



(11) **EP 4 379 216 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

- (43) Veröffentlichungstag:
05.06.2024 Patentblatt 2024/23

(21) Anmeldenummer: **24171527.5**

(22) Anmeldetag: **22.04.2024**
- (51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 19/04^(2006.01) F04D 29/32^(2006.01)
F04D 29/54^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 19/042; F04D 29/324; F04D 29/542;
F05D 2220/3217; F05D 2250/51

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR Benannte Erstreckungsstaaten: BA Benannte Validierungsstaaten: GE KH MA MD TN	(71) Anmelder: Pfeiffer Vacuum Technology AG 35614 Asslar (DE) (72) Erfinder: Die Erfindernennung liegt noch nicht vor (74) Vertreter: Manitz Finsterwald Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB Martin-Greif-Strasse 1 80336 München (DE)
---	--

(54) **TURBOMOLEKULARVAKUUMPUMPE MIT KOMPAKTER BAUFORM**

- (57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Turbomolekularvakuumpumpe mit einem Pumpeneinlass, einem Pumpenauslass und einem von einer Rotorwelle angetriebenen Pumpmechanismus zur Förderung eines Prozessgases vom Pumpeneinlass zum Pumpenauslass. Der Pumpmechanismus weist zwischen dem Pumpeneinlass und dem Pumpenauslass mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Turbomolekular-Pumpstufen mit jeweils einer Rotorscheibe und einer Stator-
- scheibe stromabwärts der Rotorscheibe auf. Jede Rotorscheibe weist dabei mehrere sich radial erstreckende Flügel auf, die parallel zur Rotorwelle eine Höhe H aufweisen. Zudem weist jede Statorscheibe mehrere sich radial erstreckende Flügel auf, die parallel zur Rotorwelle eine Höhe h aufweisen. Hier gilt für das Verhältnis H / h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe: $3 \leq H / h \leq 5$.

EP 4 379 216 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Turbomolekularvakuumpumpe, welche aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe eine besonders kompakte Bauform aufweist, ohne dass dies zu Leistungseinbußen beim Saugvermögen der Pumpe führt.

[0002] Das Saugvermögen einer Turbomolekularvakuumpumpe wird durch viele Parameter beeinflusst. Hierzu gehören unter anderem auch die geometrischen Parameter der einzelnen Pumpstufen, insbesondere die geometrischen Parameter der Rotor- und der Statorscheiben, die jeweils paarweise gemeinsam eine Pumpstufe bilden.

[0003] Ferner hängt das Saugvermögen einer Turbomolekularvakuumpumpe von der Anzahl der Pumpstufen der Vakuumpumpe ab. Je mehr Pumpstufen jedoch pumpwirksam miteinander in Serie geschaltet sind bzw. werden, umso größer wird die axiale Bauhöhe der jeweiligen Pumpe. Andererseits bestehen grundsätzlich Bestrebungen dahingehend, die axiale Bauhöhe von Turbomolekularvakuumpumpen möglichst klein zu halten.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die axiale Bauhöhe einer Turbomolekularvakuumpumpe zu reduzieren, ohne dass dies zu signifikanten Leistungseinbußen beim Saugvermögen der Pumpe führt.

[0005] Diese Aufgabe wird durch eine Turbomolekularvakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und insbesondere dadurch gelöst, dass für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3 \leq H/h \leq 5$. Hierbei bezeichnet H die parallel zur Rotorwelle gemessene Höhe der Flügel der Rotorscheibe in der Ansicht, wohingegen h die parallel zur Rotorwelle gemessene Höhe der Flügel der Statorscheibe in der Ansicht bezeichnet. Die Höhe H der Flügel der Rotorscheibe und die Höhe h der Statorscheibe der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe ist dabei in aller Regel über die radiale Erstreckung des jeweiligen Flügels hinweg konstant, wie dies der Fall ist, wenn die Flügel eine im Wesentlichen rechteckige Gestalt aufweisen und gegenüber der Achse der Rotorwelle geneigt sind. Die Höhe H der Flügel der Rotorscheibe und die Höhe h der Flügel der Statorscheibe können jedoch in radialer Richtung auch geringfügig variieren. Für diesen Fall beziehen sich die hier diskutierten Parameter H (bzw. H_1) sowie h (bzw. h_1) auf den Mittelwert der jeweiligen Flügel.

[0006] Konkret weist die erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe einen Pumpeneinlass, einen Pumpenauslass und einen von einer Rotorwelle angetriebenen Pumpmechanismus zur Förderung eines Prozessgases vom Pumpeneinlass zum Pumpenauslass auf. Der Pumpmechanismus weist zwischen dem Pumpeneinlass und dem Pumpenauslass mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Turbomolekular-Pumpstufen mit jeweils einer Rotorscheibe und einer Statorscheibe stromabwärts der jeweiligen Rotorscheibe auf. Jede Rotorscheibe weist dabei mehrere sich radial von der Rotorwelle erstreckende Flügel auf, die parallel zur Rotorwelle gemessen und somit in axialer Richtung betrachtet eine Höhe H aufweisen. In entsprechender Weise weist jede Statorscheibe mehrere sich in radialer Richtung erstreckende Flügel auf, die parallel zur Rotorwelle gemessen und somit in radialer Richtung betrachtet eine Höhe h aufweisen.

[0007] Erfindungsgemäß ist es dabei nun vorgesehen, dass für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe bzw. jener Turbomolekular-Pumpstufe, die sich in Strömungsrichtung am nächsten am Pumpeneinlass befindet, gilt: $3 \leq H/h \leq 5$. Die Flügel der am weitesten stromaufwärts befindlichen Statorscheibe weisen somit maximal eine Höhe h auf, die maximal einem Drittel der Höhe H der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Rotorscheibe entspricht. Andererseits weisen die Flügel der am weitesten stromaufwärts befindlichen Statorscheibe minimal eine Höhe h auf, die mindestens 20% der Höhe H der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Rotorscheibe entspricht.

[0008] Zwar entspricht es allgemein anerkannten Konstruktionsprinzipien, die Stator- und Rotorscheiben einer jeweiligen Turbomolekular-Pumpstufe so auszubilden, dass die Höhe der Flügel der jeweiligen Statorscheibe etwas geringer ist als die Höhe der Flügel der jeweiligen Rotorscheibe; üblicherweise werden dabei jedoch die Flügel der jeweiligen Statorscheibe so dimensioniert, dass deren axiale Höhe möglichst nicht geringer ist als die Hälfte der axialen Höhe der Flügel der zugehörigen Rotorscheibe, da mit abnehmender Flügelhöhe der am weitesten stromaufwärts gelegenen Statorscheibe tendenziell eine Abnahme des Saugvermögens zu beobachten ist.

