

(19)



(11)

EP 4 212 730 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.07.2023 Patentblatt 2023/29

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 19/04 ^(2006.01) **F04D 29/54** ^(2006.01)
F04D 29/64 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23175631.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 29/541; F04D 19/044; F04D 29/642;
F05D 2250/292

(22) Anmeldetag: **26.05.2023**

(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:
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)

(30) Priorität: **31.01.2023 EP 23154256**

(54) **VAKUUMPUMPE MIT OPTIMIERTER HOLWECK-PUMPSTUFE ZUR KOMPENSATION TEMPERATURBEDINGTER LEISTUNGSEINBUSSEN**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst. Der Holweck-Rotor umfasst eine an einer Rotorwelle vorgesehene Nabe sowie zumindest eine an der Nabe vorgesehene Holweck-Rotorhülse, welche die Rotorwelle konzentrisch umgibt. Der Holweck-Stator umfasst eine konzentrisch zu der Holweck-Rotorhülse angeordnete Holweck-Statorhülse, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt der Vakuumpumpe angebrachtes festes Ende, ein dem festen Ende in axialer Richtung

gegenüberliegendes freies Ende sowie eine Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde und eine Außenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Außengewinde aufweist. Im kalten Zustand der Vakuumpumpe weist das Innengewinde am freien Ende der Holweck-Statorhülse einen kleineren Nenninnendurchmesser als am festen Ende der Holweck-Statorhülse auf und auch das Außengewinde weist im kalten Zustand der Vakuumpumpe am freien Ende der Holweck-Statorhülse einen kleineren Nennaußendurchmesser als am festen Ende der Holweck-Statorhülse auf.

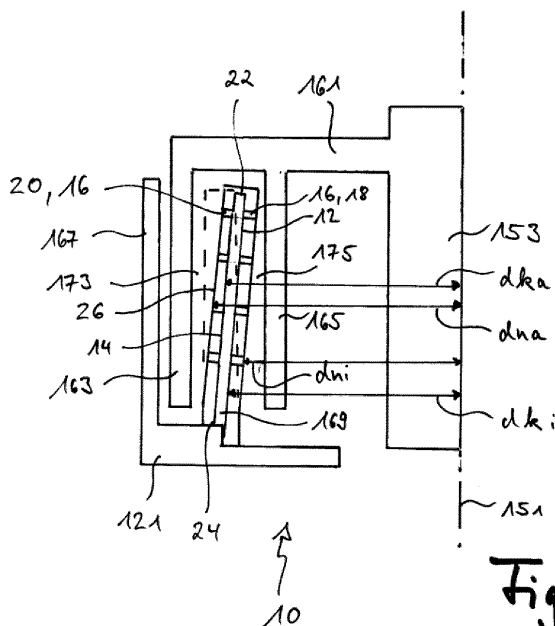


Fig. 6

EP 4 212 730 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine hier auch nur als Pumpe bezeichnete Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst, wobei der Holweck-Rotor eine Rotorwelle mit einer daran vorgesehenen Nabe sowie zumindest eine an der Nabe vorgesehene Holweck-Rotorhülse umfasst, welche die Rotorwelle konzentrisch umgibt, und wobei der Holweck-Stator eine konzentrisch zu der Holweck-Rotorhülse angeordnete Holweck-Statorhülse umfasst, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt der Vakuumpumpe angebrachtes festes Ende, ein dem festen Ende in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende sowie eine Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde und eine Außenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Außengewinde aufweist.

[0002] Vakuumpumpen werden in verschiedenen Gebieten der Technik eingesetzt. Je nach Anforderung weisen die Vakuumpumpen eine oder mehrere Pumpstufen auf. Allgemein gehören Holweck-Pumpstufen zur Gattung der Molekularvakuumpumpen und erzeugen durch Drehung eines Holweck-Rotors relativ zu einem feststehenden Holweck-Stator eine molekulare Strömung, die während des Betriebs der Vakuumpumpe zu einer Erwärmung derselben führt. Grundsätzlich kann eine Vakuumpumpe eine oder mehrere Holweck-Stufen umfassen, wobei mehrere Holweckstufen sowohl seriell als auch parallel zueinander betrieben werden können. Typischerweise werden Holweckstufen in Turbomolekularvakuumpumpen eingesetzt und einer oder mehreren Turbomolekularpumpstufen in Strömungsrichtung nachgeschaltet.

[0003] Eine Holweck-Stufe umfasst einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator, wobei der Holweck-Rotor eine Rotorwelle aufweist, an welcher mittels einer zum Beispiel scheibenförmigen Holweck-Nabe eine oder mehrere Holweck-Rotorhülsen konzentrisch angebracht sind. Der Holweck-Stator ist mit einem ein- oder mehrgängigen Holweck-Gewinde versehen. Die zu fördernden Gasmoleküle werden durch die rotierende Bewegung des Holweck-Rotors relativ zu dem Holweck-Stator entlang der Gewindegänge von einem Einlass zu einem Auslass der jeweiligen Holweck-Pumpstufe gefördert. Ein Gewindegang umfasst einen durch die Wände eines Stegs begrenzten spiralförmig umlaufenden Holweck-Kanal, in welchem die Gasmoleküle gefördert werden, wenn sich die Rotorhülse relativ zur Statorhülse dreht. Um Rückströmungsverluste zu minimieren, sollte die Weite des radialen Holweck-Spalts zwischen den Steg- bzw. Gewindespitzen und der Rotorhülse möglichst klein gehalten werden.

[0004] Ferner sind sogenannte "gefaltete" Holweck-Anordnungen bekannt, bei denen mehrere Holweck-Stufen konzentrisch ineinander geschachtelt sind, so dass

die Pumprichtungen von radial unmittelbar aufeinanderfolgenden Holweck-Stufen einander entgegengesetzt sind. Zwei in Strömungsrichtung aufeinanderfolgende Holweck-Stufen, eine (radial) äußere Holweck-Stufe und eine (radial) innere Holweck-Stufe, können somit einen gemeinsamen, beidseitig mit jeweils einem Holweck-Gewinde versehenen Holweck-Stator umfassen, der sich zwischen zwei Rotorhülsen befindet.

[0005] Der Holweck-Stator umfasst dabei ein an einem stationären Gehäuseabschnitt der Vakuumpumpe beispielsweise durch Presspassung angebrachtes festes Ende, ein dem festen Ende in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende nahe der Rotornabe sowie eine Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde und eine Außenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Außengewinde. Auf Grund der geringen Querschnittsfläche des Holweck-Stators wird eine vergleichsweise hohe Temperaturdifferenz innerhalb des Holweck-Stators benötigt, um die eingebrachte Wärmemenge abzuführen. Dadurch entsteht ein Temperaturprofil, mit der höchsten Temperatur am freien Ende.

[0006] Die Erwärmung der Holweck-Statorhülse hat zur Folge, dass sich die Holweck-Statorhülse in Richtung ihres freien Endes zunehmend in radialer Richtung aufweitet, so dass der Holweck-Spalt ausgehend vom festen Ende in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse zunehmend von seiner Soll- bzw. Nennweite abweicht. Dies hat wiederum zur Folge, dass das Saugvermögen und damit die Pumpleistung der Vakuumpumpe in unerwünschter Weise während des Pumpbetriebs abnimmt.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Lösung für die zuvor beschriebene Problematik anzugeben, derzufolge die Pumpleistung einer Vakuumpumpe mit einer Holweck-Pumpstufe aufgrund temperaturbedingter Verformungen des Holweck-Stators bzw. der Holweck-Statorhülse abnimmt. Mit anderen Worten soll mit der Erfindung dafür gesorgt werden, dass das Saugvermögen einer Vakuumpumpe, für das diese ausgelegt ist, auch unter Betriebsbedingungen mit erhöhten Temperaturen erreicht wird.

[0008] Diese Aufgabe wird mit einer Vakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und insbesondere dadurch gelöst, dass im kalten Zustand der Vakuumpumpe bei Raumtemperatur das Innengewinde am freien Ende der Holweck-Statorhülse einen kleineren Nenninnendurchmesser als am freien Ende der Holweck-Statorhülse aufweist und dass in entsprechender Weise auch das Außengewinde im kalten Zustand der Vakuumpumpe bei Raumtemperatur am freien Ende der Holweck-Statorhülse einen kleineren Nennaußendurchmesser als am festen Ende der Holweck-Statorhülse aufweist.

