zum einen kann hierdurch ein hohes Maß an Betriebssicherheit gewährleistet werden. Des Weiteren wird hierdurch die Möglichkeit geschaffen, den Pumpenbetrieb im Hinblick auf eine bestimmte Temperatur der Pumpenkomponente auszurichten. Beispielsweise kann zur Einhaltung einer jeweils vordefinierten Temperatur der Pumpenkomponente der Pumpenantrieb entsprechend angesteuert und/oder die Heizeinrichtung entsprechend betrieben werden.

[0017] In weiter bevorzugter Ausgestaltung ist die Heizeinrichtung ohne Temperatursensor ausgebildet. Es kann also eine Heizeinrichtung vorgesehen sein, die vollständig ohne Temperatursensor ausgestaltet ist, wodurch die Komponentenanzahl der Vakuumpumpe in besonders vorteilhafter Weise verringert werden kann. Hierdurch können insbesondere auch die Herstellkosten für eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe verringert werden.

[0018] Weiter bevorzugt kann die Heizeinrichtung zur Verbindung mit einem externen und/oder separat angeordneten Temperatursensor ausgebildet sein. Eine sol-

che Verbindung kann beispielsweise direkt kabelgebunden oder kabellos oder aber auch mittelbar über eine gesonderte Steuerungs- und/oder Regelungseinrichtung vorgesehen sein. Auf diese Weise kann eine Heizeinrichtung trotz Ausgestaltung ohne Temperatursensor im Betrieb präzise ausgeregelt werden, wodurch die Betriebssicherheit einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe weiter verbessert werden kann.

[0019] Gemäß einer Ausgestaltung der Vakuumpumpe kann die Heizeinrichtung extern angebaut oder in einem Pumpeninnenraum angeordnet sein. Eine externe Anordnung der Heizeinrichtung, beispielsweise an einem Gehäuse der Vakuumpumpe ermöglicht eine handhabungsfreundliche Montage und auch einen handhabungsfreundlichen Austausch der Heizeinrichtung. Durch die Anordnung in einem Pumpeninnenraum kann die Heizleistung in besonders effektiver Weise auf die zu beheizende Pumpenkomponente übertragen werden, und somit unmittelbar in den temperaturkritischen Teil der Vakuumpumpe eingebracht werden.

[0020] Die Heizeinrichtung kann beispielsweise an einem Pumpengehäuse angeordnet und/oder zur Beheizung des Pumpengehäuses angeordnet sein. Insbesondere kann die Heizeinrichtung unmittelbar das Pumpengehäuse oder einen Abschnitt des Pumpengehäuses beheizen. Durch die Beheizung des Pumpengehäuses oder eines Abschnitts des Pumpengehäuses kann mittelbar zumindest eine weitere innerhalb des Pumpengehäuses angeordnete Komponente beheizt werden. Ebenso ist es möglich, dass die Heizeinrichtung zur unmittelbaren Beheizung einer Pumpenkomponente eingerichtet ist, die innerhalb des Pumpengehäuses oder an diesem angeordnet ist.

[0021] In weiter bevorzugter Weise kann die Heizeinrichtung zur Aufrechterhaltung einer Mindesttemperatur und/oder Maximaltemperatur eingerichtet sein. Hierdurch kann beispielsweise eine im Pumpenbetrieb durch die Leistungsaufnahme des Pumpenantriebs erreichte Pumpentemperatur beziehungsweise Pumpenkomponententemperatur unabhängig von der weiteren Leistungsaufnahme durch den Pumpenantrieb aufrechterhalten werden. Ebenso ist es möglich, dass die Heizeinrichtung zum Aufheizen bis zu einer Mindesttemperatur und/oder Maximaltemperatur eingerichtet ist. Bei einer solchen Ausgestaltung kann die Vakuumpumpe beziehungsweise die jeweilige Pumpenkomponente vor dem Betrieb konditioniert werden, so dass bereits zu Beginn des jeweiligen Pumpenbetriebs die jeweils gewünschten Temperaturverhältnisse vorliegen. Die Betriebseigenschaften der Vakuumpumpe lassen sich auf diese Weise weiter verbessern.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann die Heizeinrichtung dazu eingerichtet sein, bei Unterschreiten einer vordefinierten Grenztemperatur aktiviert und/oder bei Überschreiten der vordefinierten Grenztemperatur deaktiviert zu werden. Somit kann je nach der durch den Sensor erfassten Grenztemperatur die Heizeinrichtung deaktiviert beziehungsweise aktiviert wer-

den. Die jeweils gewünschte Grenztemperatur kann in der Folge mit verhältnismäßig großer Präzision aufrecht erhalten werden.

[0023] Ebenso ist es möglich, die Heizleistung bei Unterschreiten oder Überschreiten der Grenztemperatur anzupassen und/oder auszuregulieren. Durch eine derartige Ausgestaltung der Heizeinrichtung kann ein vollständiges Abschalten der Heizeinrichtung vermieden und die konstante Beibehaltung der jeweils gewünschten Grenztemperatur sichergestellt werden. Insbesondere können etwaige Temperaturschwankungen um die gewünschte und/oder vordefinierte Grenztemperatur herum auf ein Minimum reduziert werden.

[0024] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, mit einem Pumpenantrieb und mit einer Heizeinrichtung zum Beheizen zumindest einer Pumpenkomponente, wobei die Heizeinrichtung für den Betrieb in Abhängigkeit einer durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung konfiguriert ist.

[0025] Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, die einzubringende Heizleistung an den Betriebszustand des Pumpenantriebs anzupassen. Bei hoher Leistungsaufnahme durch den Pumpenantrieb kann eine nur geringe oder keine Heizleistung erbracht werden und bei nur geringer Leistungsaufnahme durch den Pumpenantrieb kann eine entsprechend hohe Heizleistung erbracht werden. Insgesamt kann hierdurch eine verhältnismäßig konstante Wärmeleistung in die Vakuumpumpe beziehungsweise in die zu beheizende Pumpenkomponente eingebracht werden.

[0026] Im Falle von Turbomolekularpumpen ermöglicht der Betrieb der Heizeinrichtung in Abhängigkeit einer durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung einen besonders konstanten Wärmeeintrag. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch Turbomolekularpumpen eine verhältnismäßig geringe Förderleistung erbracht wird und der Großteil der durch den Pumpenantrieb aufgenommenen elektrischen Leistung als Verlustwärme anfällt. Sofern nun die Heizeinrichtung für den Betrieb in Abhängigkeit der durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung konfiguriert ist, kann auf diese Weise die durch den Pumpenantrieb entstehende Verlustwärme gezielt durch Heizleistung des Heizelements ergänzt werden, um insgesamt eine konstante Verlust- beziehungsweise Wärmeleistung sicherzustellen. Eine vordefinierte oder gewünschte Betriebstemperatur der Vakuumpumpe beziehungsweise der jeweiligen Pumpenkomponente oder auch einer Mehrzahl von Pumpenkomponenten kann auf diese Weise mit hoher Sicherheit aufrechterhalten werden.