[0009] Erfindungsgemäß wurde nun jedoch im Rahmen von Versuchen erkannt, dass im Falle, dass die Höhe h der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Statorscheibe im Vergleich zur Höhe H der Flügel zugehörigen Rotorscheibe sehr klein gewählt wird, das Saugvermögen im Vergleich zu herkömmlichen Auslegungskriterien beibehalten oder sogar etwas verbessert werden kann. Zwar wurde für Verhältnismerte H/h , für die etwa $2,5 \leq H/h$ gilt, beobachtet, dass mit abnehmender Flügelhöhe h der Statorscheiben zunächst erwartungsgemäß das Saugvermögen weiter abnimmt; ab einem Verhältnismerte von etwa 3 für das Verhältnis H/h wurde jedoch erfindungsgemäß überraschenderweise festgestellt, dass das Saugvermögen wieder Werte erreicht, die normalerweise nur dann erzielt werden, wenn das Verhältnis H/h etwa 1,7 beträgt. Erst wenn die Höhe der Flügel der Statorscheibe derart klein gewählt wird, dass diese nur noch ein Fünftel bzw. 20% der Höhe der Flügel der zugehörigen Rotorscheibe beträgt, wurde erfindungsgemäß beobachtet, dass in diesem Falle größere Leistungseinbußen beim Saugvermögen in Kauf genommen werden müssen.

[0010] Erfindungsgemäß ist es somit möglich, die Statorscheibe der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomo-

lekular-Pumpstufe mit einer geringeren Höhe als bislang bekannt auszubilden, ohne hierbei signifikante Leistungseinbußen beim Saugvermögen in Kauf nehmen zu müssen. Eine nach dem erfindungsgemäßen Konstruktionsprinzipien ausgebildete Turbomolekularvakuumpumpe weist daher eine geringere axiale Bauhöhe bei im Westlichem gleichbleibendem oder sogar besserem Saugvermögen auf.

[0011] Erfindungsgemäß wurde weiterhin erkannt, dass das Saugvermögen in dem erfindungsgemäßen Intervall $3 \leq H/h \leq 5$ sogar einen Maximalwert erreicht. Dementsprechend gilt vorzugsweise für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe: $3,2 \leq H/h \leq 4,5$, insbesondere $3,3 \leq H/h \leq 4,1$ und insbesondere vorzugsweise $3,4 \leq H/h \leq 3,9$.

[0012] Insbesondere ist das maximale Saugvermögen dann zu beobachten, wenn das Verhältnis H/h etwa 3,5 beträgt, weshalb es erfindungsgemäß als vorteilhaft erachtet wird, in H/h -Intervallen zu arbeiten, deren Schwerpunkt bei etwa 3,5 liegt. Steht also die Maximierung des Saugvermögens im Vordergrund, so sollte das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe so gewählt werden, dass gilt: $3,2 \leq H/h \leq 3,8$, insbesondere $3,4 \leq H/h \leq 3,6$.

[0013] Sollte jedoch für bestimmte Aufgaben die Reduzierung der axialen Bauhöhe der Turbomolekularvakuumpumpe im Vordergrund stehen, so kann das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe so gewählt werden, dass gilt: $4,2 \leq H/h \leq 4,8$, insbesondere $4,4 \leq H/h \leq 4,6$, da in diesem Bereich nur mit geringfügigen Leistungseinbußen beim Saugvermögen zu rechnen ist. Erst ab $5 \leq H/h$ nimmt das Saugvermögen über Gebühr ab, weshalb erfindungsgemäß die Höhe der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Statorscheibe nicht kleiner sein sollte als 20% der Höhe der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Rotorscheibe.

[0014] 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 einen der Fig. 3 entsprechenden Querschnitt, in den die Höhenabmessungen H bzw. H_1 sowie h bzw. h_1 der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe eingetragen sind.

[0015] 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.

[0016] 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.

[0017] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0018] Am Gehäuse 119 der Turbomolekularpumpe 111 ist ein Fluteinlass 133, insbesondere in Form eines Flutventils, vorgesehen, über den die Vakuumpumpe 111 geflutet werden kann. Im Bereich des Unterteils 121 ist ferner noch ein Sperrgasanschluss 135, der auch als Spülgasanschluss bezeichnet wird, angeordnet, über welchen Spülgas zum Schutz des Elektromotors 125 (siehe z.B. Fig. 3) vor dem von der Pumpe geförderten Gas in den Motorraum 137, in welchem der Elektromotor 125 in der Vakuumpumpe 111 untergebracht ist, eingelassen werden kann. Im Unterteil 121 sind ferner noch zwei Kühlmittelanschlüsse 139 angeordnet, wobei einer der Kühlmittelanschlüsse als Einlass und der andere Kühlmittelanschluss als Auslass für Kühlmittel vorgesehen ist, das zu Kühlzwecken in die Vakuumpumpe geleitet werden kann. Andere existierende Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0019] 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.

[0020] Andere existierende Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0021] 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.

[0022] 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 Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0023] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0024] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgas-pumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0025] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0026] 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.

[0027] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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.

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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 Turbomolekularvakuumumpen

pen (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.

[0034] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0035] 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 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse innerhalb des für den Elektromotor 125 vorgesehenen Motorraums 137 festgelegt. Über den Sperrgasanschluss 135 kann ein Sperrgas, das auch als Spülgas bezeichnet wird, und bei dem es sich beispielsweise um Luft oder um Stickstoff handeln kann, in den Motorraum 137 gelangen. Über das Sperrgas kann der Elektromotor 125 vor Prozessgas, z.B. vor korrosiv wirkenden Anteilen des Prozessgases, geschützt werden. Der Motorraum 137 kann auch über den Pumpenauslass 117 evakuiert werden, d.h. im Motorraum 137 herrscht zumindest annäherungsweise der von der am Pumpenauslass 117 angeschlossenen Vorvakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

[0040] 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.

[0041] Nachfolgend wird nun auf die erfindungsgemäße Ausgestaltung bzw. Dimensionierung der zuvor beschriebenen Turbomolekularvakuumpumpe 111 und insbesondere deren am weitesten stromaufwärts gelegene Turbomolekular-Pumpstufe sowie auf den Einfluss dieser Ausgestaltung auf das Saugvermögen der Turbomolekularvakuumpumpe 111 eingegangen.

[0042] Wie bereits zuvor erläutert wurde, umfasst die Turbomolekularvakuumpumpe 111 mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Turbomolekular-Pumpstufen. Jede dieser Pumpstufen wird dabei durch eine an der Rotorwelle 153 befestigte Rotorscheibe 155 und eine Statorscheibe 157 gebildet, die sich stromabwärts der zugehörigen Rotorscheibe 155 befindet und dabei ortsfest an dem Gehäuse 119 festgelegt ist. Die am weitesten stromaufwärts gelegene Pumpstufe bzw. die Pumpstufe, die sich am nächsten zu dem Pumpeneinlass 115 befindet, wird also durch

eine Rotorscheibe 155 und eine stromabwärts davon befindliche Statorscheibe 157 gebildet. Stromabwärts dieser ersten Pumpstufe befindet sich eine zweite Pumpstufe, die ebenfalls wiederum durch eine Rotorscheibe 155 und eine stromabwärts davon befindliche Statorscheibe 157 gebildet wird.