[0009] Sofern im Kontext der vorliegenden Erfindung von einem kalten Zustand der Vakuumpumpe die Rede ist, so ist hierunter die Temperatur der Vakuumpumpe zu verstehen, die diese im dauerhaft ausgeschalteten Betriebszustand bei einer Raumtemperatur in der Größenordnung von etwa 20°C aufweist. Anders ausge-

drückt, weist also die Vakuumpumpe und insbesondere die Holweck-Statorhülse im kalten Zustand eine Temperatur in der Größenordnung von etwa 20°C auf. Wenn demgegenüber im Kontext der vorliegenden Erfindung von einem betriebswarmen stationären Zustand bzw. von einem thermisch eingeschwungenen Zustand der Vakuumpumpe die Rede ist, so bezieht sich dieser Zustand auf eine Temperatur der Vakuumpumpe, die diese erlangt, wenn sie dauerhaft mit ihrer Nenndrehzahl betrieben wird.

[0010] Aufgrund der Tatsache, dass die Holweck-Statorhülse in der erfindungsgemäßen Art und Weise an ihrem freien Ende Nenninnen- bzw. Nennaußendurchmesser - jeweils gemessen zwischen den Steg- bzw. Gewinnespitzen des Innengewindes bzw. des Außengewindes - aufweist und somit die Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende geringere Innen- und Außenumfänge als an ihrem festen Ende aufweist, kann sich die Holweck-Statorhülse somit während des Betriebs am freien Ende temperaturbedingt in radialer Richtung ausdehnen, bis der innere und/oder äußere Holweck-Spalt die gewünschte Gestalt aufweist.

[0011] Erfindungsgemäß weist die Holweck-Statorhülse somit im kalten Zustand eine Gestalt auf, die von der Sollgestalt der Holweck-Statorhülse zur Erzielung eines gewünschten Holweck-Spalts abweicht. Während des Betriebs kann sich somit die Holweck-Statorhülse temperaturbedingt derart verformen, dass sich im betriebswarmen stationären Zustand der Vakuumpumpe der gewünschte Holweck-Spalt einstellt.

[0012] Im Folgenden wird nun auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung eingegangen. Weitere Ausführungsformen können sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Figurenbeschreibung sowie den Zeichnungen selbst ergeben.

[0013] So kann es gemäß einer Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Nabe an der Rotorwelle befestigt ist und die Holweck-Rotorhülse an der Nabe befestigt ist. Bei der Nabe und der Rotorwelle handelt es sich somit um separat handhabbare Teile, welche während des Zusammenbaus der Vakuumpumpe miteinander lösbar oder unlösbar miteinander verbunden werden. Gleichmaßen handelt es sich bei dieser Ausführungsform bei der Nabe und der Holweck-Rotorhülse um separat handhabbare Teile, welche erst während des Zusammenbaus der Vakuumpumpe miteinander lösbar oder unlösbar miteinander verbunden werden.

[0014] Alternativ kann es zu der zuvor beschriebenen Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Nabe integral mit der Rotorwelle ausgebildet ist, wohingegen die Holweck-Rotorhülse an der Nabe befestigt ist, oder dass die Holweck-Rotorhülse integral mit der Nabe ausgebildet ist und die Nabe an der Rotorwelle befestigt ist.

[0015] Da der Holweck-Stator als doppelseitiger Holweck-Stator mit einer Holweck-Statorhülse mit Innen- und Außengewinde ausgebildet ist, weist der Holweck-Rotor konsequenterweise eine innere und eine äußere Holweck-Rotorhülse auf, die beide die Rotorwelle kon-

zentrisch umgeben, wobei die äußere Holweck-Rotorhülse die Holweck-Statorhülse konzentrisch umgibt und die Holweck-Statorhülse die innere Holweck-Rotorhülse konzentrisch umgibt. Die innere Holweck-Rotorhülse bildet somit zusammen mit dem Innengewinde der Holweck-Statorhülse eine innere Holweck-Pumpstufe, wohingegen die äußere Holweck-Rotorhülse zusammen mit dem Außengewinde der Holweck-Statorhülse eine äußere Holweck-Pumpstufe bildet. Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung kann es dabei nun vorgesehen sein, dass im kalten Zustand die Gestalt des Holweck-Spalts sowohl der inneren Holweck-Pumpstufe als auch der äußeren Holweck-Pumpstufe von der gewünschten Gestalt des jeweiligen Holweck-Spalts abweicht. Allerdings kann sich die Holweck-Statorhülse aufgrund der Tatsache, dass sie am freien Ende geringere Nenninnen- und -außendurchmesser als an ihrem festen Ende aufweist, während des Betriebs der Vakuumpumpe an ihrem freien Ende temperaturbedingt in radialer Richtung aufweiten, so dass sowohl die innere als auch die äußere Holweck-Pumpstufe im thermisch eingeschwungenen Zustand einen Holweck-Spalt aufweist, der der gewünschten Gestalt zumindest nahekommt.

[0016] Zwar kann der Innendurchmesser des Innengewindes der Holweck-Statorhülse in Richtung ihres freien Endes stufenweise abnehmen; gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann es jedoch vorgesehen sein, dass im kalten Zustand der Vakuumpumpe der Nenninnendurchmesser des Innengewindes der Holweck-Statorhülse in Richtung ihres freien Endes kontinuierlich bzw. stetig abnimmt. Beispielsweise kann der Nenninnendurchmesser des Innengewindes mit zunehmender Annäherung an das freie Ende der Holweck-Statorhülse linear oder gemäß einer Funktion mit konkaver Krümmung abnehmen.

[0017] In entsprechender Weise kann im kalten Zustand der Vakuumpumpe der Nennaußendurchmesser des Außengewindes der Holweck-Statorhülse in Richtung ihres freien Endes stufenweise oder stetig abnehmen, wobei im letzteren Falle der Nennaußendurchmesser mit zunehmender Annäherung an das freie Ende der Holweck-Statorhülse linear oder gemäß einer Funktion mit konvexer Krümmung abnehmen kann. In jedem Falle nehmen der Nenninnen- bzw. der Nennaußendurchmesser in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse zunehmend bzw. monoton ab, was bedeutet, dass die Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende den kleinsten Nenninnen- und Nennaußendurchmesser aufweist. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Holweck-Stator an seinem freien Ende betriebsbedingt die höchste Temperatur aufweist, weshalb dort die größte thermisch bedingte Aufweitung vorliegt. Dementsprechend weist die Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende sowohl den kleinsten Nenninnen- als auch den kleinsten Nennaußendurchmesser auf, wodurch gewissermaßen die temperaturbedingte Verformung des Holweck-Stators kompensiert werden kann.

[0018] Gemäß noch einer weiteren Ausführungsform

kann es vorgesehen sein, dass im kalten Zustand der Vakuumpumpe der Nennaußendurchmesser des Außengewindes der Holweck-Statorhülse derart in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt, dass sich im betriebswarmen stationären Zustand der Vakuumpumpe ein radialer Holweck-Spalt zwischen der Holweck-Rotorhülse und dem Außengewinde und insbesondere den Gewindespitzen des Außengewindes einstellt, der zwischen dem festen Ende und dem freien Ende der Holweck-Statorhülse eine im Wesentlichen konstante Weite aufweist. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass im kalten Zustand der Vakuumpumpe der Nenninnendurchmesser des Innengewindes der Holweck-Statorhülse derart in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt, dass sich im betriebswarmen stationären Zustand bzw. im thermisch eingeschwungenen Zustand der Vakuumpumpe ein radialer Holweck-Spalt zwischen der Holweck-Rotorhülse und dem Innengewinde, insbesondere den Gewindespitzen des Innengewindes einstellt, der zwischen dem festen Ende und dem freien Ende der Holweck-Statorhülse eine im Wesentlichen konstante Weite aufweist.

[0019] Damit sich im thermisch eingeschwungener Zustand ein Holweck-Spalt konstanter Größe einstellen kann, erweist es sich als vorteilhaft, wenn im kalten Zustand der Vakuumpumpe sowohl der Nenninnen- als auch der Nennaußendurchmesser des Innen- bzw. des Außengewindes der Holweck-Statorhülse in der bereits zuvor beschriebenen Art und Weise in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse stetig abnehmen. So nimmt nämlich die Temperatur der Holweck-Statorhülse während des Betriebs in Richtung ihres freien Endes ebenfalls stetig zu, wobei sie an ihrem freien Ende die höchste Temperatur aufweist. Die Abnahme der Nenninnen- und Nennaußendurchmesser in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse folgt somit gewissermaßen dem Temperaturverlauf der Holweck-Statorhülse in Richtung ihres freien Endes, wodurch die temperaturbedingte Aufweitung der Holweck-Statorhülse gezielt derart ausgeglichen werden kann, dass der Holweck-Spalt sowohl der inneren als auch der äußeren Holweck-Pumpstufe im betriebswarmen stationären Zustand eine im Wesentlichen konstante Größe aufweist.