[0027] Eine voranstehend beschriebene Vakuumpumpe gemäß des zweiten Aspekts der Erfindung kann in vorteilhafter Weise zusätzlich gemäß des ersten Aspekts der Erfindung ausgebildet sein. Dementsprechend kann die Ausgestaltung gemäß des ersten Aspekts der Erfindung mit der Ausgestaltung gemäß des zweiten Aspekts der Erfindung kombiniert werden.

[0028] Es besteht folglich die Möglichkeit, die Heizeinrichtung für den Betrieb in Abhängigkeit einer durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung und gleichzeitig in Abhängigkeit einer durch einen unabhängig von der Heizeinrichtung angeordneten Sensor erfassten Messgröße zu konfigurieren. Ausschlaggebend für den Betrieb der Heizeinrichtung kann folglich sowohl die durch den Pumpenantrieb aufgenommene Leistung als auch die durch den Sensor erfasste Messgröße sein. Die Betriebssicherheit und Heizgenauigkeit lässt sich auf diese Weise weiter verbessern.

[0029] In bevorzugter Weise ist die Heizeinrichtung für den Betrieb in Abhängigkeit vordefinierter Prozessschritte oder zumindest eines weiteren Sensors konfiguriert. Insbesondere kann es sich bei dem weiteren Sensor um einen zusätzlich zu einem Temperatursensor vorgesehenen Sensor handeln, beispielsweise um einen Drucksensor oder um einen Strömungsgeschwindigkeitssensor. Hierdurch kann die Betriebssicherheit der Vakuumpumpe weiter verbessert werden.

[0030] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausgestaltung der Vakuumpumpe ist die Heizeinrichtung bei Erhöhung der Leistungsaufnahme eines Pumpenantriebs zur Verringerung der Heizleistung und/oder zur Beibehaltung eines deaktivierten Zustands eingerichtet. Auf diese Weise kann der Wärmeeintrag auf die Verlustwärme des Pumpenantriebs begrenzt werden, wodurch die Gefahr einer Überhitzung verringert werden kann.

[0031] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausgestaltung ist die Heizeinrichtung bei Verringerung der Leistungsaufnahme eines Pumpenantriebs zur Aktivierung des Heizbetriebs und/oder zur Erhöhung der Heizleistung eingerichtet. Die durch den Pumpenantrieb eingebrachte Verlustwärme kann auf diese Weise gezielt durch Wärmeleistung der Heizeinrichtung ergänzt werden, wodurch die Gefahr einer unerwünschten Abkühlung der Vakuumpumpe beziehungsweise der jeweiligen Pumpenkomponente verringert werden kann.

[0032] Weiter bevorzugt kann die Heizeinrichtung dazu eingerichtet sein, in einem Pumpenhochlaufbetrieb deaktiviert zu bleiben. In einem solchen Pumpenhochlaufbetrieb erfolgt typischerweise eine verhältnismäßig hohe Leistungsaufnahme eines Pumpenantriebs, beispielsweise mehr als 80 Watt, insbesondere 90 bis 100 Watt. Da diese aufgenommene Leistung zu einem Großteil als Verlustwärme abgegeben wird, kann eine zusätzliche Beheizung durch die Heizeinrichtung unterbleiben. Die Heizeinrichtung kann in einem deaktivierten Zustand verbleiben.

[0033] Ferner kann die Heizeinrichtung dazu eingerichtet sein, in einem Vakuum erzeugenden Betrieb deaktiviert zu bleiben. In einem Vakuum erzeugenden Betrieb wird beispielsweise eine Vakuumkammer leergepumpt, so dass eine verhältnismäßig hohe Gaslast vorliegt. Auch in einem solchen Betriebszustand nimmt ein Pumpenantrieb eine verhältnismäßig hohe Leistung auf, beispielsweise mehr als 40 Watt, insbesondere 50 bis 60 Watt. Die entsprechend eingebrachte Verlustwär-

me kann zum Beheizen einer Pumpenkomponente beziehungsweise zur Aufrechterhaltung einer Pumpenkomponententemperatur ausreichend sein, so dass es keiner weiteren Beheizung durch die Heizeinrichtung bedarf.

[0034] Schließlich kann die Heizeinrichtung dazu eingerichtet sein, in einem Vakuum erhaltenden Betrieb aktiviert zu werden beziehungsweise die jeweilige Heizleistung zu erhöhen. In einem solchen Vakuum erhaltenden Betrieb ist die jeweilige Vakuumkammer bereits leerpumpt und die Vakuumpumpe kann auf einem Betriebspunkt ohne Gaslast betrieben werden. In einem solchen Betriebszustand ist die durch den Pumpenantrieb aufgenommene Leistung verhältnismäßig gering, so dass auch eine entsprechend geringe Verlustwärme entsteht. Um eine unerwünschte Abkühlung der Pumpenkomponente der Vakuumpumpe zu vermeiden, kann in diesem Betriebszustand eine Aktivierung der Heizeinrichtung beziehungsweise eine Erhöhung der Heizleistung erfolgen. Beispielsweise kann in einem Vakuum erhaltenden Betrieb eine Leistungsaufnahme durch den Pumpenantrieb von lediglich 20 Watt oder weniger erfolgen, so dass eine Heizleistung von etwa 80 Watt erbracht werden kann. Insbesondere kann eine zur Verfügung stehende Gesamtleistung von etwa 100 W aufgeteilt werden in 20

Watt für den Pumpenantrieb und etwa 80 Watt für die Heizeinrichtung.

[0035] Es kann weiter von Vorteil sein, wenn ein Pumpenantrieb mit einer Leistungsversorgungseinheit vorgesehen ist und die Heizeinrichtung zum Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit des Pumpenantriebs eingerichtet ist. Hierdurch wird eine effizientere Nutzung vorhandener Komponenten ermöglicht, so dass insgesamt die Anzahl erforderlicher Komponenten reduziert werden kann. Insbesondere ist es möglich, die Heizeinrichtung ohne eigene Leistungsversorgungseinrichtung auszubilden, so dass der apparative Aufwand und folglich auch die Kosten insgesamt reduziert werden können. Es besteht ferner die Möglichkeit, auch weitere Einheiten, wie zum Beispiel eine Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung für den Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit des Pumpenantriebs einzurichten. Ebenso können Ventile und/oder Lüfter für den Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit eingerichtet sein.