[0043] Jede Rotorscheibe 155 weist dabei mehrere sich radial erstreckende Flügel auf, die in der Querschnittsdarstellung der Fig. 6 betrachtet in axialer Richtung der Rotorwelle 153 gemessen eine Höhe H aufweisen. In entsprechender Weise weist jede Statorscheibe 157 mehrere sich radial erstreckende Flügel auf, die in der Querschnittsdarstellung der Fig. 6 betrachtet in axialer Richtung der Rotorwelle 153 gemessen eine Höhe h aufweisen. Nachfolgend wird die Höhe der Flügel der Rotorscheibe 155 der ersten bzw. der am weitesten stromaufwärts gelegenen Pumpstufe mit H_1 und die Höhe der Flügel der Rotorscheibe 155 der zweiten bzw. stromabwärts der ersten Pumpstufe gelegenen Pumpstufe mit H_2 bezeichnet. In entsprechender Weise wird nachfolgend die Höhe der Flügel der Statorscheibe 157 der ersten Pumpstufe mit h_1 bezeichnet. Wie hierbei der Querschnittsdarstellung der Fig. 6 entnommen werden kann, ist die Höhe H_1 bzw. h_1 der Flügel der Rotorscheibe 155 bzw. der Statorscheibe 157 der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe über die radiale Erstreckung der jeweiligen Flügel hinweg konstant.

[0044] Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die nachfolgenden Tabellen 1 und 2 auf die Dimensionierung der am weitesten stromaufwärts gelegenen Pumpstufe herkömmlicher Turbomolekularvakuumumpumpen eingegangen, wobei sich die Tabelle 1 auf Turbomolekularvakuumumpumpen der Anmelderin und die Tabelle 2 auf Turbomolekularvakuumumpumpen des Wettbewerbs beziehen.

Tabelle 1

	DN100	DN160	DN160	DN200	DN250	DN250	DN250	DN250
	Pfeiffer	Pfeiffer	Pfeiffer	Pfeiffer	Pfeiffer	Pfeiffer	Pfeiffer	Pfeiffer
H_1 [mm]	11,50	8,00	11,50	15,00	15,00	15,00	16,00	15,00
h_1 [mm]	6,50	4,00	6,50	8,00	8,00	9,00	9,00	8,00
H_2 [mm]	6,50	4,00	5,00	6,50	7,00	10,00	13,00	10,50
Verh. H_1 / h_1	1,77	2	1,77	1,88	1,88	1,67	1,78	1,88
Einfangwahrscheinlichkeit eines N_2 -Moleküls	44%	40%	43%	39%	43%	44%	44%	41%

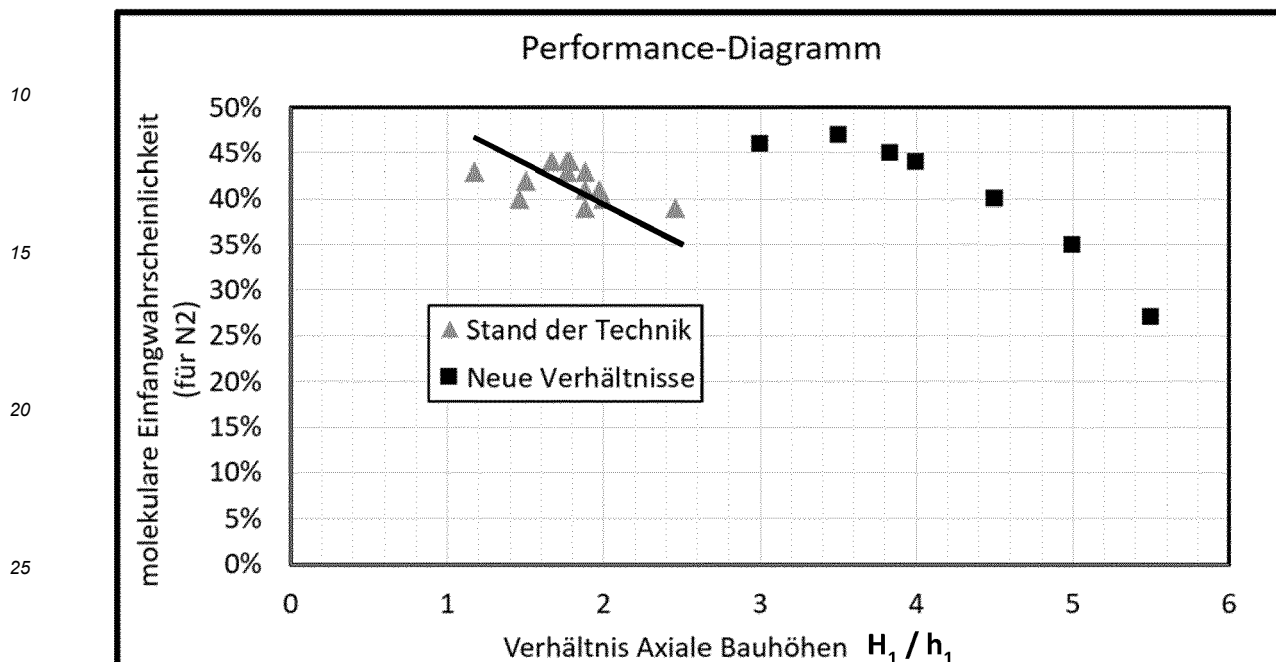
Tabelle 2

	DN100	DN63	DN63	DN100	DN250
	Wettbewerb	Wettbewerb	Wettbewerb	Wettbewerb	Wettbewerb
H_1 [mm]	8,00	6,10	4,79	11,69	24,00
h_1 [mm]	3,25	3,10	4,10	8,00	16,00
H_2 [mm]	3,80	1,70	2,76	5,12	15,00
Verh. H_1 / h_1	2,46	1,97	1,17	1,46	1,5
Einfangwahrscheinlichkeit eines N_2 -Moleküls	39%	41%	43%	40%	42%

[0045] Die beiden Tabellen 1 und 2 listen in der jeweils dritten und vierten Zeile die Flügelhöhen H_1 bzw. h_1 der am weitesten stromaufwärts gelegenen Pumpstufe von unterschiedlichen Turbomolekularvakuumumpumpen, die dabei nach der einschlägigen ISO-Norm ISO 1609 durch den Durchmesser ihres jeweiligen Einlassflanschs 113 gekennzeichnet sind. Die sechste Spalte der jeweiligen Tabelle listet jeweils den Quotienten H_1 / h_1 , wohingegen die siebte Zeile der jeweiligen Tabelle die zugehörige Einfangwahrscheinlichkeit eines N_2 -Moleküls listet. Diese Größe korreliert dabei mit dem Saugvermögen und verhält sich insbesondere linear zum Saugvermögen. Die Größe der Einfangwahrscheinlichkeit eines N_2 -Moleküls wurde hierbei deshalb gewählt, da diese Größe anders als das Saugvermögen von der Größe der Pumpe und somit vom Durchmesser des Einlassflanschs 113 unabhängig ist, sodass die einzelnen Pumpen unabhängig vom Durchmesser des jeweiligen Einlassflanschs 113 unmittelbar miteinander verglichen werden können.