[0020] Gemäß nochmals einer weiteren Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass das Innengewinde der Holweck-Statorhülse im kalten Zustand der Vakuumpumpe zwischen ihrem festen Ende und ihrem freien Ende eine konstante Gewindetiefe aufweist und dass die Innenoberfläche der Holweck-Statorhülse, die den Nutgrund des Innengewindes bildet, einen Kerninnendurchmesser des Innengewindes definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass das Außengewinde der Holweck-Statorhülse im kalten Zustand der Vakuumpumpe zwischen ihrem festen Ende und ihrem freien Ende eine

konstante Gewindetiefe aufweist und dass die Außenoberfläche der Holweck-Statorhülse, die den Gewindegrund des Außengewindes bildet, einen Kernaußendurchmesser des Außengewindes definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt.

[0021] Im Falle konstanter Gewindetiefen sowohl des Innen- als auch des Außengewindes sowie in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse geringer werdender Kerninnen- und Kernaußendurchmesser des Innen- bzw. Außengewindes kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Holweck-Statorhülse eine Wandungsdicke aufweist, die zwischen dem festen Ende und dem freien Ende der Holweck-Statorhülse konstant ist, sofern im kalten Zustand der Vakuumpumpe der Kerninnen- und der Kernaußendurchmesser des Innen- bzw. Außengewindes gleich stark bzw. mit derselben Rate in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnehmen.

[0022] Entgegen der zuvor beschriebenen Ausführungsform ist es jedoch nicht zwangsweise erforderlich, dass der Kerninnen- als auch der Kernaußendurchmesser des Innen- bzw. Außengewindes in gleichem Maße in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnehmen; vielmehr kann die Holweck-Statorhülse gemäß einer weiteren Ausführungsform eine Wandungsdicke aufweisen, die in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt, beispielsweise stetig oder stufenweise, wobei in diesem Falle entweder der Kernaußendurchmesser stärker als der Kerninnendurchmesser in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt oder der Kernaußendurchmesser stärker als der Kerninnendurchmesser in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt.

[0023] Alternativ zu den zuvor beschriebenen Ausführungsformen mit konstant tiefem Innen- und/oder Außengewinde kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Innenoberfläche der Holweck-Statorhülse einen Kerninnendurchmesser des Innengewindes definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe zwischen dem festen Ende und dem freien Ende der Holweck-Statorhülse konstant ist, wobei in diesem Falle das Innengewinde eine Gewindetiefe aufweist, die in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse zunimmt, was bedeutet, dass der Innendurchmesser des Innengewindes in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse in der gewünschten Weise abnimmt. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Außenoberfläche der Holweck-Statorhülse einen Kernaußendurchmesser des Außengewindes definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe zwischen dem festen Ende und dem freien Ende der Holweck-Statorhülse konstant ist, wobei in diesem Falle das Außengewinde eine Gewindetiefe aufweist, die in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse abnimmt, so dass der Außendurchmesser des Außengewindes in Richtung des freien Endes der Holweck-Statorhülse in der gewünschten

Weise abnimmt.

[0024] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer nicht erfindungsgemäßen 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 Schnittdarstellung durch eine schematisierte Holweck-Pumpstufe mit einer erfindungsgemäß ausgebildeten Holweck-Statorhülse im kalten Zustand bei einer Raumtemperatur in der Größenordnung von etwa 20°C,
- Fig. 7 eine schematische Schnittdarstellung einer anderen Holweck-Statorhülse im kalten Zustand bei einer Raumtemperatur in der Größenordnung von etwa 20°C, wobei die Holweck-Statorhülse zylindrische Innen- und Außenoberflächen aufweist,
- Fig. 8 eine schematische Schnittdarstellung einer noch anderen Holweck-Statorhülse im kalten Zustand bei einer Raumtemperatur in der Größenordnung von etwa 20°C, wobei Innen- und Außenoberflächen der Holweck-Statorhülse stufenweise verjüngen,
- Fig. 9 eine schematische Schnittdarstellung einer Ausführungsform eines Holweck-Rotors, der bei der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe zum Einsatz kommen kann;
- Fig. 10 eine schematische Schnittdarstellung einer anderen Ausführungsform eines Holweck-Rotors, der bei der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe zum Einsatz kommen kann, und
- Fig. 11 eine schematische Schnittdarstellung einer weiteren Ausführungsform eines Holweck-Rotors, der bei der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe zum Einsatz kommen kann.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0028] 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 Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0029] 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.

[0030] Andere existierende Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0031] 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.

[0032] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann. Dies ist bei anderen existierenden Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0033] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelan-schlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0034] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozess-gaspumpstufen zur Förderung des an dem Pumpenein-lasse 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpen-auslass 117.

[0035] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 ange-ordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0036] Die Turbomolekularpumpe 111 umfasst meh-rere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete tur-bomolekulare Pumpstufen mit mehreren an der Rotor-welle 153 befestigten radialen Rotorscheiben 155 und zwischen den Rotorscheiben 155 angeordneten und in dem Gehäuse 119 festgelegten Statorscheiben 157. Da-bei bilden eine Rotorscheibe 155 und eine benachbarte Statorscheibe 157 jeweils eine turbomolekulare Pump-stufe. Die Statorscheiben 157 sind durch Abstandsringe 159 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander gehalten.

[0037] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radi-aler Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen auf-weisen.

[0038] Der Rotor der Holweck-Pumpstufen umfasst ei-ne 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-Stator-hülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0039] 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 gegenü-ber 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 drit-te Holweck-Pumpstufe.

[0040] 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. Außer-dem kann am oberen Ende der inneren Holweck-Stator-hülse 169 ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der mittlere Holweck-Spalt 173 mit dem radial innenliegenden Holweck-Spalt 175 verbunden ist. Da-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.

[0041] Die vorstehend genannten pumpaktiven Ober-flächen der Holweck-Statorhülsen 167, 169 weisen je-weils 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.

[0042] Zur drehbaren Lagerung der Rotorwelle 153 sind ein Wälzlager 181 im Bereich des Pumpenauslas-ses 117 und ein Permanentmagnetlager 183 im Bereich des Pumpeneinlasses 115 vorgesehen.

[0043] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Ro-torwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurch-messer vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit min-destens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Bei anderen existierenden Tur-bomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt) kann an-stelle einer Spritzmutter eine Spritzschraube vorgesehen sein. Da somit unterschiedliche Ausführungen möglich sind, wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff "Spritzspitze" verwendet.

[0044] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit ei-nem Schmiermittel, getränkt sind.

[0045] Im Betrieb der Vakuumpumpe 111 wird das Be-

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

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] Im Folgenden werden nun unter Bezugnahme auf die Fig. 6 bis 8 verschiedene Ausführungsformen erfindungsgemäß ausgebildeter Holweck-Pumpstufen 10 beschrieben, welche bei der Turbomolekularvakuumpumpe 111 anstelle der zuvor beschriebenen Holweck-Pumpstufe eingebaut werden können, wobei jedoch der sonstige Aufbau der Turbomolekularvakuumpumpe 111 sowie auch der grundsätzliche Aufbau der Holweck-Pumpstufe mit drei ineinander geschachtelten Pumpstufen, die nachfolgend auch generisch als eine einzige "Holweck-Pumpstufe" bezeichnet werden, beibehalten werden kann.

[0052] Wie der Fig. 6 entnommen werden kann, weist die dort dargestellte Holweck-Pumpstufe 10 im Wesentlichen denselben Aufbau wie die Holweck-Pumpstufe der unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 5 beschriebenen Vakuumpumpe 111 auf. Insbesondere verfügt die Holweck-Pumpstufe 10 ebenfalls über eine an der Rotorwelle 153 angeordnete Rotornabe 161 und zwei an der Rotornabe 161 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Rotorhülsen 163, 165, welche koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vor-

gesehen, welche ebenfalls coaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0053] Entsprechend den voranstehenden Erläuterungen bildet somit die äußere Holweck-Statorhülse 167 zusammen mit der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 eine erste bzw. äußere Holweck-Pumpstufe. Die äußere Holweck-Rotorhülse 163 bildet zusammen mit der inneren Holweck-Statorhülse 169 eine zweite bzw. mittlere Holweck-Pumpstufe und gleichermaßen bildet die innere Holweck-Statorhülse 169 zusammen mit der inneren Holweck-Rotorhülse 165 eine dritte bzw. innere Holweck-Pumpstufe. Insofern stimmt der dargestellte Aufbau also mit jenem überein, wie er zuvor unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis 5 beschrieben wurde.