[0036] In weiter bevorzugter Weise kann die verfügbare Leistung der Leistungsversorgungseinheit zumindest zwischen dem Pumpenantrieb und der Heizeinrichtung aufgeteilt werden. In besonders bevorzugter Weise kann die verfügbare Leistung der Leistungsversorgungseinheit vollständig aufgeteilt werden, insbesondere zwischen sämtlichen Verbrauchern, die an die Leistungsversorgungseinheit des Pumpenantriebs angeschlossen sind. Auf diese Weise wird unabhängig von der jeweils durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung eine im Wesentlichen konstante Beheizung erzielt. Dies ermöglicht einen insgesamt einfachen und kompakten Aufbau bei einem gleichzeitig hohen Maß an Betriebs-

cherheit.

[0037] Ferner kann in bevorzugter Weise die Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung dazu eingerichtet sein, eine Ansteuerung sämtlicher an die Leistungsversorgungseinheit des Pumpenantriebs angeschlossenen Verbraucher in Abhängigkeit eines Pumpenbetriebszustandes, insbesondere einer von dem Pumpenantrieb aufgenommenen elektrischen Leistung, und/oder einer von dem Sensor erfassten Messgröße vorzunehmen. Dies gewährleistet einen insgesamt sicheren und effizienten Pumpenbetrieb.

[0038] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe, insbesondere einer voranstehend beschriebenen Vakuumpumpe, bei dem durch einen Sensor eine Messgröße für den Pumpenbetrieb erfasst wird, und bei dem eine Pumpenkomponente durch eine unabhängig von dem Sensor angeordnete Heizeinrichtung in Abhängigkeit der durch den Sensor erfassten Messgröße beheizt wird.

[0039] Ein noch weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe, insbesondere einer voranstehend beschriebenen Vakuumpumpe, bei dem ein Pumpenantrieb von einer Leistungsversorgungseinheit Leistung aufnimmt und bei dem eine Heizeinrichtung in Abhängigkeit der durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung zumindest eine Pumpenkomponente beheizt.

[0040] In bevorzugter Weise können die voranstehend erwähnten Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe miteinander kombiniert werden. Dementsprechend besteht die Möglichkeit, dass eine Pumpenkomponente durch eine unabhängig von dem Sensor angeordnete Heizeinrichtung in Abhängigkeit der durch den Sensor erfassten Messgröße und in Abhängigkeit der durch den Pumpenantrieb aufgenommenen Leistung beheizt wird.

[0041] Die obigen Ausführungen zu der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe gemäß des ersten und/oder des zweiten Aspekts gelten entsprechend auch für die erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe.

[0042] 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 ein Blockdiagramm einer Turbomolekularpumpe gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0043] 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.

[0044] 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 Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0045] 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 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann.

[0049] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0050] 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.

[0051] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0052] 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.

[0053] 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 koaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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. 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.

[0057] 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.

[0058] 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 größer werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 92 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.

[0059] 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 ei-

nes 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.

[0060] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not-beziehungsweise 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.

[0061] 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.

[0062] Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse inner-

halb 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.

[0063] 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.

[0064] Die Turbomolekularpumpe der Fig. 1 bis 5 bildet eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe. Die Fig. 6 zeigt Einzelheiten, welche auch bei einer Turbomolekularpumpe gemäß den Fig. 1 bis 5 vorgesehen sein können, auch wenn diese dort nicht ausdrücklich gezeigt sind.

[0065] Fig. 6 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Turbomolekularpumpe 111 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die in der Fig. 6 gezeigte Turbomolekularpumpe 111 weist eine Mehrzahl von Pumpenkomponenten 225, eine Heizeinrichtung 227 zum Beheizen zumindest einer der Pumpenkomponenten 225 und einen Sensor 229 zur Erfassung einer Messgröße für den Pumpenbetrieb auf. Wie in Fig. 6 dargestellt, können auch mehrere Sensoren 229 vorgesehen sein, beispielsweise ein Sensor 229 pro Pumpenkomponente 225.

[0066] Der Sensor 229 ist erfindungsgemäß unabhängig von der Heizeinrichtung 227 angeordnet. Insbesondere ist der Sensor 229 nicht als Teil der Heizeinrichtung 227 oder innerhalb der Heizeinrichtung 227 sondern abstandet von dieser angeordnet. Der Sensor 227 kann beispielsweise in einem Pumpeninnenraum, insbesondere in oder an einer Pumpenkomponente 225 angeordnet und somit zur Erfassung einer Messgröße unmittelbar in oder an der Pumpenkomponente 225 eingerichtet sein. Hierdurch kann die jeweilige Messgröße in kritischen Bereichen oder angrenzend an kritische Bereiche der Turbomolekularpumpe 111 erfasst werden.

[0067] Der Sensor 229 kann zur Erfassung einer Messgröße für die Steuerung und/oder Regelung des Pumpenbetriebs, insbesondere eines Pumpenantriebs 231, ausgebildet sein. Dabei kann der Pumpenantrieb 231 dem voranstehend beschriebenen Elektromotor 125 entsprechen oder diesen aufweisen. Der Sensor 229 kann ferner zur Beeinflussung des Pumpenbetriebs, insbesondere des Pumpenantriebs 231, über eine Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung 233 ausgebildet sein. Hierzu kann der Sensor 229 mit der Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung 233 in Verbindung stehen, insbesondere über

eine drahtgebundene oder drahtlose Datenverbindung.

[0068] Der Sensor 229 kann insbesondere als Temperatursensor ausgebildet sein. Dementsprechend kann der Sensor 229 zur Erfassung einer Pumpenbetriebstemperatur und/oder zur Erfassung der Temperatur der Pumpenkomponente 225 eingerichtet sein, insbesondere zur Erfassung einer vordefinierten Maximaltemperatur der Pumpenkomponente 225.

[0069] Erfindungsgemäß ist nun die Heizeinrichtung 227 für den Betrieb in Abhängigkeit der durch den Sensor 225 erfassten Messgröße konfiguriert, insbesondere einer erfassten Temperatur. Der Heizbetrieb der Heizeinrichtung 227 erfolgt demnach in Abhängigkeit von Sensordaten, insbesondere Temperaturdaten, die durch den Sensor 229 erfasst werden. Die Heizeinrichtung 227 kann somit ohne eigene Sensoren ausgebildet sein, wodurch die Komponentenzahl verringert werden kann.