[0046] Wie bereits den Tabellen 1 und 2 entnommen werden kann, bewegt sich das Verhältnis H_1 / h_1 üblicherweise

etwa im Bereich zwischen 1 und 2, was bedeutet, dass bislang die Höhe h_1 der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Statorscheibe 157 zumindest halb so hoch war, wie die Höhe H_1 der Flügel der Rotorscheibe 155 der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe. Dies kann so auch dem nachfolgenden Performance-Diagramm entnommen werden, in dem die Einfangwahrscheinlichkeit gemäß den Tabellen 1 und 2 in Abhängigkeit des jeweiligen Verhältnisses H_1 / h_1 mit Dreiecksymbolen veranschaulicht ist.



[0047] Wie hieraus entnommen werden kann, nimmt die molekulare Einfangwahrscheinlichkeit für ein N_2 -Molekül tendenziell mit zunehmendem H_1 / h_1 -Verhältnis ab, was bislang die Annahme gestützt hatte, dass es aufgrund des tendenziell abnehmenden Saugvermögens in technischer Hinsicht nicht sinnvoll ist, die Flügel der am weitesten stromaufwärts befindlichen Statorscheibe 157 mit einer Höhe h_1 auszubilden, die geringer ist als die Hälfte der Höhe H_1 der Flügel der Rotorscheibe 155 der am weitesten stromaufwärts befindlichen Pumpstufe.

[0048] Erfindungsgemäß wurde nun jedoch durch Simulationsversuche herausgefunden, dass die molekulare Einfangwahrscheinlichkeit für N_2 -Moleküle bzw. das Saugvermögen nach der zuvor beschriebenen Abnahme mit zunehmender Annäherung an H_1 / h_1 -Verhältnisse in der Größenordnung von etwa 3 wieder zunimmt, wie dies anhand der Quadratsymbole in dem voranstehenden Performance-Diagramm für eine Turbomolekularvakuumpumpe mit einem Einlassflanschdurchmesser DN100 veranschaulicht ist. Die konkreten Simulationsergebnisse sind hierbei in der nachfolgenden Tabelle 3 gelistet, welche in der ersten Zeile das Verhältnis H_1 / h_1 und in der zweiten Zeile die molekulare Einfangwahrscheinlichkeit für N_2 -Moleküle listet.

Tabelle 3

3	3,5	3,83	4	4,5	5	5,5
46%	47%	45%	44%	40%	35%	27%

[0049] Wie hieraus und insbesondere aus dem Performance-Diagramm hervorgeht, nimmt ab einem H_1 / h_1 -Verhältniswert von etwa 3 die molekulare Einfangwahrscheinlichkeit für N_2 -Moleküle und somit das Saugvermögen mit zunehmendem H_1 / h_1 -Verhältnis zunächst zu, und zwar bis zu einem H_1 / h_1 -Verhältniswert von etwa 3,5, woraufhin die molekulare Einfangwahrscheinlichkeit für N_2 -Moleküle bzw. das Saugvermögen anschließend mit weiter zunehmendem H_1 / h_1 -Verhältnis wieder abnimmt. Erst ab einem H_1 / h_1 -Verhältniswert von etwa 5 nimmt die molekulare Einfangwahrscheinlichkeit für N_2 -Moleküle und somit das Saugvermögen merklich ab, sodass es im Hinblick auf die Leistungseinbußen eines Saugvermögens weniger sinnvoll erscheint, die Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Statorscheibe 157 mit einer Höhe h_1 auszubilden, die geringer ist als 20% der Höhe H_1 der Flügel der am weitesten stromaufwärts gelegenen Rotorscheibe 155.

[0050] Steht die Reduzierung der axialen Bauhöhe der Turbomolekularpumpe im Vordergrund, so bietet es sich im

Hinblick auf die zuvor erläuterten Simulationsversuche an, die am weitesten stromaufwärts gelegene Turbomolekular-Pumpstufe so auszubilden, dass gilt: $4,2 \leq H_1 / h_1 \leq 4,8$, insbesondere $4,4 \leq H_1 / h_1 \leq 4,6$. Steht hingegen die Maximierung des Saugvermögens im Vordergrund, so bietet es sich unter Berücksichtigung der zuvor erläuterten Simulationsversuche an, die am weitesten stromaufwärts gelegene Turbomolekular-Pumpstufe so auszubilden, dass gilt $3,2 \leq H_1 / h_1 \leq 3,8$, insbesondere $3,4 \leq H_1 / h_1 \leq 3,6$.

[0051] In jedem Falle lässt sich jedoch die axiale Bauhöhe der Turbomolekularvakuumpumpe 111 reduzieren, ohne Leistungseinbußen beim Saugvermögen in Kauf nehmen zu müssen, wenn die am weitesten stromaufwärts gelegene Turbomolekular-Pumpstufe so ausgebildet wird, dass für das Flügelhöhenverhältnis gilt: $3 \leq H_1 / h_1 \leq 5$.

Bezugszeichenliste

[0052]

111	Turbomolekularpumpe
113	Einlassflansch
115	Pumpeneinlass
117	Pumpenauslass
119	Gehäuse
121	Unterteil
123	Elektronikgehäuse
125	Elektromotor
127	Zubehöranschluss
129	Datenschnittstelle
131	Stromversorgungsanschluss
133	Fluteinlass
135	Sperrgasanschluss
137	Motorraum
139	Kühlmittelanschluss
141	Unterseite
143	Schraube
145	Lagerdeckel
147	Befestigungsbohrung
148	Kühlmittelleitung
149	Rotor
151	Rotationsachse
153	Rotorwelle
155	Rotorscheibe
157	Statorscheibe
159	Abstandsring
161	Rotornabe
163	Holweck-Rotorhülse
165	Holweck-Rotorhülse
167	Holweck-Statorhülse
169	Holweck-Statorhülse
171	Holweck-Spalt
173	Holweck-Spalt
175	Holweck-Spalt
179	Verbindungskanal
181	Wälzlager
183	Permanentmagnetlager
185	Spritzmutter
187	Scheibe
189	Einsatz
191	rotorseitige Lagerhälfte
193	statorseitige Lagerhälfte
195	Ringmagnet
197	Ringmagnet
199	Lagerspalt

201 Trägerabschnitt
 203 Trägerabschnitt
 205 radiale Strebe
 207 Deckelelement
 5 209 Stützring
 211 Befestigungsring
 213 Tellerfeder
 215 Not- bzw. Fanglager
 217 Motorstator
 10 219 Zwischenraum
 221 Wandung
 223 Labyrinthdichtung