[0054] Ebenfalls weisen die Holweck-Statorhülsen 167, 169 der Fig. 6 mehrere spiralförmig um die Rotationsachse 151 herum in axialer Richtung verlaufende Holweck-Nuten auf. Bei der dargestellten inneren Holweck-Statorhülse 169 werden diese Nuten durch sowohl an der Innenoberfläche 12 als auch an der Außenoberfläche 14 der Statorhülse 169 ausgebildete Stege 16 gebildet, welche spiralförmig um die Rotationsachse 151 verlaufen und hier nur äußerst schematisch angedeutet sind. Durch die Spitzen der Stege 16 wird somit der jeweilige Nenninnen- bzw. Nennaußendurchmesser des jeweiligen Gewindes gebildet, wohingegen die Innen- bzw. Außenoberflächen 12, 14 dem Kerninnen- bzw. Kernaußendurchmesser dki, dka des jeweiligen Gewindes 18, 20 entsprechen. Da sich der jeweilige Holweck-Spalt auf den Abstand zwischen den Spitzen der Stege 16 und die pumpwirksame Oberfläche der Rotorhülsen 163, 165 bezieht, ist hier die Umhüllende, die die Steg- bzw. Gewindespitzen umgibt, eingezeichnet, der das Bezugszeichen "26" zugeordnet ist.

[0055] Wie der Fig. 6 des Weiteren entnommen werden kann, ist es bei der dargestellten Holweck-Pumpstufe 10 nun erfindungsgemäß vorgesehen, dass im kalten Zustand der Vakuumpumpe bei ca. 20°C Raumtemperatur das Innengewinde 18 am freien Ende 22 der Holweck-Statorhülse 169 einen kleineren Nenninnendurchmesser dni als am festen Ende 24 der Holweck-Statorhülse 169 aufweist. Gleichermaßen weist auch das Außengewinde 20 im kalten Zustand am freien Ende 22 einen kleineren Nennaußendurchmesser dna als am festen Ende 24 der Holweck-Statorhülse 169 auf, an dem diese an einem stationären Gehäuseabschnitt der Vakuumpumpe 111 befestigt ist.

[0056] Bei der unter Bezugnahme auf die Fig. 6 dargestellten Ausführungsform ist es insbesondere vorgesehen, dass die Innen- und Außenoberflächen 12, 14 der Statorhülse 169, an denen die Innen- und Außengewinde 18, 20 ausgebildet sind, eine konische Gestalt aufweisen und sich insbesondere in Richtung des freien Endes 22 der Holweck-Statorhülse 169 stetig verjüngen. Demgegenüber ist die Gewindetiefe der Innen- bzw. Außengewinde 18, 20 bzw. die Radialabmessung der Stege 16 zwischen dem festen Ende 24 und dem freien Ende 22

der Statorhülse 169 konstant. Gleichermaßen weist bei dieser Ausführungsform die Holweck-Statorhülse 169 eine Wandungsdicke auf, welche zwischen dem festen Ende 24 und dem freien Ende 22 der Holweck-Statorhülse 169 konstant ist.

[0057] Alternativ hierzu kann es jedoch vorgesehen sein, dass die Holweck-Statorhülse 169 eine Wandungsdicke aufweist, welche in Richtung des freien Endes 22 der Holweck-Statorhülse 169 abnimmt, wobei es in diesem Falle jedoch zusätzlich vorgesehen sein kann, dass die Gewindehöhe des Innengewindes 18 in Richtung des freien Endes 22 zunimmt und/oder die Gewindehöhe des Außengewindes 20 in Richtung des freien Endes 22 abnimmt, um sicherstellen zu können, dass am freien Ende 22 der Holweck-Statorhülse 169 die Innen- und Außengewinde einen kleineren Nenninnen- bzw. Nennaußendurchmesser dni, dna als am festen Ende 24 der Holweck-Statorhülse 169 aufweisen.

[0058] Aufgrund der sich innen- und außenseitig verjüngenden Gestalt der Holweck-Statorhülse 169 bzw. deren Umhüllenden 26 kann sich die Holweck-Statorhülse 169 somit während des Betriebs der Vakuumpumpe 111 temperaturbedingt radial ausdehnen, wie dies in der Fig. 5 mit gestrichelter Linie angedeutet ist. Im betriebswarmen stationären Zustand der Vakuumpumpe 111 kann sich somit ein innenliegender Holweck-Spalt 175 zwischen der inneren Holweck-Rotorhülse 165 und der doppelseitigen Holweck-Statorhülse 169 ausbilden, welcher zwischen dem festen Ende 24 und dem freien Ende 22 eine im Wesentlichen konstante Größe bzw. Weite aufweist. Gleichermaßen kann sich aufgrund der sich in Richtung des freien Endes 22 verjüngenden Gestalt der Holweck-Statorhülse 169 im betriebswarmen Zustand der Vakuumpumpe 111 ein außenliegender Holweck-Spalt 173 zwischen der Holweck-Statorhülse 169 und der äußeren Rotorhülse 163 einstellen, welcher zwischen dem festen Ende 24 und dem freien Ende 22 eine im Wesentlichen konstante Größe bzw. Weite aufweist.

[0059] Im Unterschied zu der zuvor unter Bezugnahme auf die Fig. 6 beschriebenen Ausführungsform ist es bei der Ausführungsform der Fig. 7 vorgesehen, dass sich die Holweck-Statorhülse 169 nicht in Richtung ihres freien Endes 22 innen- und außenseitig konisch verjüngt; vielmehr ist es bei der Ausführungsform der Fig. 7 vorgesehen, dass die Holweck-Statorhülse 169 und insbesondere deren Innen- und Außenoberflächen 12, 14 eine im Wesentlichen zylindrische Gestalt aufweisen. Um dennoch sicherstellen zu können, dass am freien Ende 22 der Statorhülse 169 die Innen- und Außengewinde 18, 22 einen geringeren Nenninnen- bzw. Nennaußendurchmesser dni, dna als am festen Ende 24 aufweisen, ist es bei der Ausführungsform der Fig. 7 vorgesehen, dass das Innengewinde 18 eine Gewindetiefe aufweist, die in Richtung des freien Endes 22 der Holweck-Statorhülse 169 zunimmt, wohingegen das Außengewinde 20 eine Gewindetiefe aufweist, die in Richtung des freien Endes 22 der Holweck-Statorhülse 169 abnimmt. Hierdurch kann wie bei der zuvor unter Bezugnahme auf die

Fig. 6 beschriebenen Ausführungsform sichergestellt werden, dass sich die Umhüllende 26 der Holweck-Statorhülse 169 sowohl innenseitig als auch außenseitig in Richtung des freien Endes 22 verjüngt. Die Statorhülse 169 kann sich somit während des Betriebs der Vakuumpumpe 111 temperaturbedingt ausdehnen, so dass sich im thermisch eingeschwungenen Zustand innen- und außenliegende Holweck-Spalte 173, 175 einstellen können, welche zwischen dem festen Ende 24 und dem freien Ende 22 der Holweck-Statorhülse 169 eine im Wesentlichen konstante Größe aufweisen.

[0060] Bei der in der Fig. 8 dargestellten Ausführungsform ist die Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse 169 konstant, allerdings verjüngt sich diese stufenweise in Richtung des freien Endes 22 der Statorhülse 169. Damit die Umhüllende 26 im kalten Zustand am freien Ende 22 Nenninnen- bzw. Nennaußendurchmesser d_{ni} , d_{na} aufweist, welche kleiner sind als die entsprechenden Durchmesser am festen Ende 24, ist es bei dieser Ausführungsform vorgesehen, dass die Gewindetiefe des Innengewindes 18 in Richtung des freien Endes 22 über die einzelnen Stufen hinweg jeweils zunimmt, bevor sie am Übergang zur nächsten Stufe sprunghaft abnimmt. Demgegenüber nimmt die Gewindetiefe des Außengewindes im Bereich der jeweiligen Stufe in Richtung des freien Endes 22 ab, bevor sie am Übergang zur nächsten Stufe sprunghaft zunimmt, so dass in Summe der Nennaußendurchmesser d_{na} in Richtung des freien Endes 22 in der gewünschten Weise abnimmt.