[0070] Gleichzeitig ermöglicht dies eine erhöhte Genauigkeit der Beheizung, da diese in Abhängigkeit von Sensordaten aus kritischen Bereichen der Vakuumpumpe 111 erfolgt. Hierzu kann der Sensor 229 unmittelbar mit der Heizeinrichtung 227 verbunden sein, insbesondere über eine Datenverbindung. Ebenso kann der Sensor 229 mittelbar über die Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung 233 mit der Heizeinrichtung 227 verbunden sein. Letzteres gilt insbesondere im Fall der Steuerung und/oder Regelung der Heizeinrichtung 227 über die Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung 233. Die Datenverbindungen können drahtgebunden oder drahtlos sein.

[0071] Die Heizeinrichtung 227 kann zur Aufrechterhaltung einer Mindesttemperatur und/oder Maximaltemperatur und/oder zum Aufheizen bis zu einer Mindesttemperatur und/oder Maximaltemperatur eingerichtet sein. Es kann sich dabei um eine durch den Sensor 229 an der Pumpenkomponente 225 erfassten Temperatur handeln, wobei die jeweilige Mindesttemperatur oder Maximaltemperatur vordefiniert sein kann, insbesondere im Hinblick auf die gewünschten Betriebseigenschaften der Turbomolekularpumpe 111 und/oder im Hinblick auf Material- und Verschleißseigenschaften der jeweiligen Pumpenkomponente 225. Beispielsweise kann die Mindesttemperatur hinsichtlich geringer Kondensationsneigung und die Maximaltemperatur kann im Hinblick auf zulässige Materialbeanspruchung gewählt sein.

[0072] Die Heizeinrichtung 227 kann ferner dazu eingerichtet sein, bei Unterschreiten einer vordefinierten Grenztemperatur aktiviert und/oder bei Überschreiten der vordefinierten Grenztemperatur deaktiviert zu werden. Ferner kann die Heizleistung der Heizeinrichtung 227 bei Unterschreiten oder Überschreiten der Grenztemperatur angepasst und/oder geregelt werden. Bei der vordefinierten Grenztemperatur kann es sich um eine Maximal- oder Minimaltemperatur handeln. Die Heizeinrichtung 227 kann also dazu eingerichtet sein, im Pumpenbetrieb vollständig ansowie ausgeschaltet zu werden. Ebenso kann eine Ansteuerung der Heizeinrichtung 227 mittels gepulster, linear veränderlicher oder mittels

diskreter Zwischenwerte erfolgen.

[0073] Wie voranstehend bereits erwähnt, weist die Turbomolekularpumpe 111 einen Pumpenantrieb 231 auf. Dabei kann die Heizeinrichtung 227 für den Betrieb in Abhängigkeit einer durch den Pumpenantrieb 231 aufgenommenen Leistung konfiguriert sein. Beispielsweise kann die Heizeinrichtung 227 bei Erhöhung der Leistungsaufnahme des Pumpenantriebs 231 zur Beibehaltung eines deaktivierten Zustands und/oder zur Verringerung der Heizleistung eingerichtet sein.

[0074] Ebenso kann die Heizeinrichtung 227 bei Verringerung der Leistungsaufnahme des Pumpenantriebs 231 zur Aktivierung des Heizbetriebs und/oder zur Erhöhung der Heizleistung eingerichtet sein. Ferner kann die Heizeinrichtung 227 dazu eingerichtet sein, in einem Pumpenhochlaufbetrieb und/oder in einem Vakuum erzeugenden Betrieb deaktiviert zu bleiben und/oder in einem Vakuum erhaltenden Betrieb aktiviert zu werden. Eine Aktivierung und/oder Deaktivierung und/oder Veränderung der Heizleistung kann durch die Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung 233 vorgenommen werden oder durch eine eigene entsprechend in der Heizeinrichtung 227 vorgesehene Einheit.

[0075] Wie der Fig. 6 weiterhin entnommen werden kann, weist der Pumpenantrieb 231 eine Leistungsversorgungseinheit 235 auf. Die Leistungsversorgungseinheit 235 kann - anders als in Fig. 6 dargestellt - auch außerhalb des Pumpenantriebs 231 angeordnet und mit diesem verbunden sein. Ferner ist die Heizeinrichtung 227 zum Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit 235 des Pumpenantriebs 231 eingerichtet. Die Heizeinrichtung 227 benötigt somit keine eigene Leistungsversorgungseinheit, sodass die Komponentenzahl der Turbomolekularpumpe 111 weiter reduziert werden kann. Auch weitere Komponenten und/oder Einrichtungen der Vakuumpumpe können zum Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit 235 des Pumpenantriebs 231 eingerichtet sein, wie zum Beispiel die Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung 233. Bevorzugt können sämtliche Verbraucher der Turbomolekularpumpe 111 zum Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit 235 des Pumpenantriebs 231 eingerichtet sein.

[0076] Im Betrieb der Turbomolekularpumpe 111 kann die verfügbare Leistung der Leistungsversorgungseinheit 235, beispielsweise 100 Watt, zumindest zwischen dem Pumpenantrieb 231 und der Heizeinrichtung 227 aufgeteilt werden. In besonders vorteilhafter Weise kann die verfügbare Leistung der Leistungsversorgungseinheit 235 vollständig auf die jeweils angeschlossenen Verbraucher aufgeteilt werden.

[0077] Rein beispielhaft können verfügbare 100 Watt aus einer als Netzteil ausgebildeten Leistungsversorgungseinheit 235 im Wesentlichen zwischen dem Pumpenantrieb 231 und der Heizeinrichtung 227 aufgeteilt werden. Die Aufteilung kann abhängig vom Betriebszustand erfolgen. Beispielsweise kann in einem Pumpenhochlaufbetrieb 90 Watt durch den Pumpenantrieb 231

benötigt werden. Die Heizeinrichtung 227 bleibt deaktiviert. In einem Vakuum erzeugenden Betrieb wird beispielsweise eine Vakuumkammer leer gepumpt, sodass eine verhältnismäßig hohe Gaslast vorliegt. Der Pumpenantrieb 231 kann hier beispielsweise 50 Watt benötigen. Die Heizeinrichtung 227 bleibt weiterhin deaktiviert oder wird aktiviert und mit geringer Leistung von etwa 50 Watt oder weniger betrieben.