15 Patentansprüche

1. Turbomolekularvakuumpumpe (111), mit einem Pumpeneinlass (115), einem Pumpenauslass (117) und einem von einer Rotorwelle (153) angetriebenen Pumpmechanismus zur Förderung eines Prozessgases vom Pumpeneinlass (115) zum Pumpenauslass (117), wobei der Pumpmechanismus zwischen dem Pumpeneinlass (115) und dem Pumpenauslass (117) mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Turbomolekular-Pumpstufen mit jeweils einer Rotorscheibe (155) und einer Statorscheibe (157) stromabwärts der Rotorscheibe (155) aufweist, wobei jede Rotorscheibe (155) mehrere sich radial erstreckende Flügel aufweist, die parallel zur Rotorwelle (153) eine Höhe H aufweisen, und wobei jede Statorscheibe (157) mehrere sich radial erstreckende Flügel aufweist, die parallel zur Rotorwelle (153) eine Höhe h aufweisen;
 25 wobei für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3 \leq H/h \leq 5$.
2. Turbomolekularvakuumpumpe (111) nach Anspruch 1,
 wobei für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3,2 \leq H/h \leq 4,5$, wobei insbesondere für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3,3 \leq H/h \leq 4,1$, und wobei vorzugsweise für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3,4 \leq H/h \leq 3,9$.
3. Turbomolekularvakuumpumpe (111) nach Anspruch 1,
 35 wobei für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3,2 \leq H/h \leq 3,8$, wobei insbesondere für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $3,4 \leq H/h \leq 3,6$; oder
 wobei für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $4,2 \leq H/h \leq 4,8$, wobei insbesondere für das Verhältnis H/h der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe gilt: $4,4 \leq H/h \leq 4,6$.
 40
4. Turbomolekularvakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
 wobei die Höhe der Flügel der Rotorscheibe (155) und der Statorscheibe (157) der am weitesten stromaufwärts gelegenen Turbomolekular-Pumpstufe über die radiale Erstreckung des jeweiligen Flügels hinweg konstant ist.
 45

