



(11)

EP 4 108 931 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
28.12.2022 Patentblatt 2022/52

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F04D 19/04** (2006.01)      **F04D 27/02** (2006.01)  
**F04D 29/58** (2006.01)      **F04D 29/68** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 22193499.5

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F04D 19/042; F04D 27/02; F04D 27/0238**

(22) Anmeldetag: 01.09.2022

(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**

- **HOFMANN, Jan**  
35305 Grünberg (DE)
- **BIRKENFELD, Maximilian**  
35649 Bischoffen (DE)
- **VORWERK, Peter**  
35630 Ehringshausen (DE)
- **SÖNKE, Gilbrich**  
35753 Greifenstein (DE)

(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum Technology AG**  
35614 Asrlar (DE)

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

(72) Erfinder:  
• **HÖLZ, Jonas**  
35796 Weinbach (DE)

(54) **MOLEKULARVAKUUMPUMPE MIT VERBESSERTEM SAUGVERMÖGEN SOWIE VERFAHREN  
ZUM BETREIBEN EINER MOLEKULARVAKUUMPUMPE ZUR ERZIELUNG EINES  
VERBESSERTEIN SAUGVERMÖGENS**

(57) Diese Erfindung betrifft eine Molekularvakuum-pumpe mit einem Gehäuse zur Aufnahme eines von ei-ner Rotorwelle angetriebenen Pumpmechanismus zur Förderung eines Prozessgases von einem Pumpenein-lass zu einem Pumpenauslass. Der Pumpmechanismus umfasst zwischen dem Pumpeneinlass und dem Pumpenauslass eine Mehrzahl von N pumpwirksam mitein-ander in Serie geschaltete Pumpstufen, wobei die am nächstn am Pumpeneinlass befindliche Pumpstufe die erste und die am nächstn am Pumpenauslass befindli-che Pumpstufe die N-te Pumpstufe ist. Das Gehäuse weist einen Schleppgasanschluss auf, der stromauf-wärts einer Pumpstufe M in den Pumpmechanismus mündet, wobei gilt

$$M = \lceil (N+1)/2 \rceil.$$

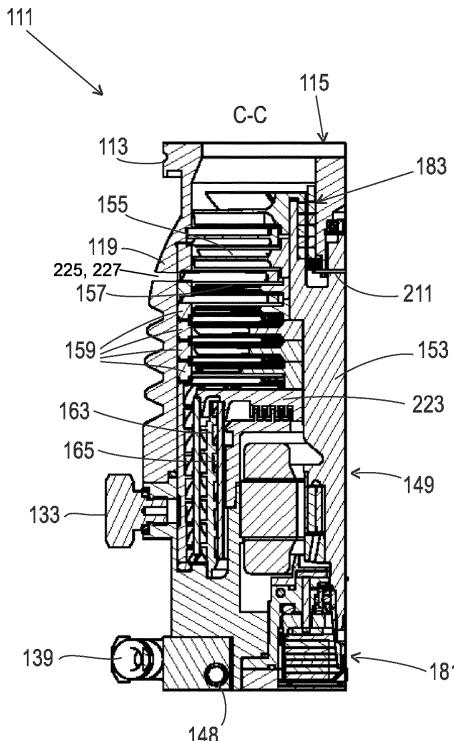


Fig. 6

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine hier auch nur als Pumpe bezeichnete Molekularvakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe, welche speziell ausgestaltet ist, um ein verbessertes Saugvermögen zu erzielen, sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Molekularvakuumpumpe zur Erzielung eines verbesserten Saugvermögens.

**[0002]** Molekularvakuumpumpen arbeiten im Hoch- sowie im Ultrahochvakuumbereich, wobei der Druck im Hochvakumbereich zwischen  $10^{-3}$  und  $10^{-7}$  hPa liegt und im Ultrahochvakumbereich geringer als  $10^{-7}$  hPa ist.

**[0003]** Bei Molekularvakuumpumpen, wie beispielsweise Turbomolekularpumpen, tendiert dabei das vom Pumpeneinlass zum Pumpenauslass zu pumpende Prozessgas aufgrund der Tatsache, dass der Druck am Pumpeneinlass geringer ist als der Druck am Pumpenauslass, dazu, vom Pumpenauslass zum Pumpeneinlass zurückzuströmen. Diese Rückströmungstendenz ist dabei umso größer, je höher der Pumpenvordruck, also der Druck am Pumpenauslass der Vakuumpumpe ist. Dementsprechend ist das Saugvermögen einer Turbomolekularpumpe aufgrund der beschriebenen Rückströmungstendenz im Bereich hoher Vordrücke geringer als das Saugvermögen der Turbomolekularpumpe bei geringeren Vordrücken.

**[0004]** Die beschriebene Rückströmungsproblematik stellt sich insbesondere bei zu pumpenden Prozessgasen ein, die eine verhältnismäßig geringe molare Masse aufweisen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich schwerere Prozessgase besser fördern lassen, als leichtere Prozessgase. Bei verhältnismäßig leichten Prozessgasen wie beispielsweise Wasserstoff oder Helium stellt sich somit bei gleichem Vordruck und ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen eine geringere Druckdifferenz zwischen dem Pumpeneinlass und dem Pumpenauslass bzw. ein geringeres Druckverhältnis ein als bei schwereren Prozessgasen, was zur Folge hat, dass die Rückströmungsproblematik bei Prozessgasen mit geringerer molarer Masse höher ist als bei Prozessgasen mit größerer molarer Masse.

**[0005]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei Molekularvakuumpumpen wie beispielsweise Turbomolekularvakuumpumpen für eine Reduzierung der beschriebenen Rückströmproblematik und somit für ein verbessertes Saugvermögen zu sorgen.

**[0006]** Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe durch eine Molekularvakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und insbesondere dadurch gelöst, dass das Gehäuse der Pumpe einen Schleppgasanschluss aufweist, durch den während des Betriebs der Molekularvakuumpumpe ein Gas in den Pumpmechanismus eingeleitet werden kann, wobei es erfindungsgemäß vorgesehen ist, dass dieser Schleppgasanschluss stromaufwärts einer Pumpstufe M in den Pumpmechanismus mündet, wobei gilt  $M =$

$$\lceil (N+1)/2 \rceil.$$

**[0007]** Die am nächsten am Pumpeneinlass befindliche Pumpstufe wird dabei als die erste und die am nächsten am Pumpenauslass befindliche Pumpstufe als die N-te Pumpstufe bezeichnet, wobei die einzelnen Pumpstufen von der ersten bis zur N-ten in Richtung des Pumpenauslasses fortlaufend mit ganzen Zahlen durchnummieriert sind.

**[0008]** Sofern hier zur Definition der Position des Schleppgasanschlusses die Aufrundungsfunktion unter Verwendung oberer Gaußklammern verwendet wird, so ist diese Aufrundungsfunktion so definiert, dass für eine

reelle Zahl  $x$  gilt:  $x = \min \{K \in \mathbb{Z} \mid K \geq x\}$ . Weißt also beispielsweise eine Turbomolekularpumpe zehn Turbomolekularpumpstufen auf ( $N = 10$ ), so ist  $M = 6$ , was bedeutet, dass sich der Schleppgasanschluss stromaufwärts der sechsten Turbomolekularpumpstufe befindet. Bei einer Turbomolekularpumpe mit beispielsweise acht Turbomolekularpumpstufen ( $N = 8$ ) gilt hingegen beispielsweise  $M = 5$ , was bedeutet, dass sich der Schleppgasanschluss stromaufwärts der fünften Turbomolekularpumpstufe befindet. Die Nomenklatur ist dabei wie bereits erwähnt so gewählt, dass die am nächsten am Pumpeneinlass befindliche Turbomolekularpumpstufe die erste und die am nächsten am Pumpenauslass befindliche Turbomolekularpumpstufe die N-te Pumpstufe ist, wobei die einzelnen Turbomolekularpumpstufen von der ersten bis zur N-ten in Richtung des Pumpenauslasses fortlaufend mit ganzen Zahlen durchnummieriert sind.