[0078] In einem Vakuum erhaltenden Betrieb ist eine Vakuumkammer bereits leer gepumpt, sodass eine verhältnismäßig geringe oder keine Gaslast vorliegt. Die Turbomolekularpumpe 111 wird also auf einen Betriebspunkt ohne oder mit nur geringer Gaslast betrieben, sodass der Pumpenantrieb 231 beispielsweise 20 Watt oder weniger benötigt. Die Heizeinrichtung 227 kann in diesem Zustand mit 80 Watt betrieben werden, um eine zu starke Abkühlung der Pumpenkomponente 225 zu verhindern.

[0079] Die in den Fig. 6 beispielhaft gezeigten Einzelheiten sowie die in der Beschreibungseinleitung allgemein beschriebenen Konzepte können ebenso bei den Ausführungsformen gemäß den Fig. 1 bis 5 vorgesehen sein, obwohl dort nicht näher dargestellt beziehungsweise erläutert. Dies gilt für sämtliche Details bezüglich der Pumpenkomponenten 235, der Heizeinrichtung 227, der Sensoren 229 des Pumpenantriebs 231 sowie der Leistungsversorgungseinheit 235. Ebenso können sämtliche oder einzelne Details der in den Fig. 1 bis 5 dargestellten und entsprechend beschriebenen Turbomolekularpumpe 111 auch bei der in der Fig. 6 gezeigten Ausführungsformen der Turbomolekularpumpe 111 vorgesehen sein.

Bezugszeichenliste

[0080]

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	5	
163	Holweck-Rotorhülse		
165	Holweck-Rotorhülse		
167	Holweck-Statorhülse		
169	Holweck-Statorhülse		
171	Holweck-Spalt	10	
173	Holweck-Spalt		
175	Holweck-Spalt		
179	Verbindungskanal		
181	Wälzlager		
183	Permanentmagnetlager	15	
185	Spritzmutter		
187	Scheibe		
189	Einsatz		
191	rotorseitige Lagerhälfte		
193	statorseitige Lagerhälfte	20	
195	Ringmagnet		
197	Ringmagnet		
199	Lagerspalt		
201	Trägerabschnitt		
203	Trägerabschnitt	25	
205	radiale Strebe		
207	Deckelelement		
209	Stützring		
211	Befestigungsring		
213	Tellerfeder	30	
215	Not- bzw. Fanglager		
217	Motorstator		
219	Zwischenraum		
221	Wandung		
223	Labyrinthdichtung	35	
225	Pumpenkomponente		
227	Heizeinrichtung		
229	Sensor		
231	Pumpenantrieb		
233	Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung	40	
235	Leistungsversorgungseinrichtung		

Patentansprüche

- | | | | |
|----|---|----|---|
| 1. | Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe (111), mit wenigstens einer Pumpenkomponente (225), mit einer Heizeinrichtung (227) zum Beheizen der Pumpenkomponente (225) und mit einem Sensor (229) zur Erfassung einer Messgröße für den Pumpenbetrieb, wobei der Sensor (229) unabhängig von der Heizeinrichtung (227) angeordnet und die Heizeinrichtung (227) für den Betrieb in Abhängigkeit der durch den Sensor (229) erfassten Messgröße konfiguriert ist. | 50 | |
| 2. | Vakuumpumpe nach Anspruch 1, | 55 | |
| | | | dadurch gekennzeichnet, dass |
| | | | der Sensor (229) zur Erfassung einer Messgröße für die Steuerung und/oder Regelung des Pumpenbetriebs, insbesondere eines Pumpenantriebs (231), und/oder für die Beeinflussung des Pumpenbetriebs über eine Pumpensteuerungs- und/oder Pumpenregelungseinrichtung (233) ausgebildet ist. |
| | | | 3. Vakuumpumpe nach Anspruch 1 oder 2, |
| | | | dadurch gekennzeichnet, dass |
| | | | der Sensor (229) beabstandet von der Heizeinrichtung (227), insbesondere in einem Pumpeninnenraum, angeordnet ist und/oder dass der Sensor (229) zur Erfassung einer Messgröße an oder in der Pumpenkomponente (225) eingerichtet ist. |
| | | | 4. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, |
| | | | dadurch gekennzeichnet, dass |
| | | | der Sensor (229) ein Temperatursensor ist und/oder zur Erfassung einer Pumpenbetriebstemperatur und/oder zur Erfassung der Temperatur der Pumpenkomponente (225) eingerichtet ist, insbesondere zur Erfassung einer vordefinierten Maximaltemperatur der Pumpenkomponente (225). |
| | | | 5. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, |
| | | | dadurch gekennzeichnet, dass |
| | | | die Heizeinrichtung (227) ohne Temperatursensor und/oder zur Verbindung mit einem externen und/oder separat angeordneten Temperatursensor (229) ausgebildet ist und/oder dass die Heizeinrichtung (227) extern angebaut oder in einem Pumpeninnenraum angeordnet ist. |
| | | | 6. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, |
| | | | dadurch gekennzeichnet, dass |
| | | | die Heizeinrichtung (227) zur Aufrechterhaltung einer Mindesttemperatur und/oder Maximaltemperatur und/oder zum Aufheizen bis zur einer Mindesttemperatur und/oder Maximaltemperatur eingerichtet ist. |
| | | | 7. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, |
| | | | dadurch gekennzeichnet, dass |
| | | | die Heizeinrichtung (227) dazu eingerichtet ist, bei Unterschreiten einer vordefinierten Grenztemperatur aktiviert und/oder bei Überschreiten der vordefinierten Grenztemperatur deaktiviert zu werden und/oder die Heizleistung bei Unterschreiten oder Überschreiten der Grenztemperatur anzupassen und/oder auszuregeln. |
| | | | 8. Vakuumpumpe, insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem Pumpenantrieb |

- (231) und mit einer Heizeinrichtung (227) zum Beheizen zumindest einer Pumpenkomponente (225), wobei die Heizeinrichtung (227) für den Betrieb in Abhängigkeit einer durch den Pumpenantrieb (231) aufgenommenen Leistung konfiguriert ist.
9. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Heizeinrichtung (227) bei Erhöhung der Leistungsaufnahme eines Pumpenantriebs (231) zur Beibehaltung eines deaktivierten Zustands und/oder zur Verringerung der Heizleistung eingerichtet ist.
10. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Heizeinrichtung (227) bei Verringerung der Leistungsaufnahme eines Pumpenantriebs (231) zur Aktivierung des Heizbetriebs und/oder zur Erhöhung der Heizleistung eingerichtet ist.
11. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Heizeinrichtung (227) dazu eingerichtet ist, in einem Pumpenhochlaufbetrieb und/oder in einem Vakuum erzeugenden Betrieb deaktiviert zu bleiben, und/oder dass die Heizeinrichtung (227) dazu eingerichtet ist, in einem Vakuum erhaltenden Betrieb aktiviert zu werden.
12. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Pumpenantrieb (231) mit einer Leistungsversorgungseinheit (235) vorgesehen ist und die Heizeinrichtung (227) zum Leistungsbezug von der Leistungsversorgungseinheit (235) des Pumpenantriebs eingerichtet ist.
13. Vakuumpumpe nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
die verfügbare elektrische Leistung der Leistungsversorgungseinheit (235) zumindest zwischen dem Pumpenantrieb (231) und der Heizeinrichtung (227) aufgeteilt wird, insbesondere vollständig aufgeteilt wird.
14. Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe, insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche,