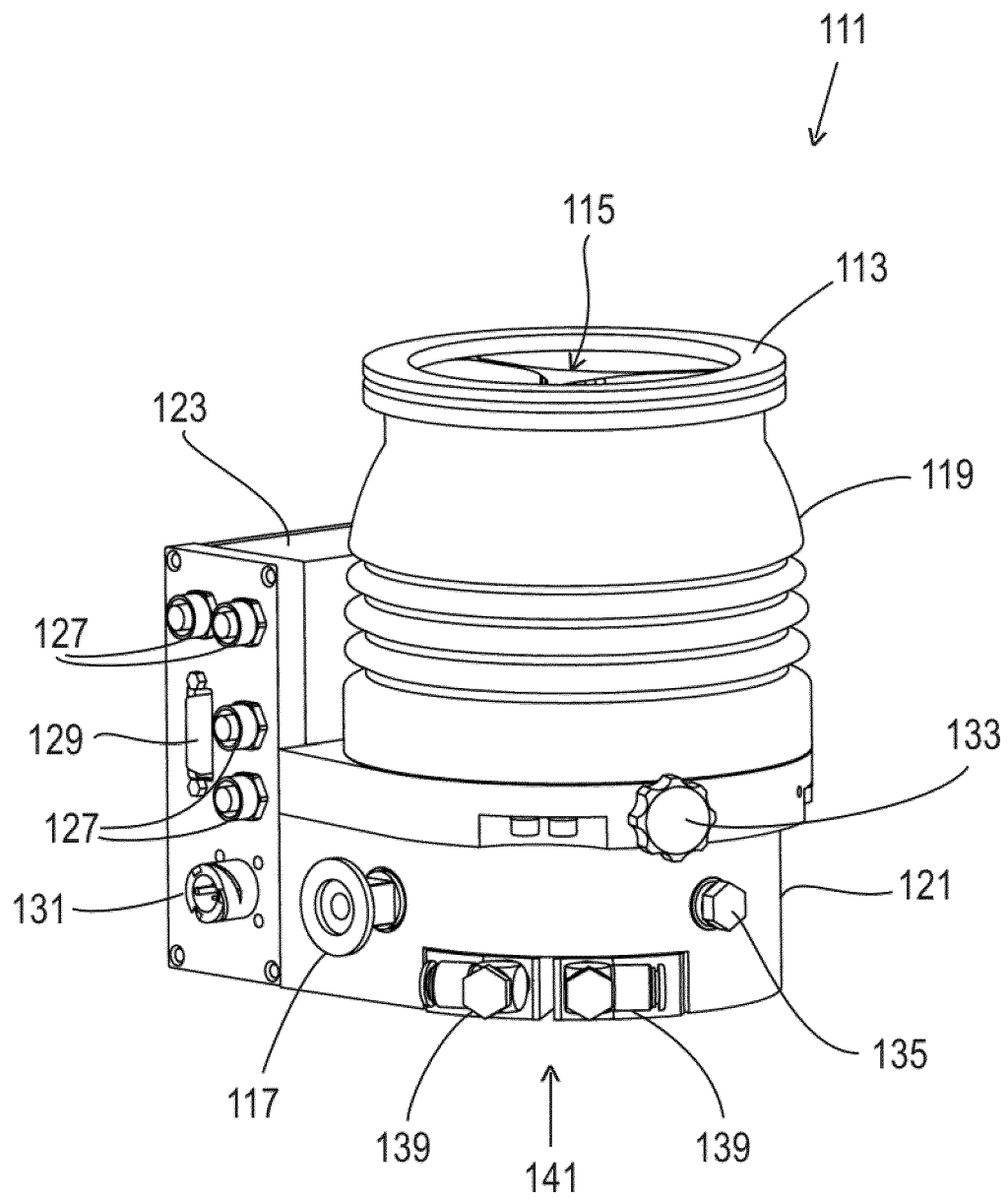


Fig. 1

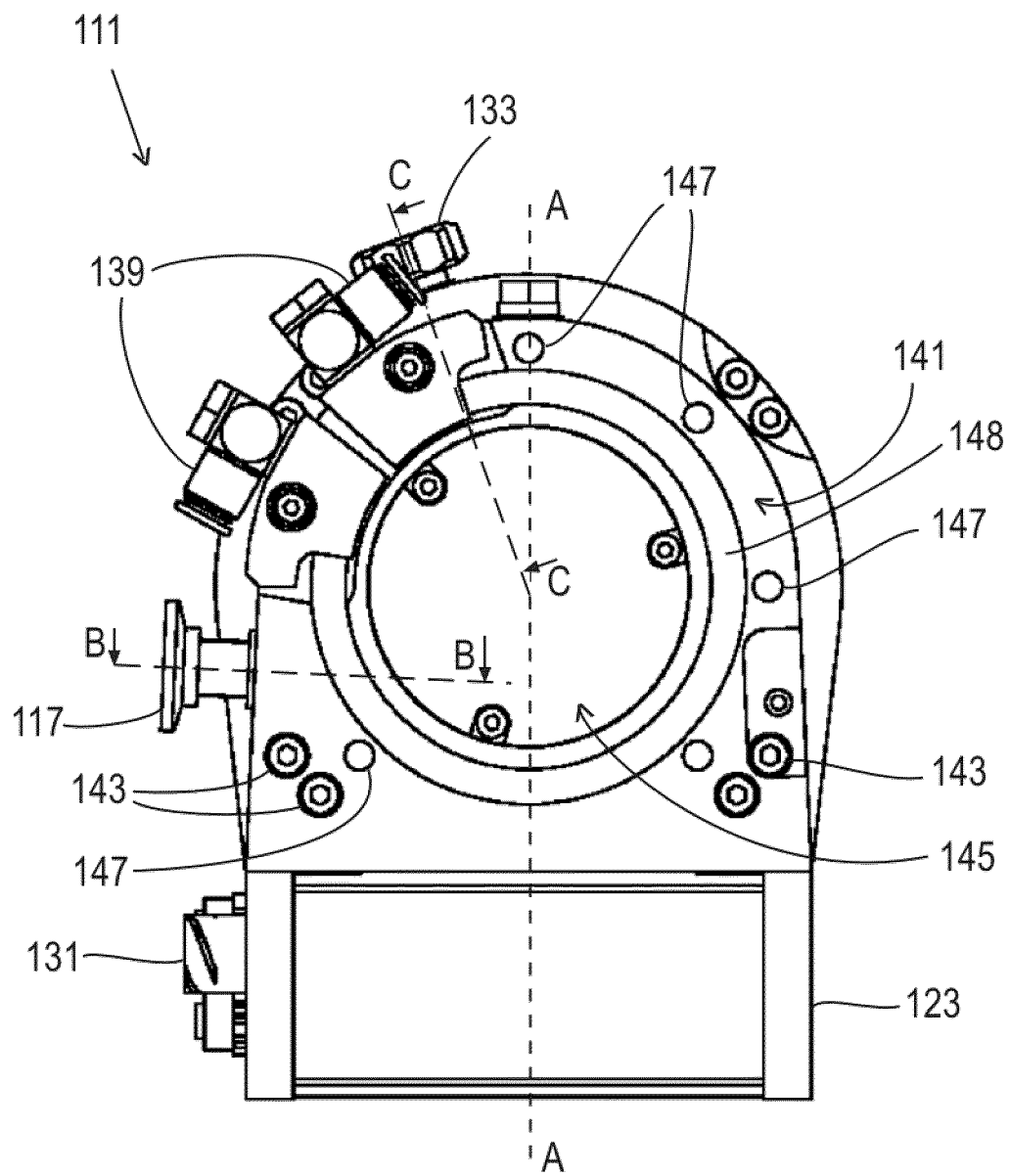


Fig. 2

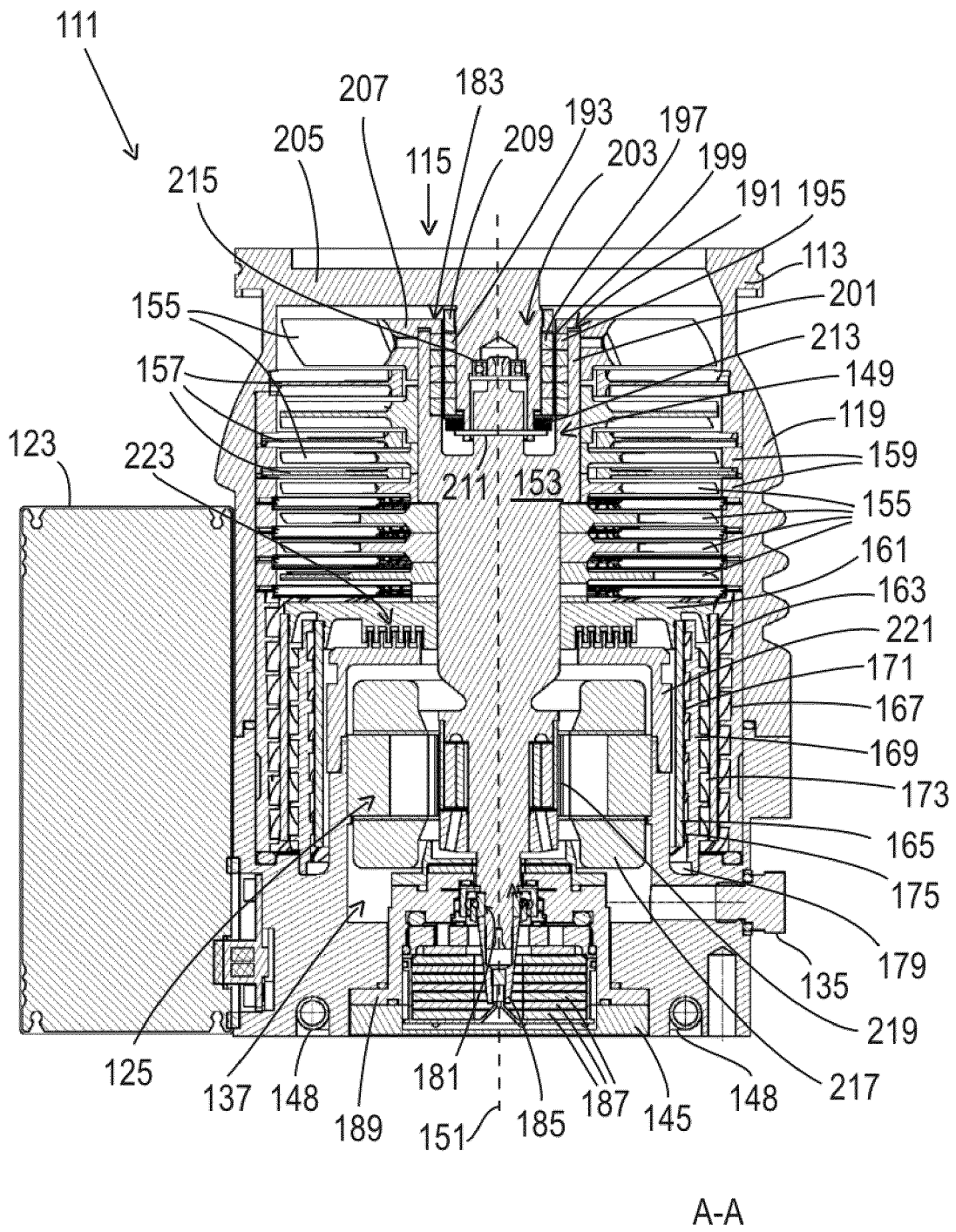


Fig. 3

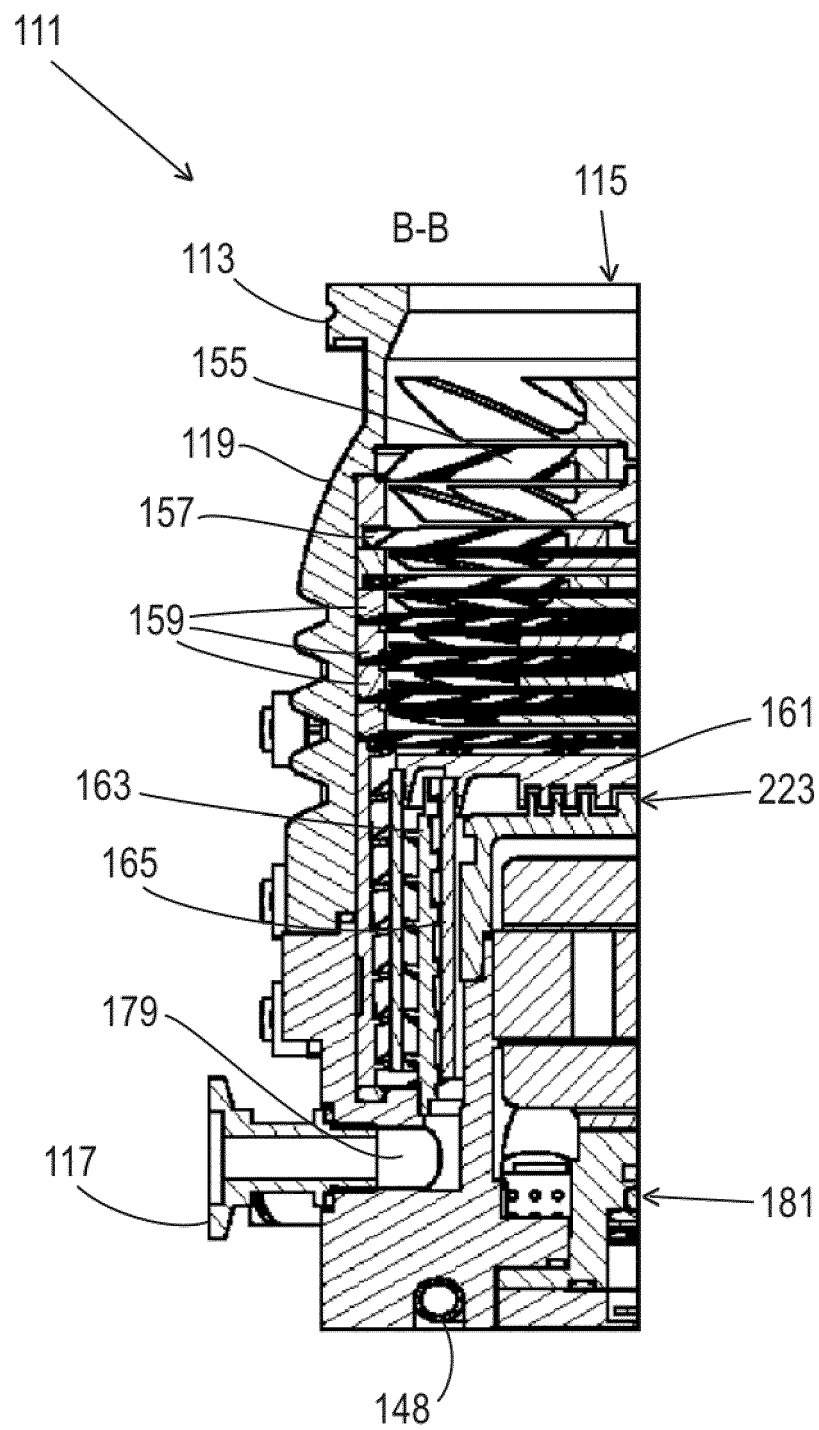


Fig. 4

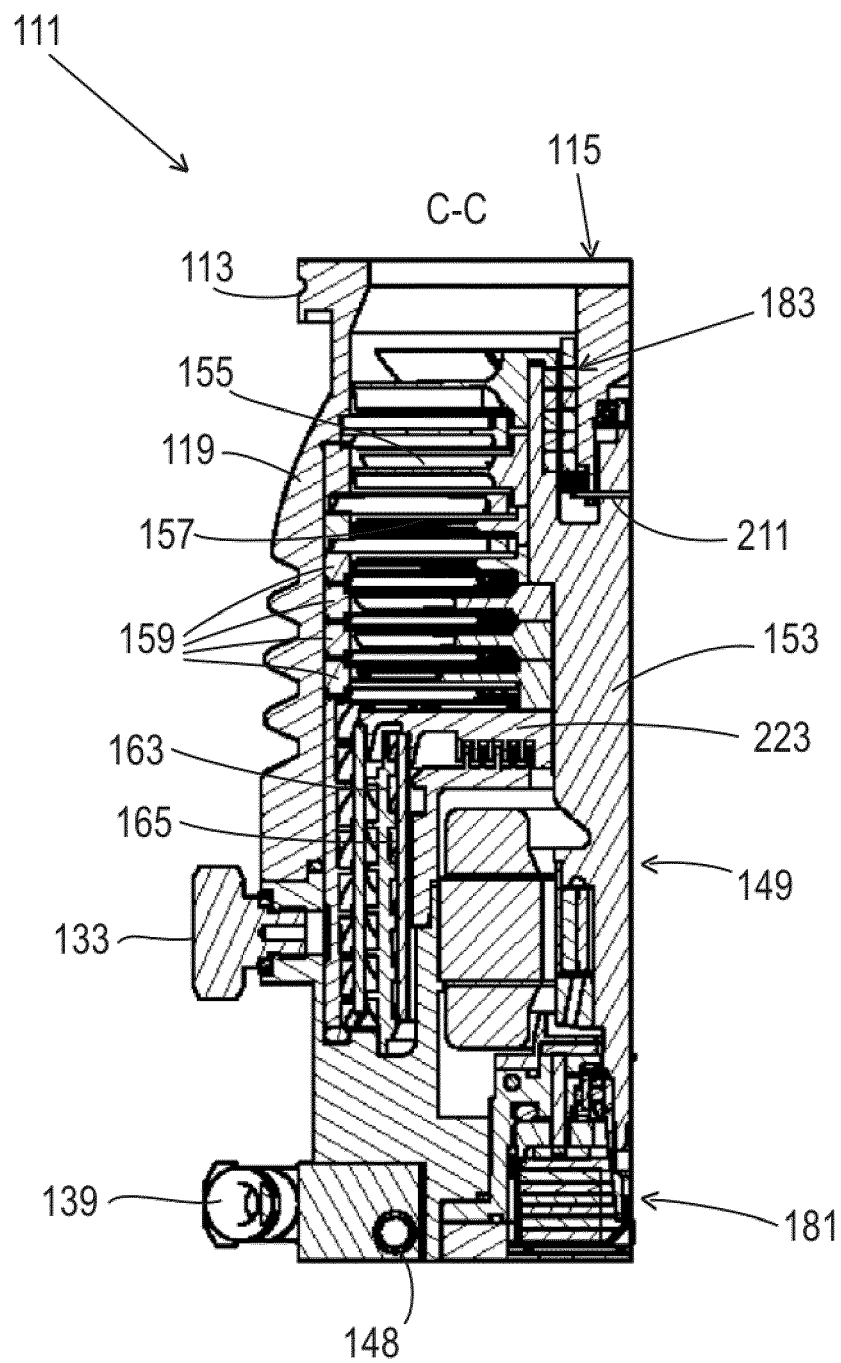


Fig. 5

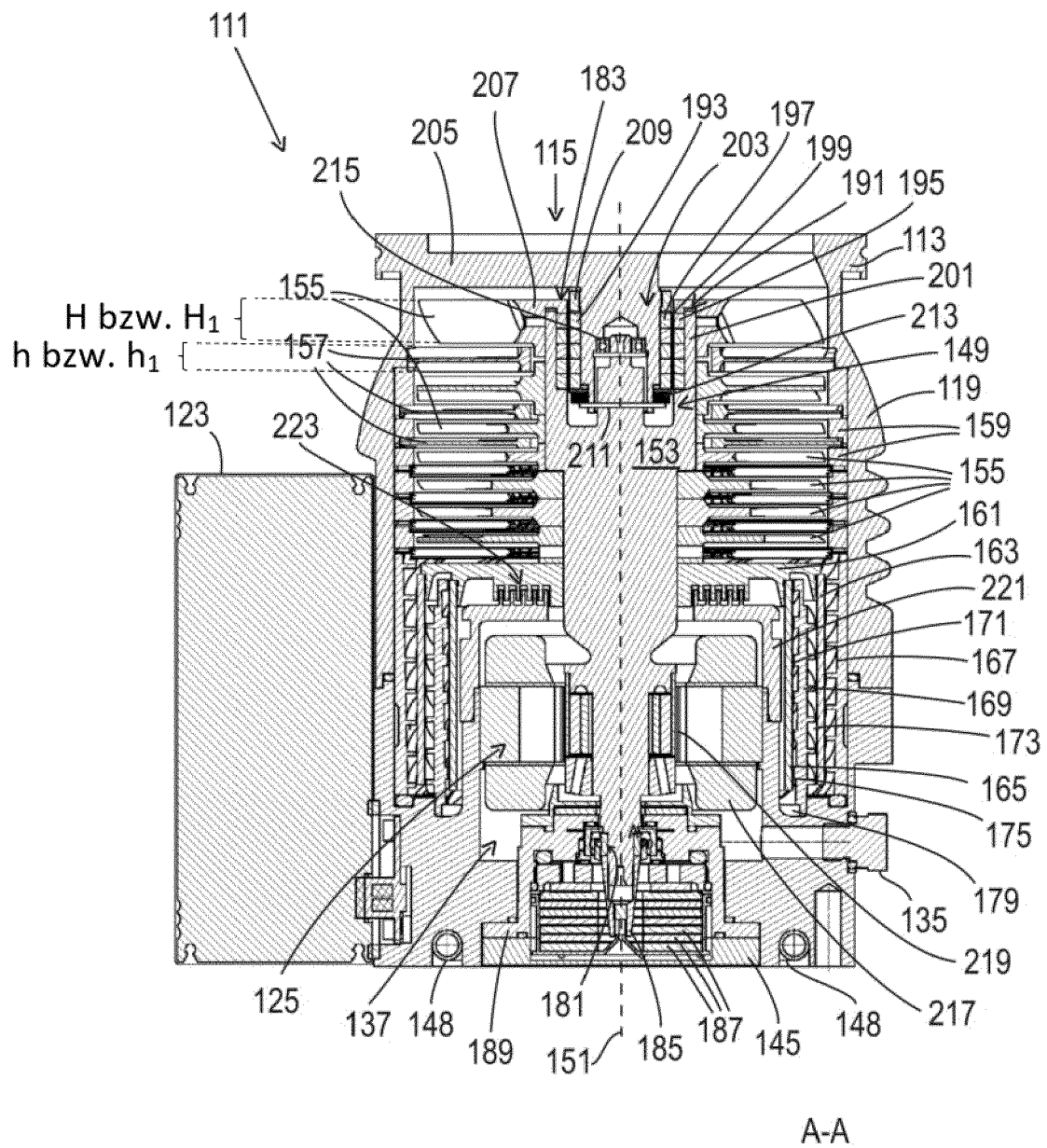


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 17 1527

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 20 2011 002809 U1 (OERLIKON LEYBOLD VACUUM GMBH [DE]) 12. Juni 2012 (2012-06-12)	1-3	INV. F04D19/04 F04D29/32 F04D29/54
A	* Absatz [0020] * * Abbildung 1 *	4	
X	DE 198 21 634 A1 (LEYBOLD VAKUUM GMBH [DE]) 18. November 1999 (1999-11-18) * Spalte 3, Zeilen 32-50 * * Abbildung 1 *	1-4	