**[0009]** Indem während des Betriebs einer Turbomolekularpumpe durch den Schleppgasanschluss ein vom Prozessgas verschiedenes Gas in den Pumpmechanismus der Turbomolekularpumpe eingeleitet wird, das nachfolgend auch als Schleppgas bezeichnet wird, wird die Rückströmungstendenz des Prozessgases vom Pumpenauslass zum Pumpeneinlass reduziert, da die Moleküle des Prozessgases von den Molekülen des Schleppgases in Richtung des Pumpenauslasses mitgerissen bzw. mitgeschleppt werden, daher der Begriff "Schleppgas". Die Moleküle des Schleppgases übertragen dabei ihren Impuls auf die Moleküle des Prozessgases, so dass die Prozessgasmoleküle von den Schleppgasmolekülen in Richtung des Pumpenauslasses mitgerissen werden. Die Impulsübertragung von dem Schleppgas auf das Prozessgas ist dabei umso höher, je größer das molekulare Gewicht des Schleppgases ist. In jedem Falle sollte jedoch als Schleppgas ein Gas verwendet werden, das eine größere molare Masse als das Prozessgas aufweist, weshalb beispielsweise im Falle von Helium oder Wasserstoff als Prozessgas Stickstoff und/oder Argon als Schleppgas zum Einsatz kommen können.

**[0010]** Dadurch, dass die Rückströmungstendenz des Prozessgases verhindert wird, reduziert sich bei gleichem Vordruck der Druck am Pumpeneinlass, was eine

Erhöhung des Saugvermögens der Pumpe bedeutet. Das effektive hochvakuumseitige Saugvermögen der Turbomolekularpumpe wird somit durch die Einleitung eines Schleppgases in den Pumpmechanismus erhöht, da durch die Einleitung eines Schleppgases in den Pumpmechanismus die Rückströmungstendenz des Prozessgases verringert wird. Dieser Effekt macht sich dabei umso deutlicher bemerkbar, je näher sich der Schleppgasanschluss am Pumpeneinlass befindet, da in diesem Falle mehr Zeit zur Verfügung steht, während der die Schleppgasmoleküle ihren Impuls auf die Prozessgasmoleküle übertragen können. Andererseits sollte jedoch der Schleppgasanschluss auch nicht zu nahe am Pumpeneinlass gelegen sein, da in diesem Falle die Gefahr besteht, dass das Schleppgas aufgrund des am Pumpeneinlass befindlichen Vakuums in Richtung des Pumpeneinlasses zurückströmt. Dementsprechend sollte der Schleppgasanschluss ungeachtet der Anzahl der Pumpstufen stets stromabwärts der ersten, vorzugsweise stromabwärts der zweiten Pumpstufe gelegen sein, um ein Rückströmen des Schleppgases in Richtung des Pumpeneinlasses zu verhindern.

**[0011]** Im Falle einer Molekularvakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularvakuumpumpe, mit vier oder mehr Pumpstufen gilt für die Beziehung zwischen M und N vorzugsweise  $N = \lceil N/2 \rceil$ . Bei einer Turbomolekularvakuumpumpe mit beispielsweise sechs Pumpstufen ( $N = 6$ ) befindet sich also der Schleppgaseinlass vorzugsweise stromaufwärts der dritten Pumpstufe, bei einer Turbomolekularvakuumpumpe mit acht Pumpstufen ( $N = 8$ ) stromaufwärts der vierten Pumpstufe und bei einer Turbomolekularpumpe mit insgesamt zehn Pumpstufen ( $N = 10$ ) stromaufwärts der fünften Pumpstufe. In jedem Falle sollte jedoch der Schleppgasanschluss stromabwärts der ersten Pumpstufe, vorzugsweise stromabwärts der zweiten Pumpstufe gelegen sein, um so einem Rückströmen des Schleppgases in Richtung des Pumpeneinlasses zuvorzukommen.

**[0012]** Besonders vorteilhaft hat es sich bei Molekularvakuumpumpen, insbesondere bei Turbomolekularpumpen, mit sechs oder mehr Pumpstufen als vorteilhaft erwiesen, die Beziehung zwischen M und N so zu wählen, dass gilt:  $M = \lceil N/2 \rceil - 1$ . Bei einer Turbomolekularpumpe mit sechs Pumpstufen ( $N = 6$ ) befindet sich also der Schleppgaseinlass vorzugsweise stromaufwärts der zweiten Pumpstufe, bei einer Turbomolekularpumpe mit acht Pumpstufen ( $N = 8$ ) stromaufwärts der dritten Pumpstufe und bei einer Turbomolekularvakuumpumpe mit zehn Pumpstufen ( $N = 10$ ) stromaufwärts der vierten Pumpstufe. In jedem Falle sollte jedoch auch hier der Schleppgasanschluss stromabwärts der ersten Pumpstufe, vorzugsweise stromabwärts der zweiten Pumpstufe gelegen sein, um einem Rückströmen des Schleppgases in Richtung des Pumpeneinlasses zuvorzukommen.

**[0013]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die derselben zugrundeliegende Aufgabe ferner mit einem Verfahren zum Betreiben einer

Molekularvakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularvakuumpumpe, mit den Merkmalen des Anspruchs 5 und insbesondere dadurch gelöst, dass während des Förderns von Prozessgas von dem Pumpeneinlass zu dem Pumpenauslass der Pumpe und somit während des normalen Betriebszustands der Pumpe, während derer der Elektromotor der Pumpe bestromt wird, in den Pumpenmechanismus eine Menge eines Schleppgases eingeleitet wird.

**[0014]** Sofern hier von einem normalen Pumpenbetrieb die Rede ist, so kann es sich hierbei um einen Betriebszustand handeln, währenddessen die Molekularvakuumpumpe kontinuierlich mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Leistung oder mit zumindest 75%

15 ihrer maximal zulässigen Drehzahl betrieben wird. Vorzugsweise kann es dabei vorgesehen sein, dass das Schleppgas kontinuierlich während zumindest 50% dieses Zeitfensters in den Pumpmechanismus eingeleitet wird, also während des Zeitfensters, währenddessen die

20 Molekularvakuumpumpe kontinuierlich mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Leistung oder mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Drehzahl betrieben wird.

**[0015]** Vorzugsweise kann das Schleppgas kontinuierlich während zumindest 60% der Zeit dieses Zeitfensters in den Pumpmechanismus eingeleitet werden, insbesondere während zumindest 70% der Zeit dieses Zeitfensters und besonders bevorzugt während zumindest 80% der Zeit dieses Zeitfensters.

**[0016]** Anders als beim Fluten einer Turbomolekularvakuumpumpe über einen Fluteinlass wird also das Schleppgas nicht nur temporär während eines verhältnismäßig kurzen Zeitraums in den Pumpmechanismus eingeleitet; vielmehr wird erfahrungsgemäß das Schleppgas während der überwiegenden Zeit, während der mittels der Pumpe Prozessgas gefördert wird, Schleppgas in den Pumpmechanismus eingeleitet, um so die Rückströmungstendenz des Prozessgases zu gunsten einer Verbesserung des Saugvermögens der Pumpe zu reduzieren.

**[0017]** Insbesondere kann es dabei vorgesehen sein, dass das Schleppgas kontinuierlich über einen Zeitraum von zumindest einer Stunde während des Förderns von Prozessgas in den Pumpmechanismus eingeleitet wird, insbesondere über einen Zeitraum von zumindest 10 Stunden und vorzugsweise über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden.

**[0018]** Um die Impulsübertragung von den Schleppgasmolekülen auf die Prozessgasmoleküle zu optimieren, kann es sich entsprechend den voranstehenden Ausführungen als vorteilhaft erweisen, als Schleppgas ein Gas zu verwenden, das eine größere molare Masse als das Prozessgas aufweist. Dementsprechend kann es sich insbesondere als vorteilhaft erweisen, als Schleppgas beispielsweise Stickstoff und/oder Argon zu verwenden, und zwar insbesondere dann, wenn es sich bei dem Prozessgas um ein verhältnismäßig leichtes Gas, wie beispielsweise Wasserstoff oder Helium han-

delt.