[0061] Auch wenn hierauf nicht genauer eingegangen werden soll, können die Ausführungsformen gemäß den Fig. 6, 7 und 8 auch miteinander kombiniert werden, wobei es zusätzlich vorgesehen sein kann, dass die Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse 169 nicht konstant ist, ohne dass von dem erfindungsgemäßen Konzept abgewichen wird, demzufolge die Nenninnen- und Nennaußendurchmesser des Innen- und Außengewindes am freien Ende 22 der Statorhülse 169 geringer als am festen Ende 24 derselben sind, wozu die Gewindetiefe des Innen- und Außengewindes 18, 20 in axialer Richtung der Statorhülse 169 variieren kann, um dafür zu sorgen, dass die Umhüllende 26 ungeachtet der Gestalt der Innen- und Außenoberflächen 12, 14 sowohl innen- als auch außenseitig zum freien Ende 22 sich konisch verjüngt.

[0062] Bei der zuvor unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 5 beschriebenen Turbomolekularvakuumpumpe 111 handelt es sich bei der Nabe 161 und der Rotorwelle 153 um separat handhabbare Teile, welche erst während des Zusammenbaus der Vakuumpumpe 111 miteinander lösbar oder unlösbar miteinander verbunden werden. Gleichmaßen handelt es sich bei dieser Ausführungsform bei der Nabe 161 und den Holweck-Rotorhülsen 163, 165 um separat handhabbare Teile, welche erst während des Zusammenbaus der Vakuumpumpe miteinander lösbar oder unlösbar miteinander verbunden werden. Dieses Design eignet sich insbesondere für den Einsatz bei mittleren und großen Turbomolekularvakuumumpfen.

[0063] Alternativ hierzu kann es gemäß der in der Fig. 9 schematisch dargestellten Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Nabe 161 integral mit der Rotorwelle 153 ausgebildet ist und dass auch die Holweck-Rotorhülsen 163, 165 integral mit der Nabe 161 ausgebildet sind. Bei dem Holweck-Rotor handelt es sich somit also um ein einziges bzw. einstückiges Teil.

[0064] Alternativ hierzu kann es gemäß der in der Fig. 10 schematisch dargestellten Ausführungsform vorgesehen sein, dass nur die beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 integral mit der Nabe 161 ausgebildet sind, wohingegen es sich bei der Nabe 161 und der Rotorwelle 153 um separat handhabbare Teile handelt, welche erst während des Zusammenbaus der Vakuumpumpe miteinander lösbar oder unlösbar miteinander verbunden werden.

[0065] Letztendlich kann es gemäß der in der Fig. 11 schematisch dargestellten Ausführungsform vorgesehen sein, dass nur die Rotorwelle 153 integral mit der Nabe 161 ausgebildet ist, wohingegen es sich bei der Nabe 161 und bei den Holweck-Rotorhülsen 163, 165 um separat handhabbare Teile handelt, welche erst während des Zusammenbaus der Vakuumpumpe miteinander lösbar oder unlösbar miteinander verbunden werden. Diese Ausführungsform eignet sich insbesondere für den Einsatz bei kleineren Turbomolekularvakuumumpfen.

Bezugszeichenliste

30	[0066]	
10	Holweck-Pumpstufe	
12	Innenoberfläche	
14	Außenoberfläche	
35	16 Stege	
18	Innengewinde	
20	Außengewinde	
22	freies Ende	
24	festes Ende	
40	26 Umhüllende	
111	Turbomolekularpumpe	
113	Einlassflansch	
115	Pumpeneinlass	
45	117 Pumpenauslass	
119	Gehäuse	
121	Unterteil	
123	Elektronikgehäuse	
125	Elektromotor	
50	127 Zubehöranschluss	
129	Datenschnittstelle	
131	Stromversorgungsanschluss	
133	Fluteinlass	
135	Sperrgasanschluss	
55	137 Motorraum	
139	Kühlmittelanschluss	
141	Unterseite	
143	Schraube	

145	Lagerdeckel	
147	Befestigungsbohrung	
148	Kühlmittelleitung	
149	Rotor	
151	Rotationsachse	5
153	Rotorwelle	
155	Rotorscheibe	
157	Statorscheibe	
159	Abstandsring	
161	Rotornabe	10
163	Holweck-Rotorhülse	
165	Holweck-Rotorhülse	
167	Holweck-Statorhülse	
169	Holweck-Statorhülse	
171	Holweck-Spalt	15
173	Holweck-Spalt	
175	Holweck-Spalt	
179	Verbindungskanal	
181	Wälzlager	
183	Permanentmagnetlager	20
185	Spritzmutter	
187	Scheibe	
189	Einsatz	
191	rotorseitige Lagerhälfte	
193	statorseitige Lagerhälfte	25
195	Ringmagnet	
197	Ringmagnet	
199	Lagerspalt	
201	Trägerabschnitt	
203	Trägerabschnitt	30
205	radiale Strebe	
207	Deckelelement	
209	Stützring	
211	Befestigungsring	35
213	Tellerfeder	
215	Not- bzw. Fanglager	
217	Motorstator	
219	Zwischenraum	
221	Wandung	
223	Labyrinthdichtung	40
dni	Nenninnendurchmesser	
dna	Nennaußendurchmesser	
dki	Kerninnendurchmesser	
dka	Kernaußendurchmesser	45

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe (111), mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe (10), die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst;

wobei der Holweck-Rotor eine Rotorwelle (153) mit einer daran vorgesehenen Nabe (161) sowie zumindest eine an der Nabe (161) vorgesehene Holweck-Rotorhülse (163, 165) umfasst, wel-

che die Rotorwelle konzentrisch umgibt; und wobei der Holweck-Stator eine konzentrisch zu der Holweck-Rotorhülse (163, 165) angeordnete Holweck-Statorhülse (169) umfasst, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt der Vakuumpumpe (111) angebrachtes festes Ende (24), ein dem festen Ende (24) in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende (24) sowie eine Innenoberfläche (12) mit einem daran ausgebildeten Innengewinde (18) und eine Außenoberfläche (14) mit einem daran ausgebildeten Außengewinde (20) aufweist;
dadurch gekennzeichnet, dass
im kalten Zustand der Vakuumpumpe (111) das Innengewinde (18) am freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) einen kleineren Nenninnendurchmesser (dni) als am festen Ende (24) der Holweck-Statorhülse (169) aufweist und dass auch das Außengewinde (20) im kalten Zustand der Vakuumpumpe (111) am freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) einen kleineren Nennaußendurchmesser (dna) als am festen Ende (24) der Holweck-Statorhülse (169) aufweist.

2. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Nenninnendurchmesser (dni) des Innengewindes (18) der Holweck-Statorhülse (169) in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) stetig oder stufenweise abnimmt.
3. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Nenninnendurchmesser (dni) des Innengewindes (18) der Holweck-Statorhülse (169) derart in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) abnimmt, dass sich im betriebswarmen stationären Zustand der Vakuumpumpe (111) ein radialer Holweck-Spalt (175) zwischen der Holweck-Rotorhülse (165) und dem Innengewinde (18) einstellt, der zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) eine im Wesentlichen konstante Größe aufweist, insbesondere eine konstante Größe.
4. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Innengewinde (18) zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) eine konstante Gewindetiefe aufweist und die Innenoberfläche (12) der Holweck-Statorhülse (169) einen Kerninnendurchmesser (dki) des Innengewindes (18) definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe (111) in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) abnimmt.

5. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Innenoberfläche (12) der Holweck-Statorhülse (169) einen Kerninnendurchmesser (dki) des Innengewindes (18) definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe (111) zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) konstant ist und das Innengewinde (18) eine Gewindetiefe aufweist, die in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) zunimmt.
6. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Nennaußendurchmesser (dna) des Außengewindes (18) der Holweck-Statorhülse (169) in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) stetig oder stufenweise abnimmt.
7. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Nennaußendurchmesser (dna) des Außengewindes (20) der Holweck-Statorhülse (169) derart in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) abnimmt, dass sich im betriebswarmen stationären Zustand der Vakuumpumpe (111) ein radialer Holweck-Spalt (173) zwischen der Holweck-Rotorhülse (163) und dem Außengewinde (20) einstellt, der zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) eine im Wesentlichen konstante Größe aufweist, insbesondere eine konstante Größe.
8. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
 das Außengewinde (20) zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) eine konstante Gewindetiefe aufweist und die Außenoberfläche (14) der Holweck-Statorhülse (169) einen Kernaußendurchmesser (dka) des Außengewindes (20) definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe (111) in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) abnimmt.
9. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Außenoberfläche (14) der Holweck-Statorhülse (169) einen Kernaußendurchmesser (dka) des Außengewindes (20) definiert, der im kalten Zustand der Vakuumpumpe (111) zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) konstant ist und das Außengewinde (20) eine Gewindetiefe aufweist, die in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) abnimmt.
10. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Holweck-Statorhülse (169) eine Wandungsdicke aufweist, die zwischen dem festen Ende (24) und dem freien Ende (22) der Holweck-Statorhülse (169) konstant ist; oder dass
 die Holweck-Statorhülse (169) eine Wandungsdicke aufweist, die in Richtung des freien Endes (22) der Holweck-Statorhülse (169) abnimmt, und zwar entweder stetig oder stufenweise.
11. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Holweck-Rotor eine innere und eine äußere die Rotorwelle (153) konzentrisch umgebende Holweck-Rotorhülse (163) umfasst, wobei die äußere Holweck-Rotorhülse (163) die Holweck-Statorhülse (169) konzentrisch umgibt und die Holweck-Statorhülse (169) die innere Holweck-Rotorhülse (165) konzentrisch umgibt.
12. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Nabe (161) an der Rotorwelle (153) befestigt ist und die Holweck-Rotorhülse (163, 165) an der Nabe (161) befestigt ist.
13. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Nabe (161) integral mit der Rotorwelle (153) ausgebildet ist, wohingegen die Holweck-Rotorhülse (163, 165) an der Nabe (161) befestigt ist; oder dass
 die Holweck-Rotorhülse (163, 165) integral mit der Nabe (161) ausgebildet ist und die Nabe (161) an der Rotorwelle (153) befestigt ist.