- bei dem durch einen Sensor (229) eine Messgröße für den Pumpenbetrieb erfasst wird und
- bei dem eine Pumpenkomponente (225) durch eine unabhängig von dem Sensor angeordnete Heizeinrichtung (227) in Abhängigkeit der durch
- den Sensor (229) erfassten Messgröße beheizt wird.
15. Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe, insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 13 und/oder einem Verfahren nach Anspruch 14,

- bei dem ein Pumpenantrieb (231) von einer Leistungsversorgungseinheit (235) elektrische Leistung aufnimmt und
- bei dem eine Heizeinrichtung (227) in Abhängigkeit der durch den Pumpenantrieb (231) aufgenommenen Leistung zumindest eine Pumpenkomponente (225) beheizt.

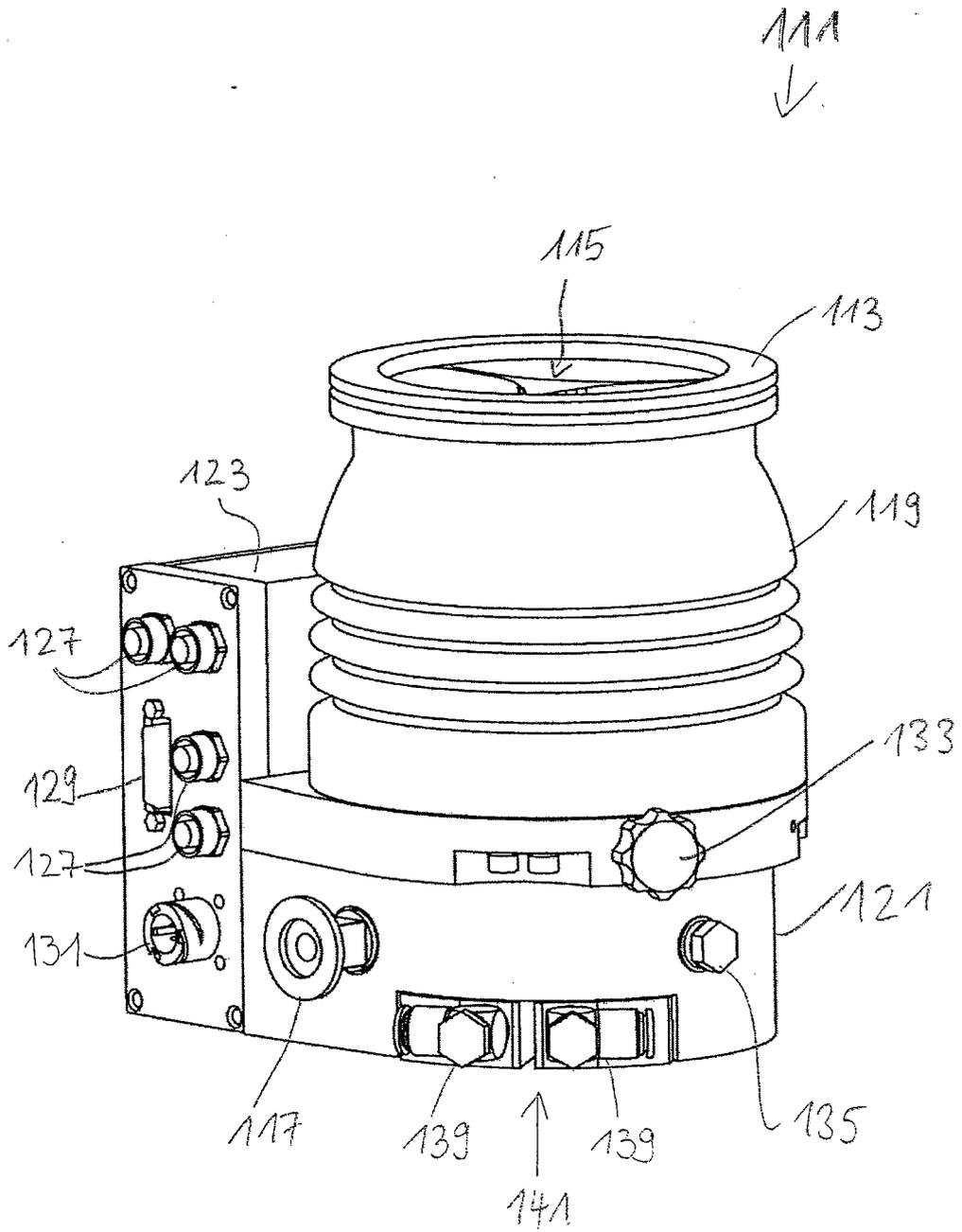


Fig. 1

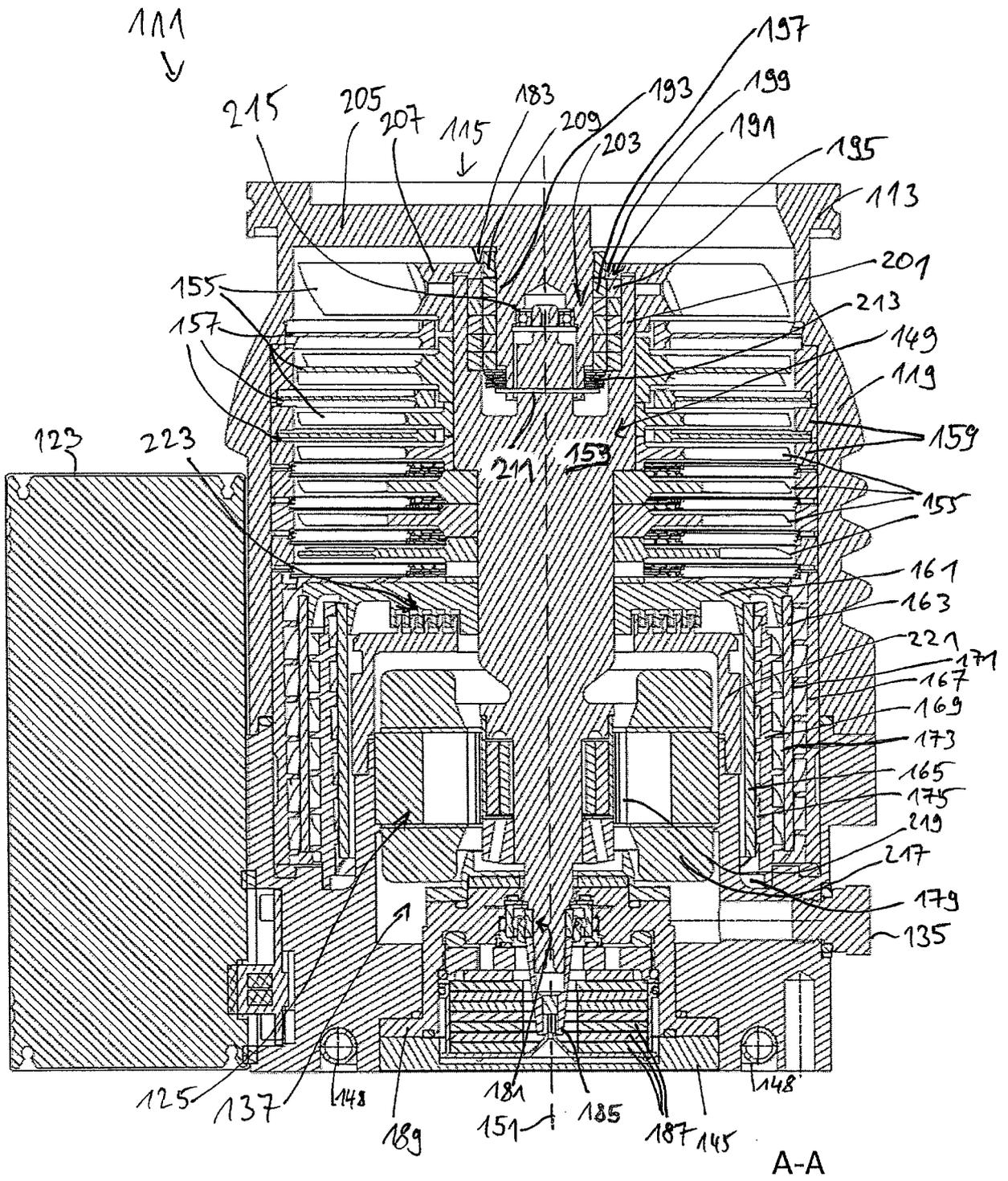