**[0019]** Zwar kann die Rückströmungstendenz des Prozessgases umso mehr reduziert werden, je mehr Schleppgas eingeleitet wird; mit zunehmender Schleppgasmenge nimmt jedoch die Leistungsaufnahme der Pumpe zu. Zu geringe Schleppgasmengen erbringen hingegen nicht den gewünschten Effekt hinsichtlich der Reduzierung der Rückströmungstendenz des Prozessgases. Es wurden daher Versuche durchgeführt, um das optimale Verhältnis zwischen Prozess- und Schleppgasmenge zu ermitteln. Diese Versuche haben gezeigt, dass es sich als vorteilhaft erweist, wenn sich die in den Pumpmechanismus eingeleitete Menge des Schleppgases, die in Standardkubikzentimeter pro Minute (sccm) gemessen wird, zur Menge des geförderten Prozessgases - ebenfalls gemessen in Standardkubikzentimetern pro Minute - verhält wie  $1 : X$ , wobei gilt:  $5 \leq X \leq 15$ , insbesondere  $7 \leq X \leq 13$ , vorzugsweise  $9 \leq X \leq 11$  und insbesondere bevorzugt  $X$  im Wesentlichen gleich oder gleich 10.

**[0020]** Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe,
- Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1,
- Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,
- Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,
- Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C,
- Fig. 6 eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Turbomolekularpumpe, und
- Fig. 7 ein Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Schleppgaseffekts.

**[0021]** 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 angegeschlossen 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 Vorvakumpumpe, wie etwa eine Drehschieberpumpe, angegeschlossen sein kann.

**[0022]** 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.

**[0023]** Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

**[0024]** 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, eingeslassen 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 Turbomolekularvakumpumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

**[0025]** 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.

**[0026]** Andere existierende Turbomolekularvakumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

**[0027]** 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.

**[0028]** 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 Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

**[0029]** In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

**[0030]** 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.

**[0031]** In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

**[0032]** 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.

**[0033]** Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

**[0034]** 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.

**[0035]** 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 Au-

ßenfläche 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.

**[0036]** 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. Durch 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.

**[0037]** 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.

**[0038]** 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.

**[0039]** 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 Turbomolekularvakuumpumpen (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.

**[0040]** Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlag 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

**[0041]** 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 185 zu dem Wälzlag 181 hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt. Das Wälzlag 181 und der Betriebsmittelspeicher sind durch einen wattenförmigen Einsatz 189 und den Lagerdeckel 145 in der Vaku-

umpumpe eingefasst.

**[0042]** 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.

**[0043]** 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.

**[0044]** 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

5 Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt des Rotors 149 ist ein Zwischenraum 219 angeordnet, welcher einen radialen Motorsspalt umfasst, über den sich der Motorstator 217 und die Permanentmagnetanordnung zur Übertragung des Antriebsmoments magnetisch beeinflussen können.

**[0045]** Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse innerhalb des für den Elektromotor 125 vorgesehenen Motorraums 137 festgelegt. Über den Sperrgasanschluss 135 10 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 15 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 geschlossenen Vorpakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

**[0046]** 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.

**[0047]** Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 6 eine erfindungsgemäße Turbomolekularpumpe 111 beschrieben. Die erfindungsgemäße Turbomolekularpumpe 111 gemäß Fig. 6 ist weitestgehend identisch wie die zuvor unter Bezugnahme auf die Figs. 1 bis 5 ausgebildete Turbomolekularpumpe 111 ausgebildet, weshalb bezüglich des grundlegenden Aufbaus der erfindungsgemäßen Turbomolekularpumpe 111 gemäß Fig. 6 auf die voranstehende Beschreibung der Turbomolekularpumpe 111 gemäß den Figs. 1 bis 5 verwiesen werden kann. Gegenüber der zuvor unter Bezugnahme auf die Figs. 1 bis 5 beschriebenen Turbomolekularpumpe 111 weist jedoch die erfindungsgemäße Turbomolekularpumpe 111 gemäß Fig. 6 zusätzlich einen Schleppgasanschluss 225 auf, auf dessen Position und Funktion nachfolgend genauer eingegangen wird.

**[0048]** Wie bereits zuvor erwähnt, weist die zuvor beschriebene Turbomolekularpumpe 111 einen Fluteinlass 133 auf, der in die Holweckpumpstufe der Pumpe 111 45 mündet. Gleichzeitig kann jedoch ein Fluteinlass 133 auch im Bereich der in Serie geschalteten turbomolekularen Pumpstufen vorgesehen sein, wobei sich in diesem Falle der Fluteinlass 133 üblicherweise im stromabwärtigen Bereich des Pumpmechanismus befindet, der durch die in Serie geschalteten turbomolekularen Pumpstufen gebildet wird. Bei einer Turbomolekularpumpe mit beispielsweise zehn turbomolekularen Pumpstufen kann sich der Fluteinlass 133 beispielsweise im Bereich der siebten Pumpstufe befinden. Über solch einen Fluteinlass 50 133 kann die Pumpe 111 beispielsweise mit Luft geflutet werden, nachdem die Pumpe 111 außer Betrieb genommen wurde bzw. die Stromversorgung des Elektromotors 125 unterbrochen wurde.

**[0049]** Erfindungsgemäß ist es nun vorgesehen, dass die Turbomolekularvakuumpumpe 111 zusätzlich oder anstelle des Fluteinlasses 133 einen Schleppgasanschluss aufweist, der in den Fig. 6 rein schematisch mit dem Bezugszeichen "225" kenntlich gemacht ist. Bei dem Schleppgasanschluss 225 handelt es sich dabei um eine Gehäuseöffnung, durch die ein Schleppgas in den Pumpmechanismus eingeleitet werden kann, der durch die turbomolekularen Pumpstufen gebildet wird. Die Gehäuseöffnung 227 des Schleppgasanschlusses 225 kann dabei beispielsweise mit einem hier nicht dargestellten Schraubverschluss verschlossen sein, der bei Bedarf entfernt werden kann, um an den Schleppgasanschluss 225 eine Versorgungsleitung anschließen zu können, über die dem Schleppgasanschluss 225 ein Schleppgas zugeführt werden kann. Alternativ hierzu kann an die Gehäuseöffnung 227 des Schleppgasanschlusses 225 ein hier nicht dargestelltes Durchflussteuerventil angeschlossen sein, dessen Durchflussquerschnitt stufenlos verändert werden kann, um so die Menge des dem Schleppgasanschluss 225 zugeführten Schleppgases stufenlos einstellen und insbesondere regeln zu können.

**[0050]** Erfindungsgemäß ist es dabei vorgesehen, dass der Schleppgasanschluss 225 stromaufwärts einer Turbomolekularpumpstufe M in den durch die N Turbomolekularpumpstufen gebildeten Pumpmechanismus mündet, wobei gilt:  $M = \lceil (N+1)/21 \rceil$ . Die Nomenklatur ist dabei so gewählt, dass die am nächsten am Pumpeneinlass 115 befindliche Turbomolekularpumpstufe als die erste und die am nächsten am Pumpenauslass 117 befindliche Turbomolekularpumpstufe als die N-te Pumpstufe bezeichnet wird, wobei die einzelnen Turbomolekularpumpstufen von der ersten bis zur N-ten in Richtung des Pumpenauslasses 117 fortlaufend mit ganzen Zahlen durchnummierter sind. Im Falle von beispielsweise zehn Turbomolekularpumpstufen mündet somit der Schleppgasanschluss stromaufwärts der sechsten Turbomolekularpumpstufe in den von den Turbomolekularpumpstufen gebildeten Pumpmechanismus. Weist die Turbomolekularpumpe hingegen beispielsweise acht Turbomolekularpumpstufen auf, so mündet der Schleppgasanschluss 225 stromaufwärts der fünften Turbomolekularpumpstufe in den von den Turbomolekularpumpstufen gebildeten Pumpmechanismus.

**[0051]** Grundsätzlich erweist es sich jedoch als vorteilhaft, den Schleppgasanschluss 225 nahe des stromaufwärigen Endes des Turbomolekularpumpmechanismus und insbesondere im stromaufwärigen Drittel des durch die Turbomolekularpumpstufen gebildeten Pumpmechanismus vorzusehen, was sich beispielsweise durch die Beziehung  $M = \lceil N/21 \rceil$  ausdrücken lässt, wobei N die Anzahl der Turbomolekularpumpstufen und M die Nummer der Pumpstufe ist, stromaufwärts derer der Schleppgasanschluss 225 in den Pumpmechanismus münden sollte. Vorzugsweise gilt dabei für die Beziehung  $M = \lceil N/21 \rceil - 1$ , wobei jedoch der Schleppgasanschluss 225 in jedem Falle stromabwärts der ersten Turbomolekular-

pumpstufe, vorzugsweise stromabwärts der zweiten Turbomolekularpumpstufe vorgesehen werden sollte, um ein Rückströmen des Schleppgases in Richtung des Pumpeneinlasses 115 zu verhindern.