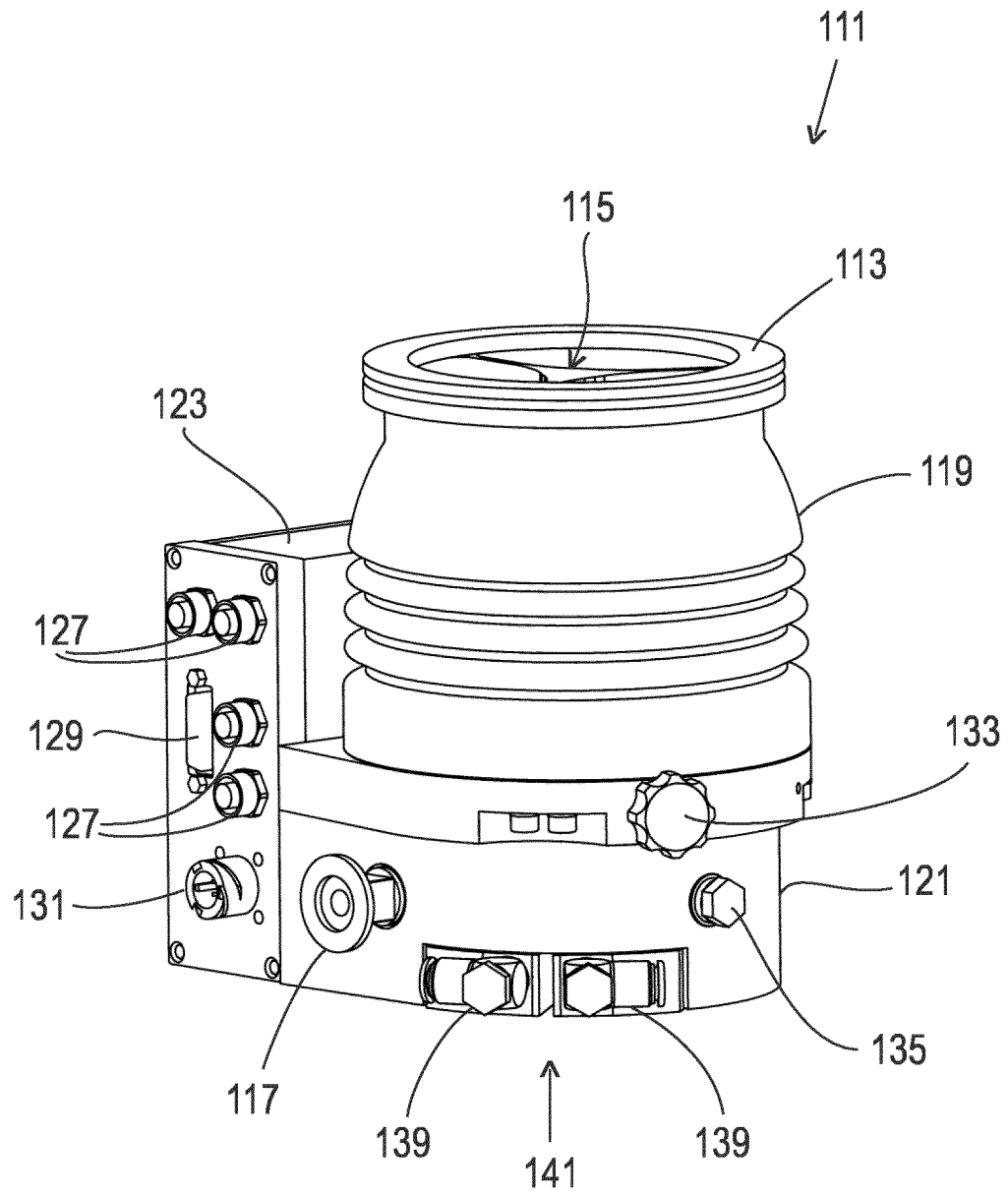


Fig. 1

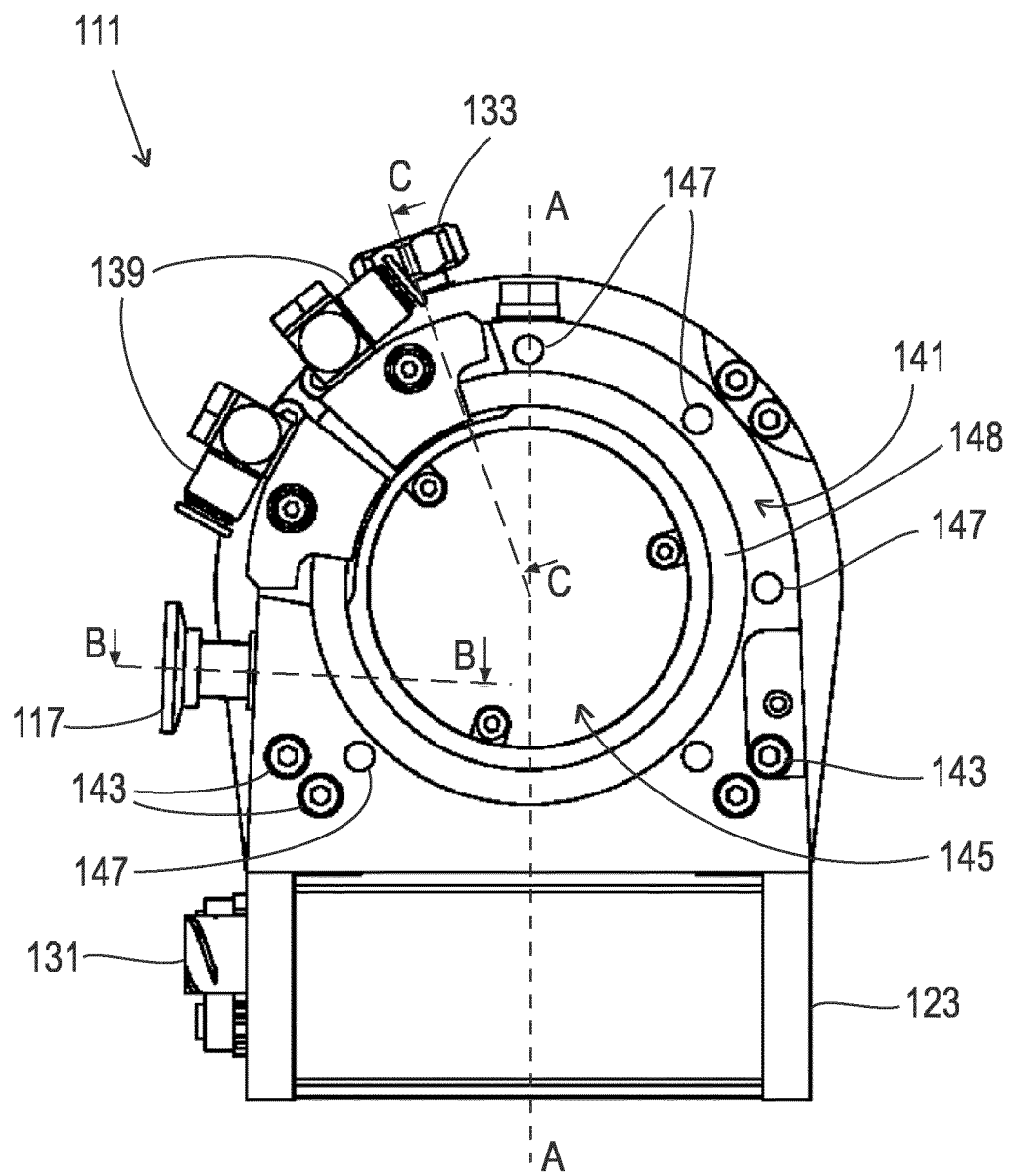


Fig. 2

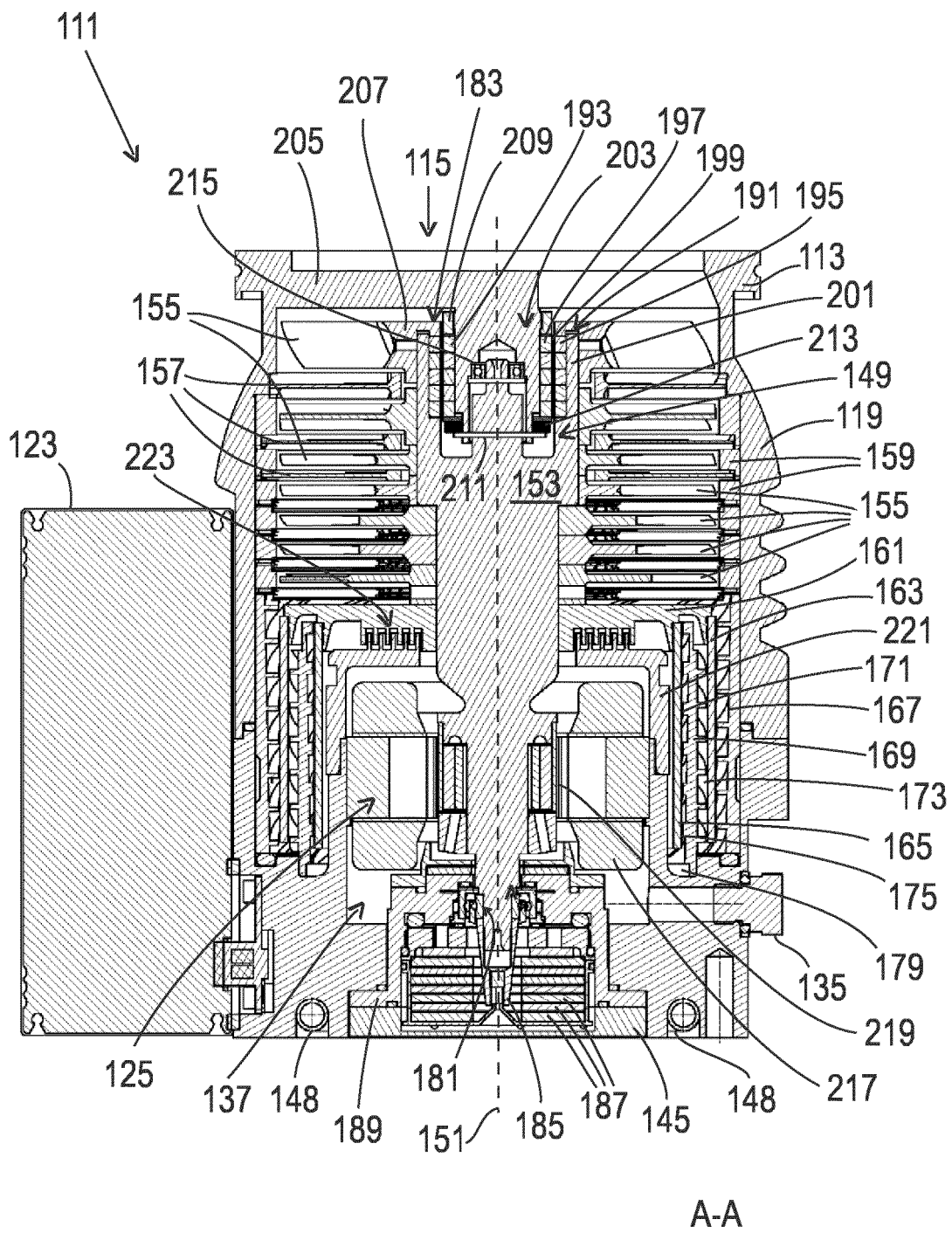


Fig. 3

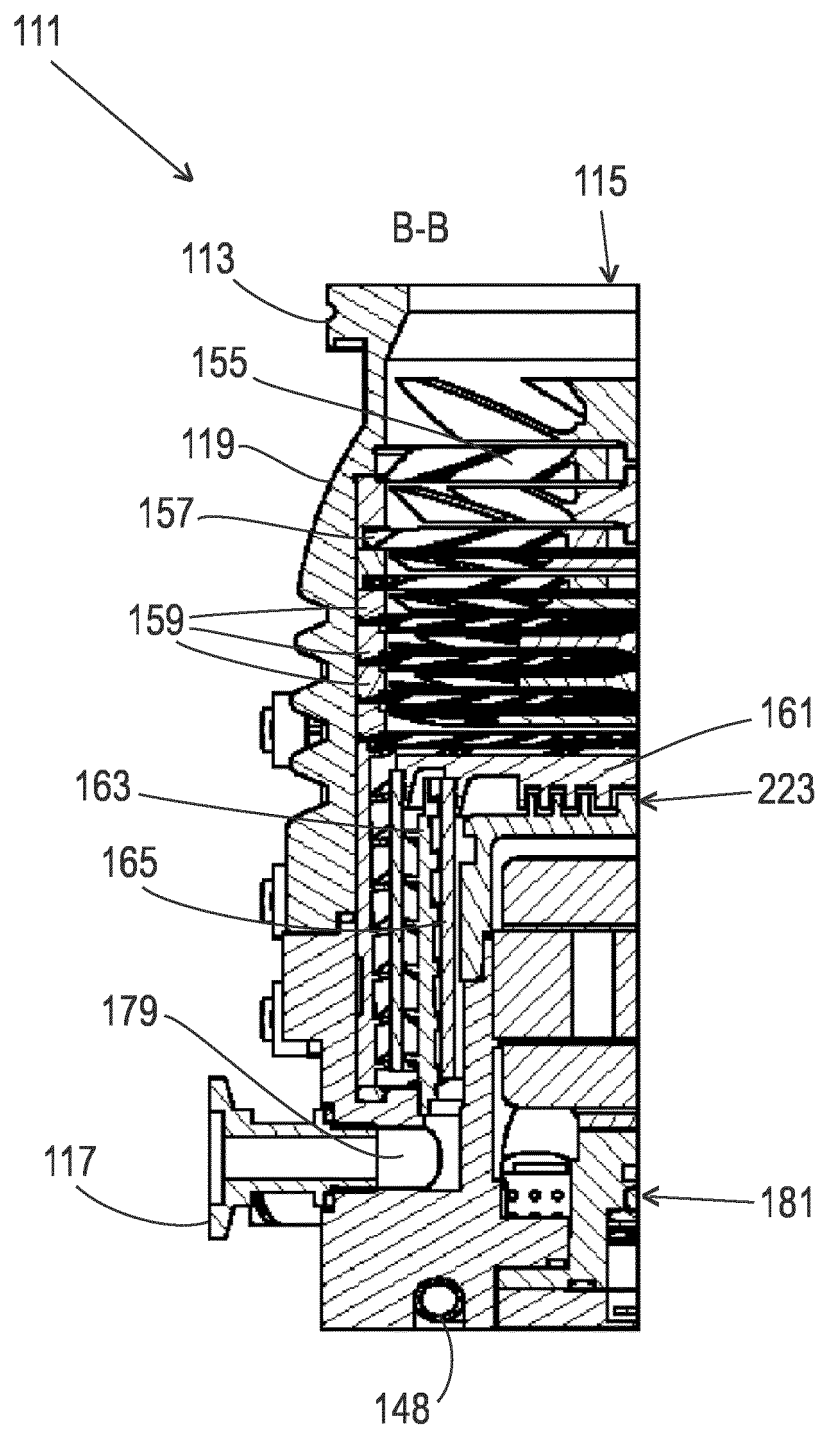


Fig. 4