X	US 2021/010479 A1 (MIWATA TOORU [JP] ET AL) 14. Januar 2021 (2021-01-14) * Abbildung 5 *	1-4	
A	EP 2 990 656 A2 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 2. März 2016 (2016-03-02) * Absätze [0041] - [0043] * * Abbildung 3 *	1-4	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. Mai 2024	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 Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 24 17 1527

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.

01-05-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 202011002809 U1	12-06-2012	CN 103380301 A	30-10-2013
		DE 202011002809 U1	12-06-2012
		EP 2676034 A1	25-12-2013
		JP 2014505833 A	06-03-2014
		WO 2012110378 A1	23-08-2012

DE 19821634 A1	18-11-1999	AU 754944 B2	28-11-2002
		CA 2332777 A1	25-11-1999
		CN 1292851 A	25-04-2001
		DE 19821634 A1	18-11-1999
		EP 1078166 A1	28-02-2001
		JP 4173637 B2	29-10-2008
		JP 2002515568 A	28-05-2002
		KR 20010025024 A	26-03-2001
		TW 370594 B	21-09-1999
		US 6435811 B1	20-08-2002
		WO 9960275 A1	25-11-1999

US 2021010479 A1	14-01-2021	CN 111836968 A	27-10-2020
		EP 3779202 A1	17-02-2021
		JP 7048391 B2	05-04-2022
		JP 2019178655 A	17-10-2019
		KR 20200138175 A	09-12-2020
		US 2021010479 A1	14-01-2021
		WO 2019188732 A1	03-10-2019

EP 2990656 A2	02-03-2016	DE 102014112553 A1	03-03-2016
		EP 2990656 A2	02-03-2016
		JP 6193320 B2	06-09-2017
		JP 2016050582 A	11-04-2016

EPO FORM P0461

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