**[0052]** Im Unterschied zu dem Fluteinlass 133 wird über den Schleppgasanschluss 225 ein Schleppgas nicht etwa erst nach erfolgter Abschaltung der Pumpe in den Pumpmechanismus eingeleitet; vielmehr ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass über den Schleppgasanschluss 225 während des Betriebs der Turbomolekularpumpe 111 und somit während des Förderns von Prozessgas von dem Pumpeneinlass 115 zu dem Pumpenauslass 117 Schleppgas in den Pumpenmechanismus eingeleitet wird. Nochmals anders ausgedrückt, wird also das Schleppgas in den Pumpenmechanismus eingeleitet, während der Elektromotor 125 bestromt wird.

**[0053]** Das Schleppgas wird also über den Schleppgasanschluss 225 während des normalen Pumpbetriebs der Turbomolekularpumpe 111 in den Pumpenmechanismus eingeleitet. Dieser normale Pumpbetrieb kann dabei als ein Zeitfenster definiert werden, während dessen die Turbomolekularvakuumpumpe 111 kontinuierlich mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Leistung und/oder mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Drehzahl betrieben wird. Insbesondere kann es dabei vorgesehen sein, dass während zumindest 50% der Zeit des so definierten Zeitfensters das Schleppgas durch den Schleppgasanschluss 225 in den Pumpmechanismus eingeleitet wird. Beispielsweise kann es dabei vorgesehen sein, dass das Schleppgas kontinuierlich über einen Zeitraum von zumindest einer Stunde während des Förderns von Prozessgas in den Pumpenmechanismus eingeleitet wird, insbesondere über einen Zeitraum von 10 Stunden und vorzugsweise über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden.

**[0054]** Das über den Schleppgasanschluss 225 eingeleitete Schleppgas reißt bzw. schleppt dabei das vom Pumpeneinlass 115 zum Pumpenauslass 117 geförderte Prozessgas mit sich und verhindert dabei insbesondere, dass Prozessgas vom Pumpenauslass 117 zum Pumpeneinlass 115 zurückströmen kann. Der Druck am Pumpeneinlass sinkt somit in der gewünschten Weise ab, sodass das Saugvermögen der Pumpe in der gewünschten Weise zunimmt.

**[0055]** Zwar weist die hier unter Bezugnahme auf die Fig. 6 beschriebene Turbomolekularvakuumpumpe 111 in der zuvor beschriebenen Art stromabwärts der Turbomolekularpumpstufen eine Holweckpumpstufe auf. Diese ist jedoch genauso wie der Fluteinlass 133 optional und wird zur Erzielung des erfindungsgemäßen Schleppgaseffekts nicht benötigt. Die erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe 111 kann also eine Holweckpumpstufe aufweisen, muss dies jedoch nicht.

**[0056]** Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die Fig. 7 die Versuchsergebnisse vorgestellt, die bei einer Turbomolekularpumpe ohne Holweckpumpstufe beobachtet wurden, wobei die Turbomolekularpumpe zehn Turbomolekularpumpstufen ( $N = 10$ ) besaß. In dem Di-

agramm der Fig. 7 ist der Druck am Einlass 115 der Pumpe auf der Y-Achse über dem Vordruck am Pumpenauslass 117 auf der X-Achse aufgetragen. Die Turbomolekularpumpe, die bei dem Versuch zum Einsatz kam, wies dabei einen Fluteinlass im Bereich der siebten Turbomolekularpumpstufe und einen Schleppgasanschluss im Bereich der vierten Turbomolekularpumpstufe auf.

**[0057]** Die oberste Diagrammlinie zeigt dabei einen Betriebszustand der Pumpe, bei dem weder über den Fluteinlass noch über den Schleppgasanschluss Gase in den Pumpmechanismus eingeleitet wurden. Die mittlere Diagrammlinie bezieht sich hingegen auf einen Betriebszustand, während dessen über den Fluteinlass im Bereich der siebten Turbomolekularpumpstufe während des Betriebs der Pumpe Stickstoff in den Pumpmechanismus eingeleitet wurde. Die unterste Diagrammlinie bezieht sich hingegen auf einen Betriebszustand der Pumpe, während dessen über dem Schleppgasanschluss im Bereich der vierten Turbomolekularpumpstufe Stickstoff in den Pumpmechanismus eingeleitet wurde. Die Pumpe wurde dabei während aller drei Betriebszustände so betrieben, dass 1.000 sccm Wasserstoffgas als Prozessgas vom Pumpeneinlass 115 zum Pumpenauslass 117 gefördert wurden.

**[0058]** Wie der mittleren Diagrammlinie entnommen werden kann, stellt sich bereits durch das Einleiten von Stickstoffgas durch den Fluteinlass eine Reduzierung des Drucks am Pumpeneinlass gegenüber dem Betriebszustand ein, bei dem in den Pumpenmechanismus gemäß der obersten Diagrammlinie kein Schleppgas in den Pumpenmechanismus eingeleitet wird.

**[0059]** Zwar wird somit bereits durch die Einleitung von Stickstoff über den Fluteinlass das Saugvermögen der Pumpe verbessert; wie jedoch der untersten Diagrammlinie entnommen werden kann, sinkt der Pumpeneinlassdruck nochmals weiter ab, wenn Stickstoff als Schleppgas nicht über den Fluteinlass im Bereich der siebten Turbomolekularpumpstufe, sondern über den Schleppgasanschluss im Bereich der vierten Turbomolekularpumpe in den Pumpenmechanismus eingeleitet wird.

**[0060]** Bei den zuvor erläuterten Versuchsergebnissen wurde die Pumpe so betrieben, dass diese kontinuierlich 1.000 sccm H<sub>2</sub> fördert, wobei über den Fluteinlass bzw. über den Sperrgasanschluss 225 100 sccm Stickstoff in den Pumpenmechanismus eingeleitet wurden. So hat sich nämlich durch Versuche herausgestellt, dass bei einem Verhältnis von etwa 10:1 (Standardkubikzentimeter Prozessgas pro Minute: Standardkubikzentimeter Schleppgas pro Minute) zuverlässig die zuvor beschriebene Rückströmproblematik reduzieren und damit das Saugvermögen der Pumpe steigern lässt, ohne dass dies übermäßig zu Lasten der Leistungsaufnahme der Pumpe geht.

#### Bezugszeichenliste

**[0061]**

111	Turbomolekularpumpe
113	Einlassflansch
115	Pumpeneinlass
117	Pumpenauslass
5 119	Gehäuse
121	Unterteil
123	Elektronikgehäuse
125	Elektromotor
127	Zubehöranschluss
10 129	Datenschnittstelle
131	Stromversorgungsanschluss
133	Fluteinlass
135	Sperrgasanschluss
137	Motorraum
15 139	Kühlmittelanschluss
141	Unterseite
143	Schraube
145	Lagerdeckel
147	Befestigungsbohrung
20 148	Kühlmittelleitung
149	Rotor
151	Rotationsachse
153	Rotorwelle
155	Rotorscheibe
25 157	Statorscheibe
159	Abstandsring
161	Rotornabe
163	Holweck-Rotorhülse
165	Holweck-Rotorhülse
30 167	Holweck-Statorhülse
169	Holweck-Statorhülse
171	Holweck-Spalt
173	Holweck-Spalt
175	Holweck-Spalt
35 179	Verbindungskanal
181	Wälzlager
183	Permanentmagnetlager
185	Spritzmutter
187	Scheibe
40 189	Einsatz
191	rotorseitige Lagerhälfte
193	statorseitige Lagerhälfte
195	Ringmagnet
197	Ringmagnet
45 199	Lagerspalt
201	Trägerabschnitt
203	Trägerabschnitt
205	radiale Strebe
207	Deckelelement
50 209	Stützring
211	Befestigungsring
213	Tellerfeder
215	Not- bzw. Fanglager
217	Motorstator
55 219	Zwischenraum
221	Wandung
223	Labyrinthdichtung
225	Schleppgasanschluss

227 Gehäuseöffnung

**Patentansprüche**

1. Molekularvakuumpumpe (111) mit einem Gehäuse (119) zur Aufnahme eines von einer Rotorwelle (153) angetriebenen Pumpmechanismus zur Förderung eines Prozessgases von einem Pumpeneinlass (115) zu einem Pumpenauslass (117), wobei der Pumpmechanismus zwischen dem Pumpeneinlass (115) und dem Pumpenauslass (117) eine Mehrzahl von N pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Pumpstufen umfasst, wobei die am nächsten am Pumpeneinlass (115) befindliche Pumpstufe die erste und die am nächsten am Pumpenauslass (117) befindliche Pumpstufe die N-te Pumpstufe ist; wobei das Gehäuse (119) einen Schleppgasanschluss (225) aufweist, der stromaufwärts einer Pumpstufe M in den Pumpmechanismus mündet, wobei gilt  $M = \lceil (N+1)/2 \rceil$ .