Fig. 3

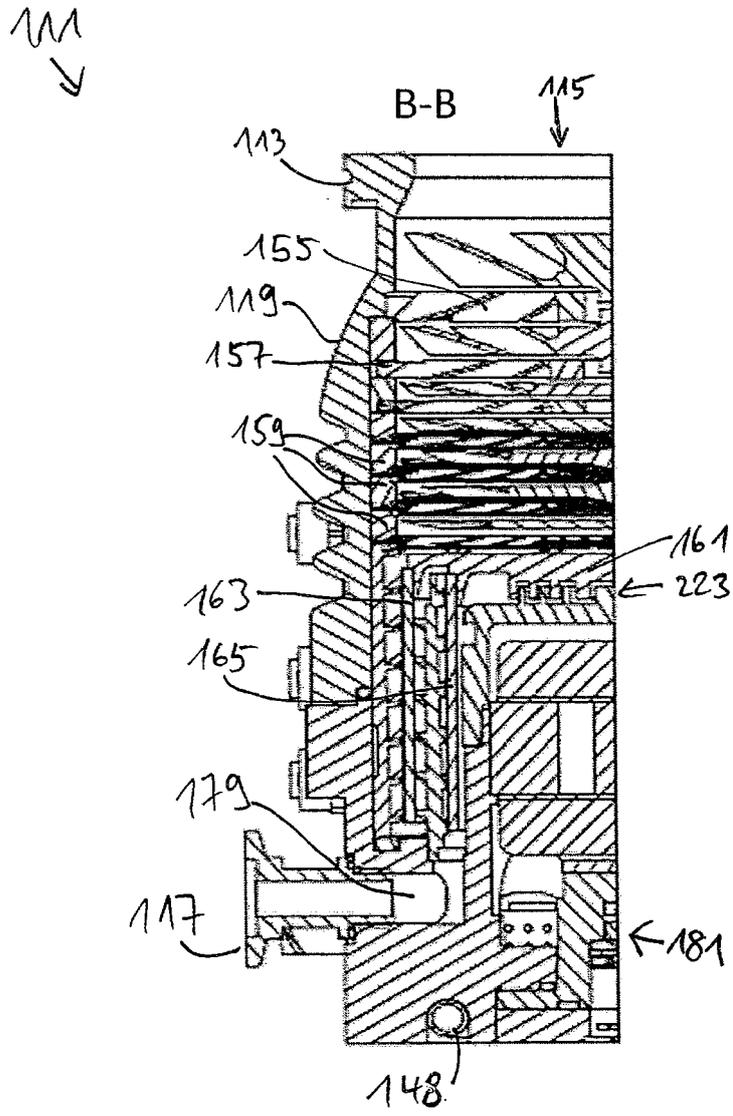


Fig. 4

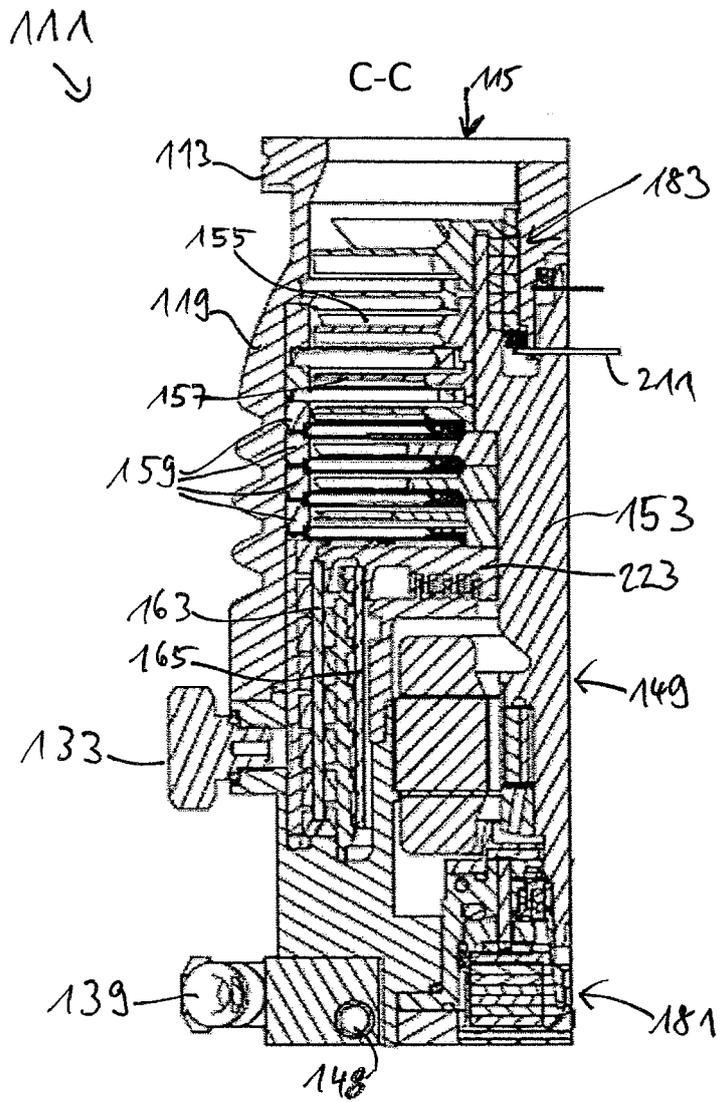


Fig. 5

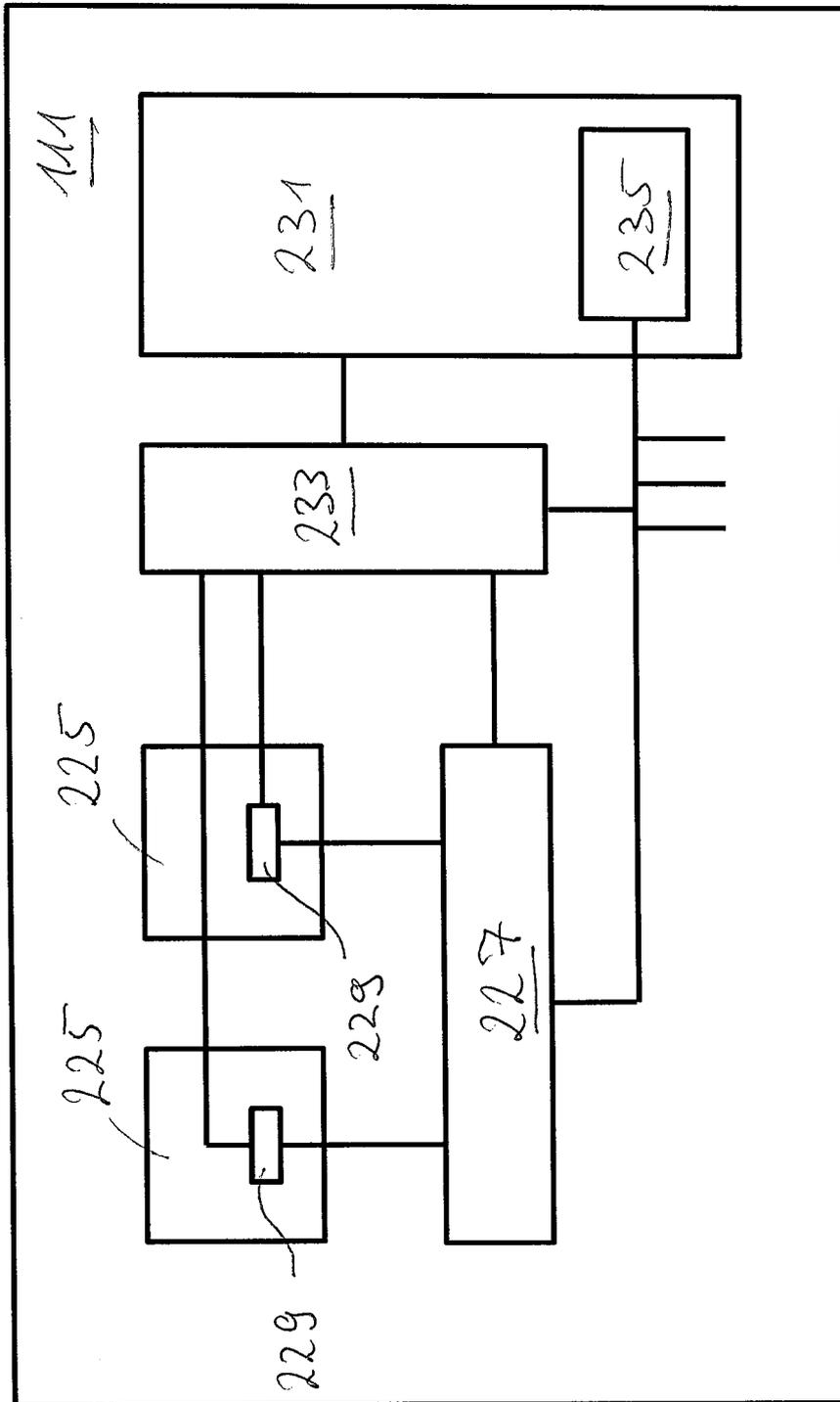


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 18 16 7557

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	DATABASE WPI Week 201330 Thomson Scientific, London, GB; AN 2013-G54479 XP002784555, -& JP 2013 079602 A (SHIMADZU CORP) 2. Mai 2013 (2013-05-02) * Zusammenfassung * * Abbildung 1 *	1-15	INV. F04D19/04 F04D29/58
X	----- US 2015/275914 A1 (TSUTSUI SHINGO [JP]) 1. Oktober 2015 (2015-10-01) * Absätze [0099] - [0101], [0104] - [0115] * * Abbildung 6 *	1-7,11, 14	
X	----- EP 1 178 217 A2 (SEIKO INSTR INC [JP]) 6. Februar 2002 (2002-02-06) * Absätze [0050], [0055], [0064], [0072] - [0074], [0077] - [0080], [0094] * * Abbildungen 1-3 *	1-8,11, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. Oktober 2018	Prüfer Gombert, Ralf
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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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 18 16 7557

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.

01-10-2018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2013079602 A	02-05-2013	KEINE	
US 2015275914 A1	01-10-2015	CN 104948475 A	30-09-2015
		JP 6287475 B2	07-03-2018
		JP 2015190404 A	02-11-2015
		US 2015275914 A1	01-10-2015
EP 1178217 A2	06-02-2002	EP 1178217 A2	06-02-2002
		JP 2002048088 A	15-02-2002
		KR 20020010880 A	06-02-2002
		US 2002018727 A1	14-02-2002

EPO FORM P0461

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