2. Molekularvakuumpumpe (111) nach Anspruch 1, wobei gilt  $M = \lceil N/2 \rceil$ , wobei ferner gilt  $N \geq 4$ .

3. Molekularvakuumpumpe (111) nach Anspruch 1, wobei gilt  $M = \lceil N/2 \rceil - 1$ , wobei ferner gilt:  $N \geq 6$ .

4. Molekularvakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Molekularvakuumpumpe (111) eine Turbomolekularvakuumpumpe (111) ist, die eine Mehrzahl von N pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Turbomolekularpumpstufen umfasst, von denen eine jede eine an der Rotorwelle (153) befestigte Rotorscheibe (155) und eine stationäre Statorscheibe (157) umfasst.

5. Verfahren zum Betreiben einer Molekularvakuumpumpe (111) mit einem Gehäuse (119) zur Aufnahme eines von einer Rotorwelle (153) mittels eines Elektromotors angetriebenen Pumpmechanismus zur Förderung eines Prozessgases von einem Pumpeneinlass (115) zu einem Pumpenauslass (117), wobei der Pumpmechanismus zwischen dem Pumpeneinlass (115) und dem Pumpenauslass (117) eine Mehrzahl von N pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Pumpstufen umfasst, wobei die am nächsten am Pumpeneinlass (115) befindliche Pumpstufe die erste und die am nächsten Pumpenauslass (117) befindliche Pumpstufe die N-te Pumpstufe ist, wobei sich das Verfahren dadurch auszeichnet, dass während des Förderns von Prozessgases von dem Pumpeneinlass (115) zu dem Pumpenauslass (117) in den Pumpmechanismus eine Menge eines Schleppgases eingeleitet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Schleppgas in den Pumpmechanismus eingeleitet wird, während der Elektromotor bestromt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 und/oder 6, wobei sich die in den Pumpmechanismus eingeleitete Menge des Schleppgases gemessen in Standardkubikzentimeter pro Minute (sccm) zur Menge des geförderten Prozessgases gemessen in Standardkubikzentimeter pro Minute (sccm) verhält wie  $1 : X$ , wobei gilt  $5 \leq X \leq 15$ , insbesondere  $7 \leq X \leq 13$ , vorzugsweise  $9 \leq X \leq 11$ , und insbesondere bevorzugt X im Wesentlichen gleich 10 oder gleich 10.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei das Verfahren unter Verwendung einer Molekularvakuumpumpe (111) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei als Schleppgas ein Gas verwendet wird, das eine größere molare Masse als das Prozessgas aufweist, wobei es insbesondere vorgesehen ist, dass als Schleppgas Stickstoff und/oder Argon verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, wobei das Schleppgas kontinuierlich über einen Zeitraum von zumindest einer Stunde während des Förderns von Prozessgas eingeleitet wird, insbesondere über einen Zeitraum von zumindest 10 Stunden, vorzugsweise über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, wobei das Schleppgas kontinuierlich während zumindest 50% der Zeit eines Zeitfensters eingeleitet wird, während dessen die Molekularvakuumpumpe (111) kontinuierlich mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Leistung oder mit zumindest 75% ihrer maximal zulässigen Drehzahl betrieben wird.

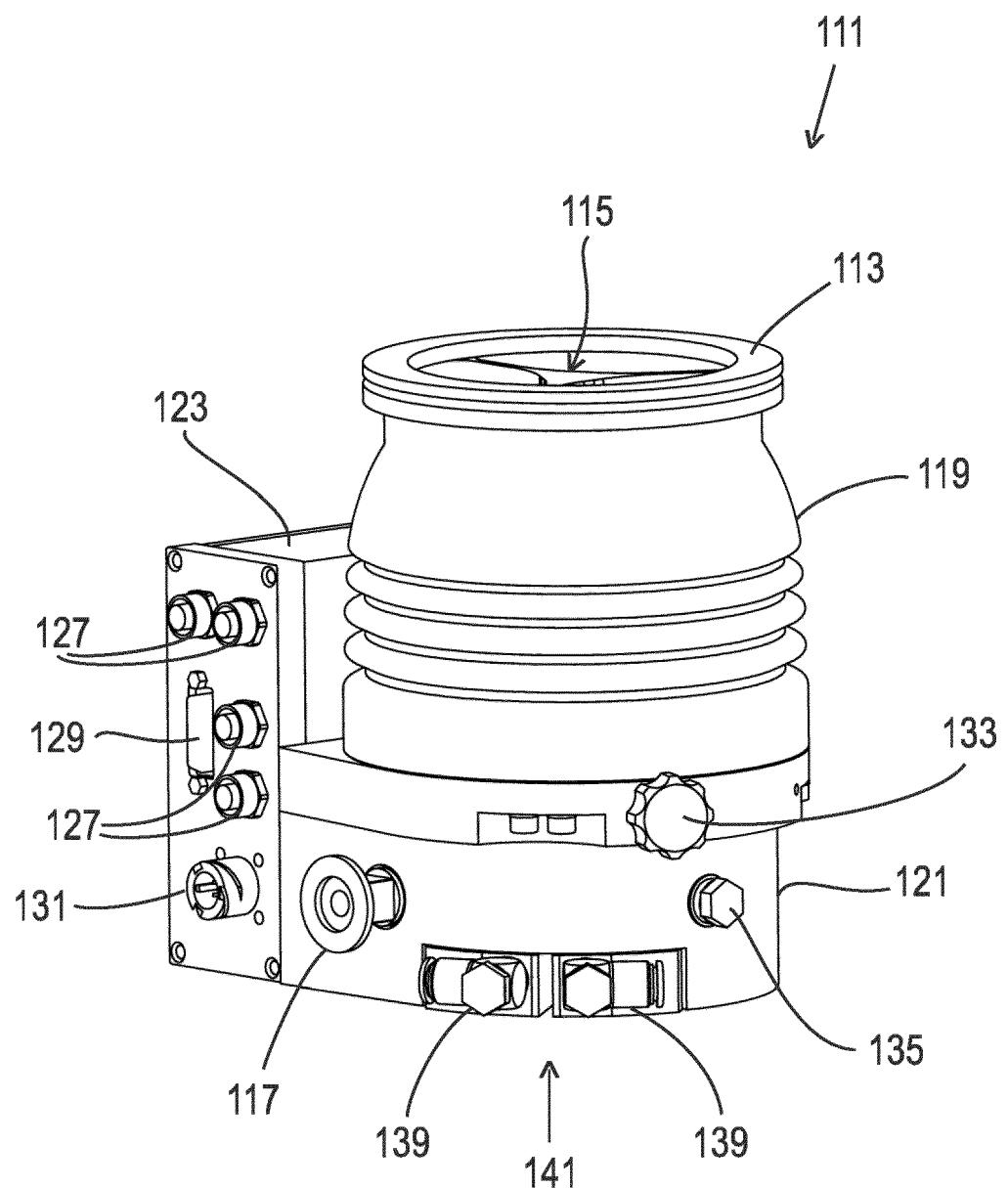


Fig. 1

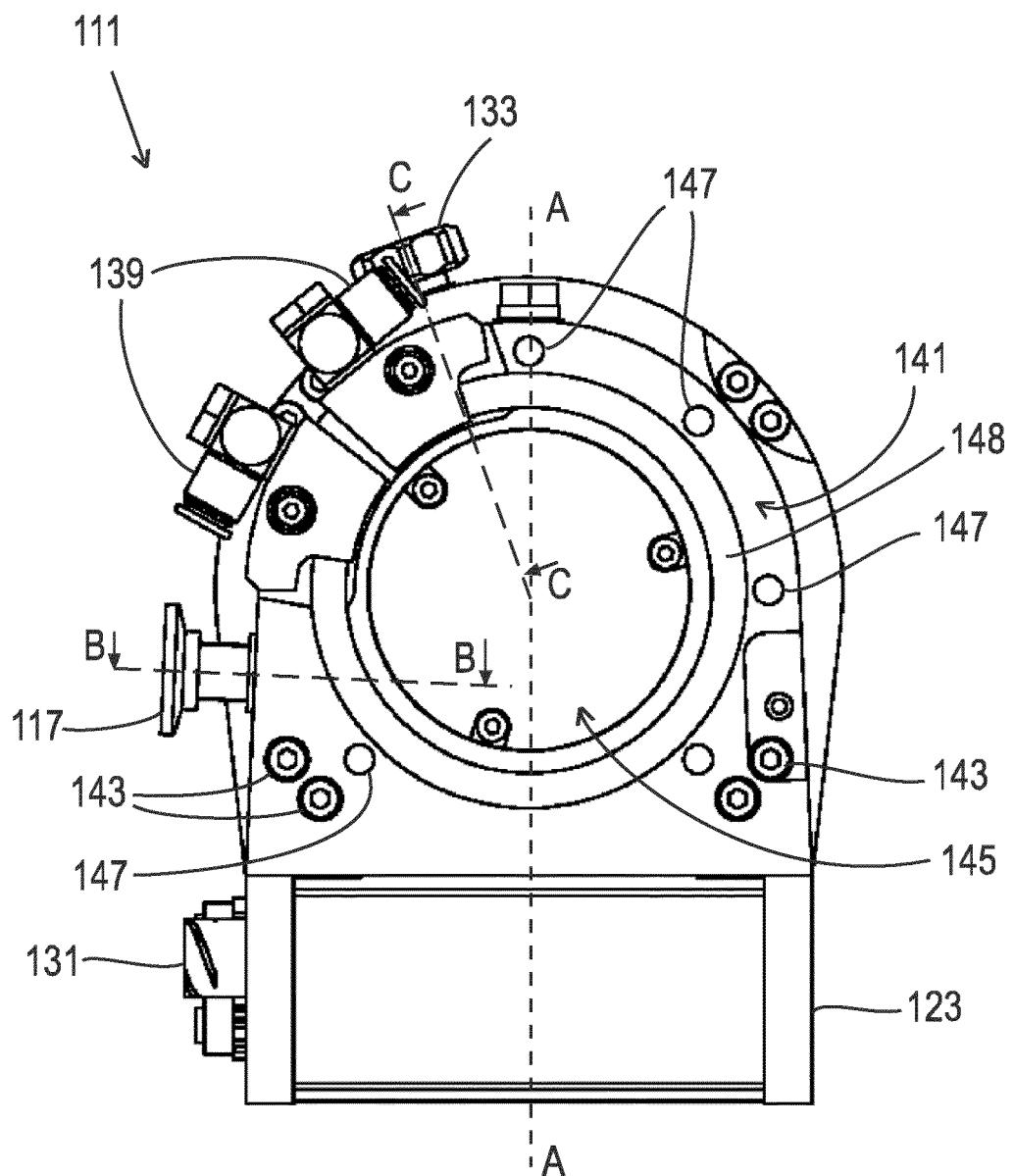
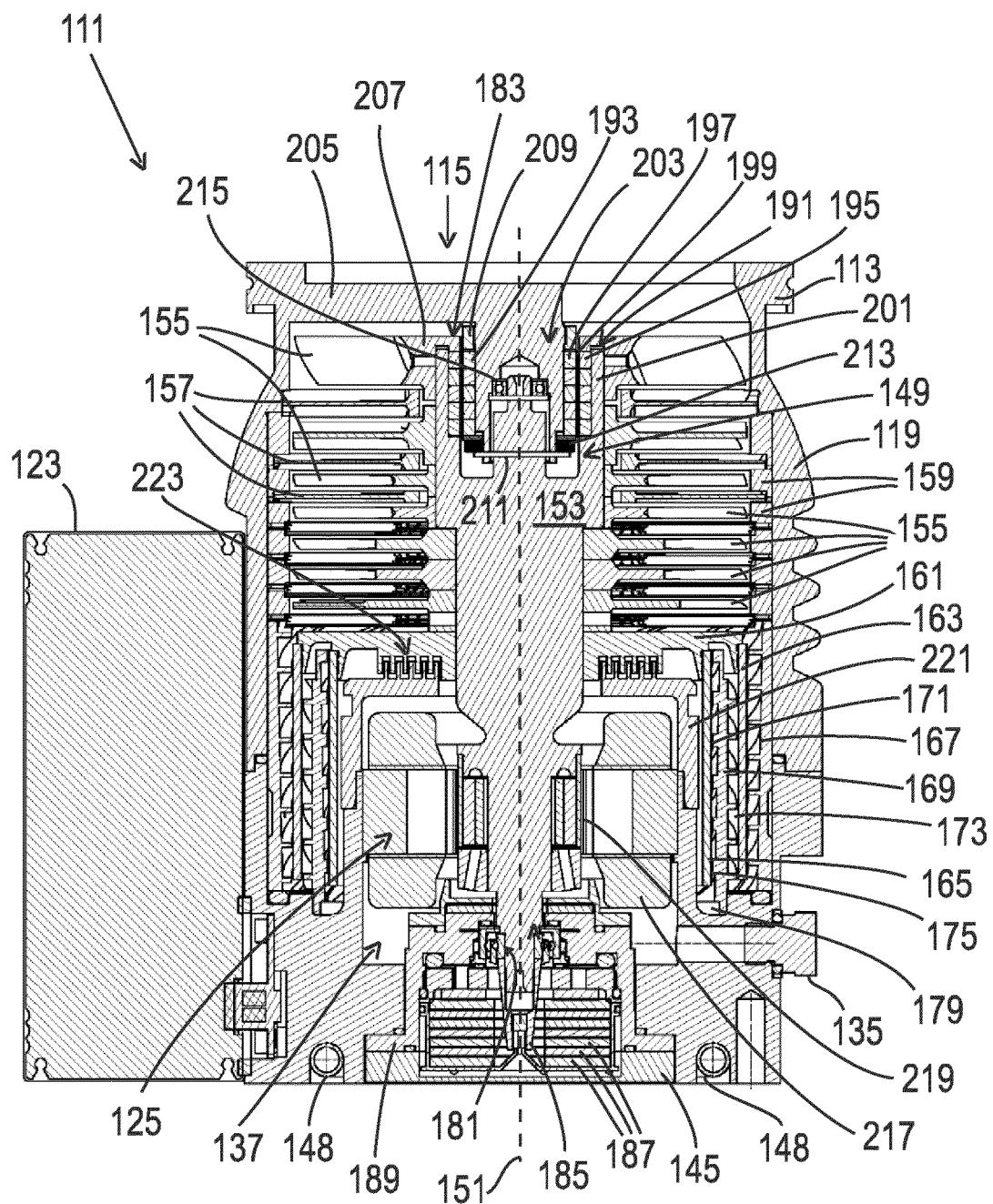


Fig. 2



A-A

Fig. 3

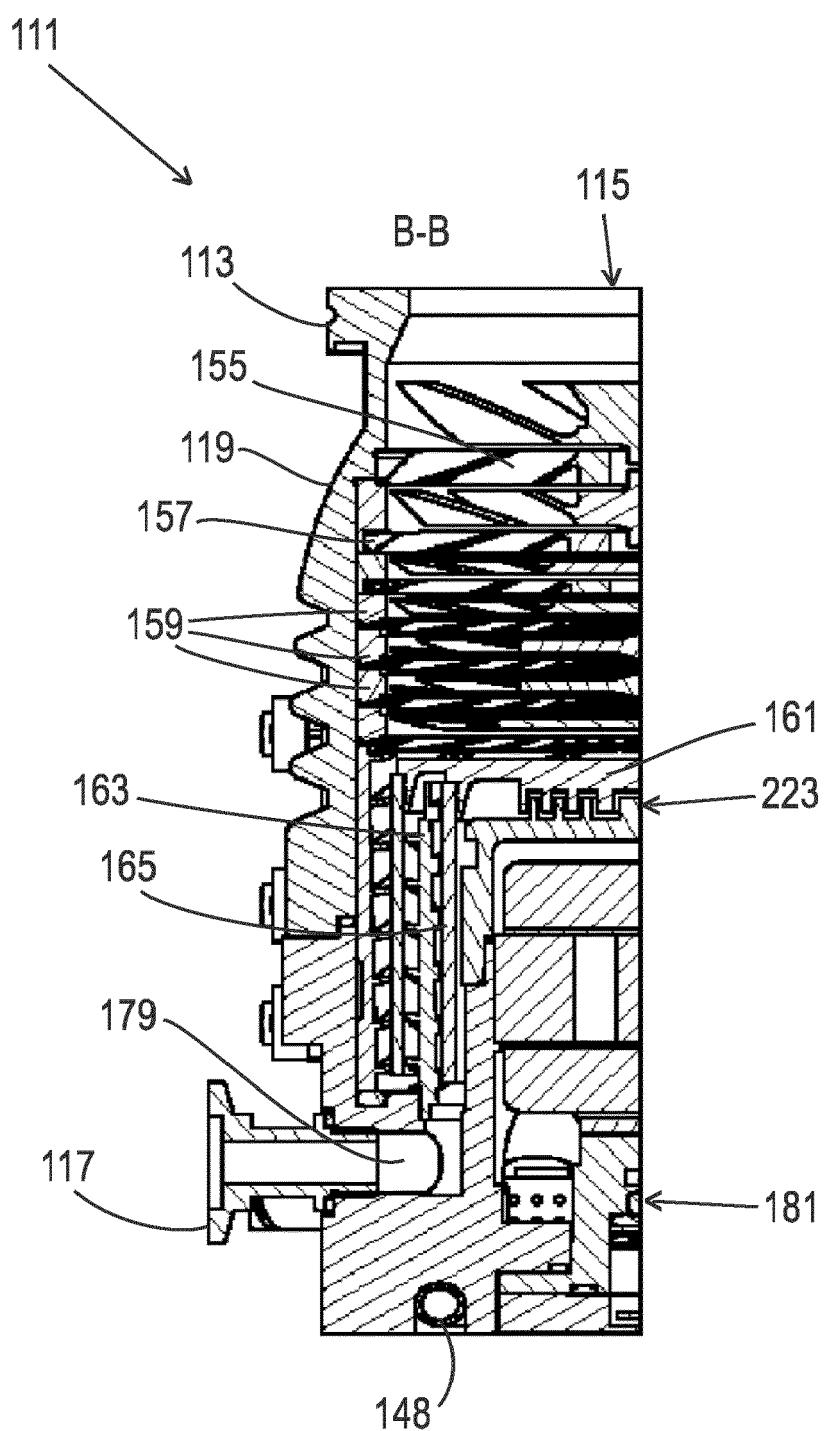


Fig. 4

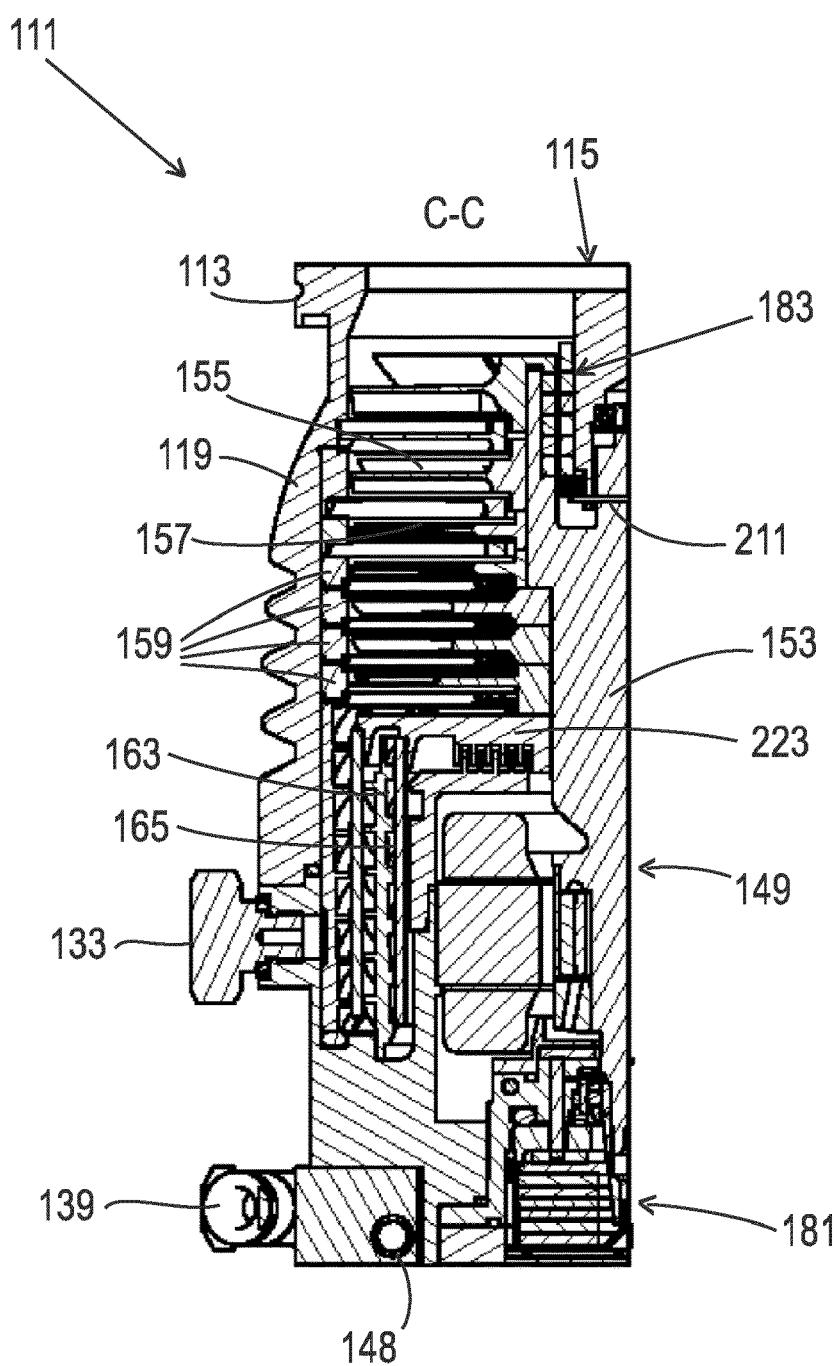


Fig. 5

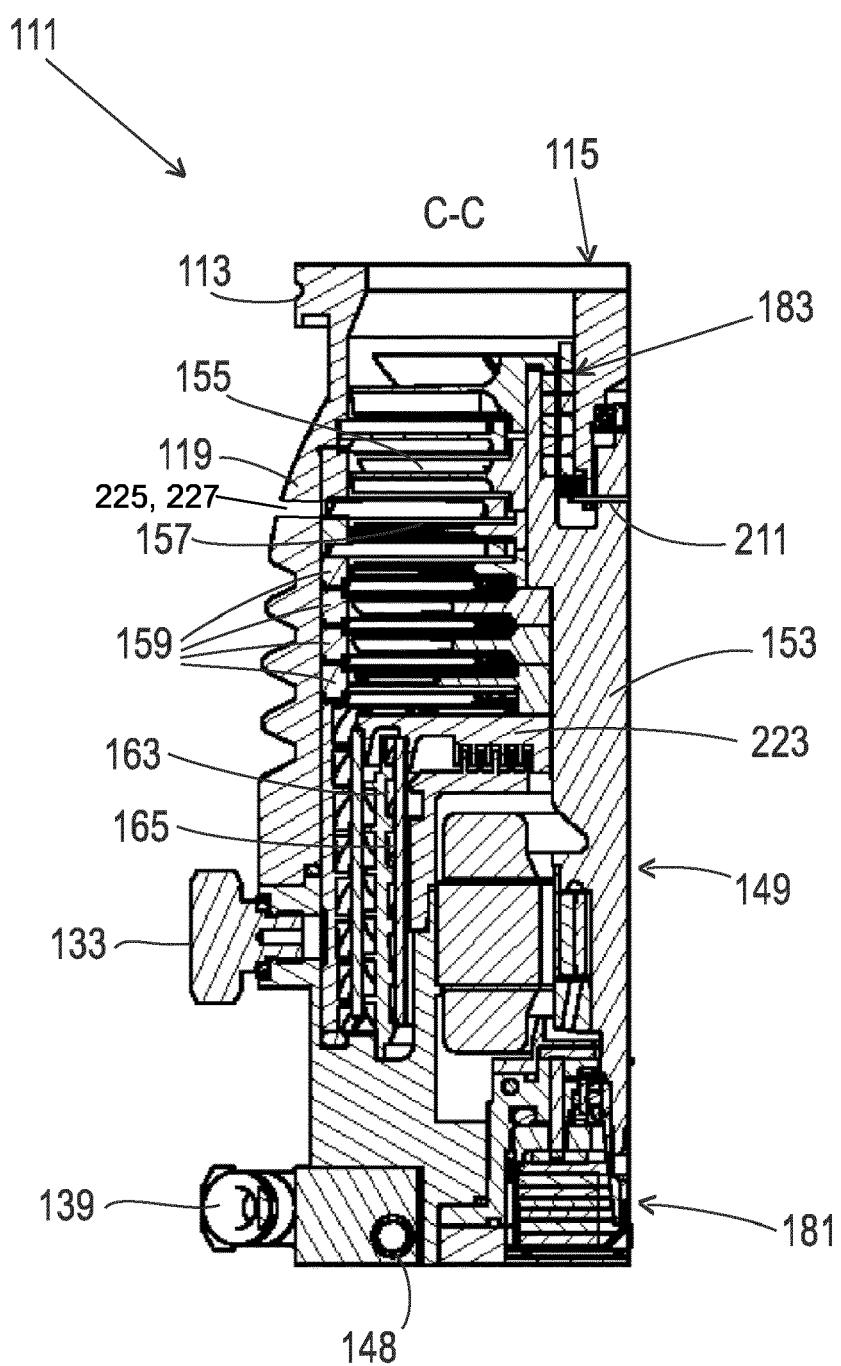


Fig. 6

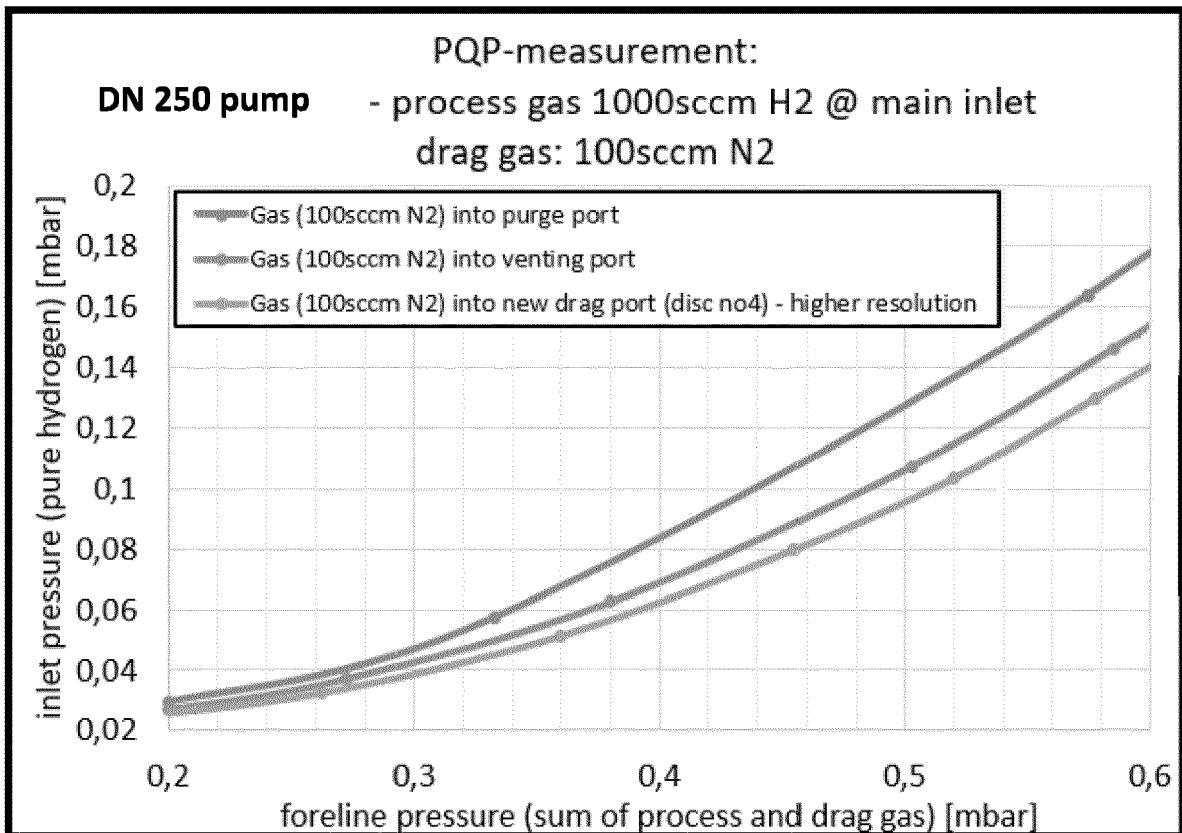


Fig. 7



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 3499

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrikt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)	
10	X EP 3 438 460 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 6. Februar 2019 (2019-02-06) * Absätze [0012], [0013], [0054] – [0058], [0065] * * Abbildungen 6, 8 * -----	1-11	INV. F04D19/04 F04D27/02	
15	X JP H03 233193 A (JAPAN ATOMIC ENERGY RES INST; MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 17. Oktober 1991 (1991-10-17) * das ganze Dokument * -----	1-11	ADD. F04D29/58 F04D29/68	
20	X EP 0 974 756 A2 (SEIKO SEIKI KK [JP]) 26. Januar 2000 (2000-01-26) * Absätze [0009], [0013], [0050], [0061], [0062], [0073] * * Abbildung 1 * -----	1-11		
25	X US 5 092 740 A (YAMAMURA AKIRA [JP]) 3. März 1992 (1992-03-03) * Spalte 1, Zeilen 14-23 * * Spalte 2, Zeilen 43-51 * * Abbildungen 1-3 * -----	5-7, 9-11		
30	A DE 25 07 430 A1 (SCHITTKE FRANZ JOSEF DIPL PHYS) 26. August 1976 (1976-08-26) * Seite 2 * -----	1-4, 8	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)	
35			F04D	
40				
45				
50	1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
55	EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 16. November 2022	Prüfer De Tobel, David
		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
		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		

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

EP 22 19 3499

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.

16-11-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 3438460 A1	06-02-2019	EP JP JP US	3438460 A1 6894871 B2 2019031966 A 2019040866 A1	06-02-2019 30-06-2021 28-02-2019 07-02-2019
20	JP H03233193 A	17-10-1991	JP JP	2808470 B2 H03233193 A	08-10-1998 17-10-1991
25	EP 0974756 A2	26-01-2000	EP JP JP KR US	0974756 A2 3038432 B2 2000038998 A 20000011840 A 6454524 B1	26-01-2000 08-05-2000 08-02-2000 25-02-2000 24-09-2002
30	US 5092740 A	03-03-1992	DE EP JP KR US	68914320 T2 0340685 A2 H01277698 A 900016621 A 5092740 A	21-07-1994 08-11-1989 08-11-1989 14-11-1990 03-03-1992
35	DE 2507430 A1	26-08-1976	KEINE		
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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