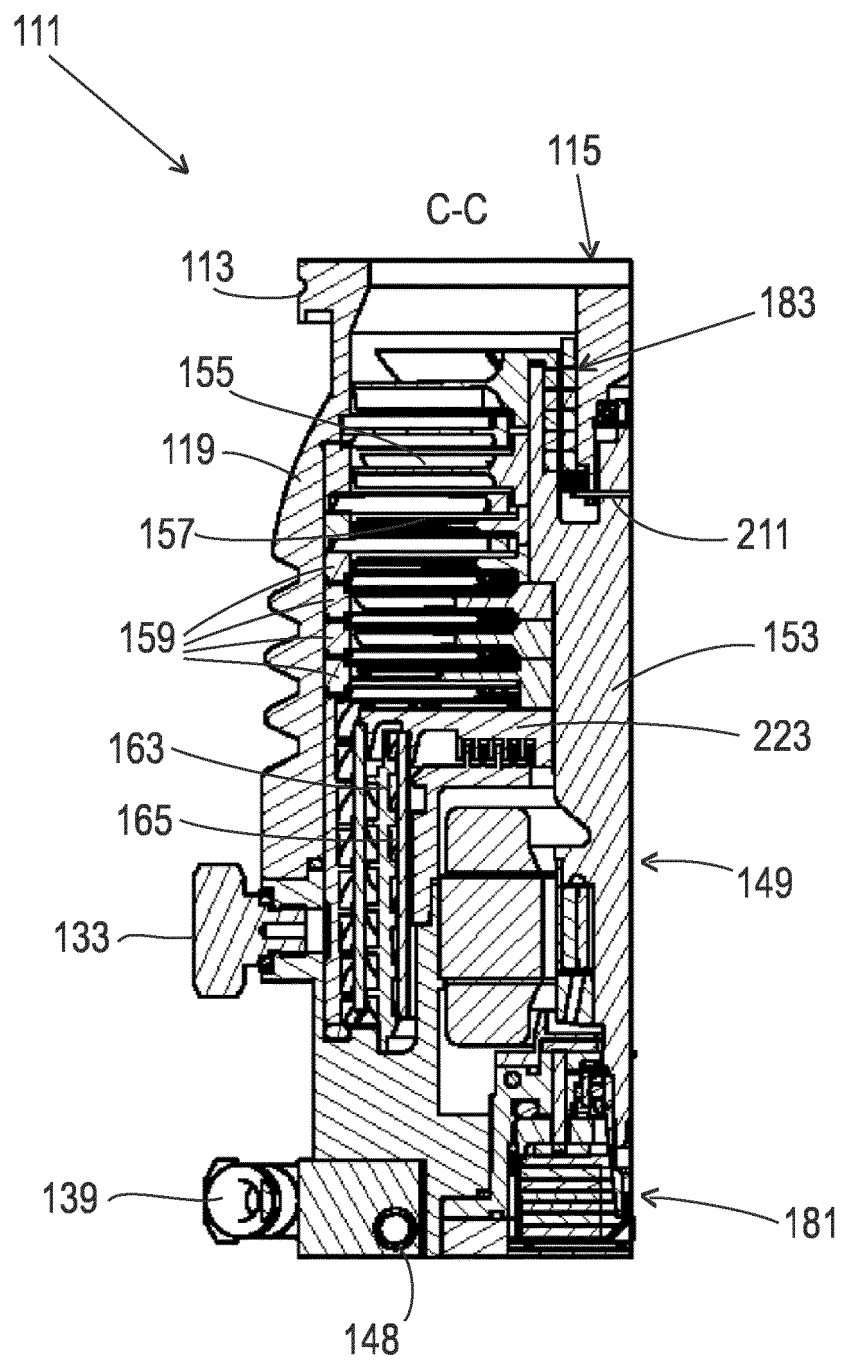
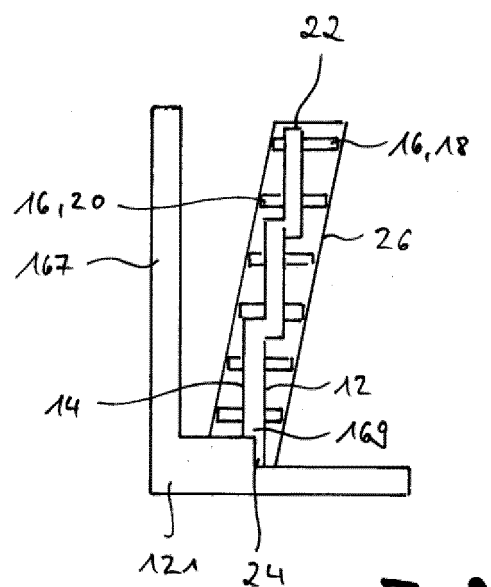
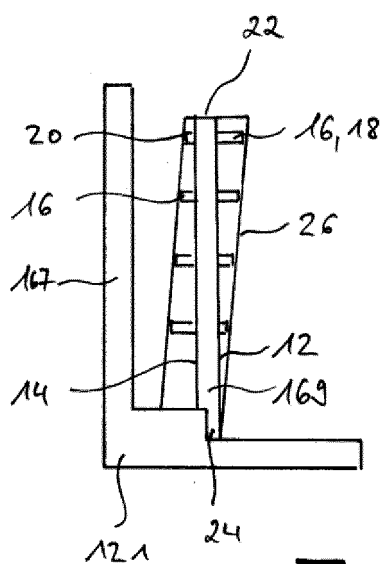
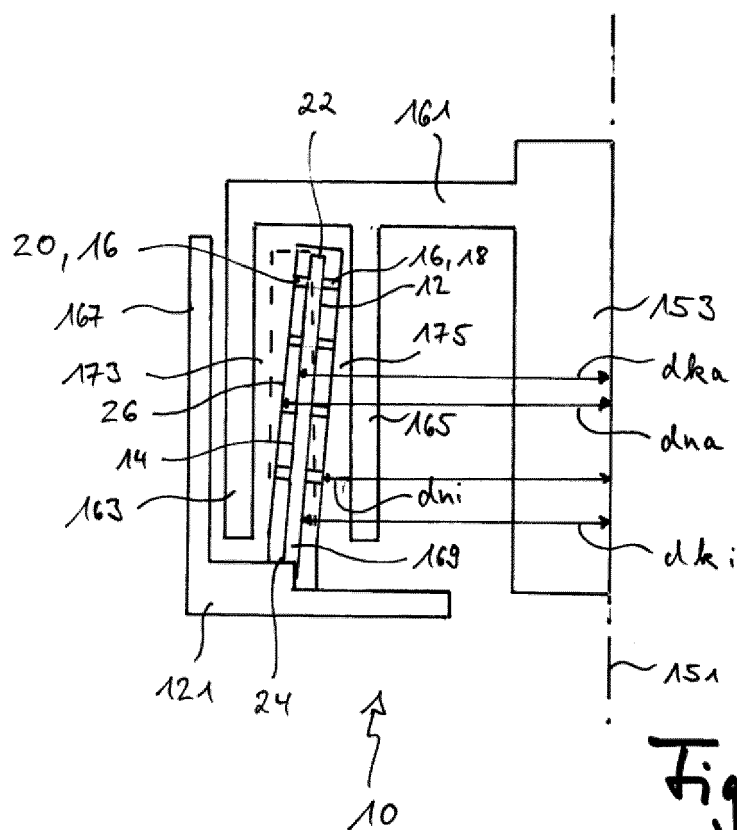


Fig. 5



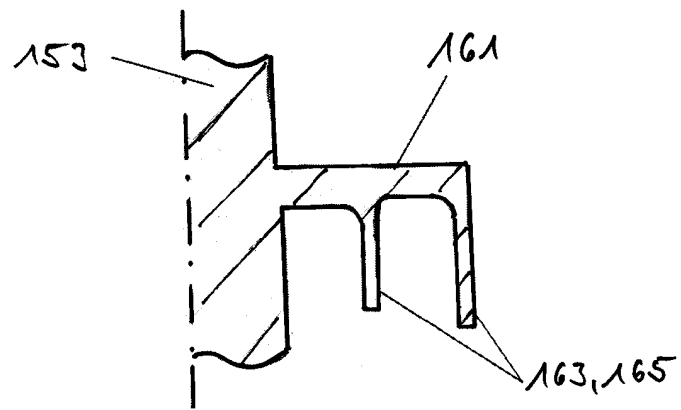


Fig. 9

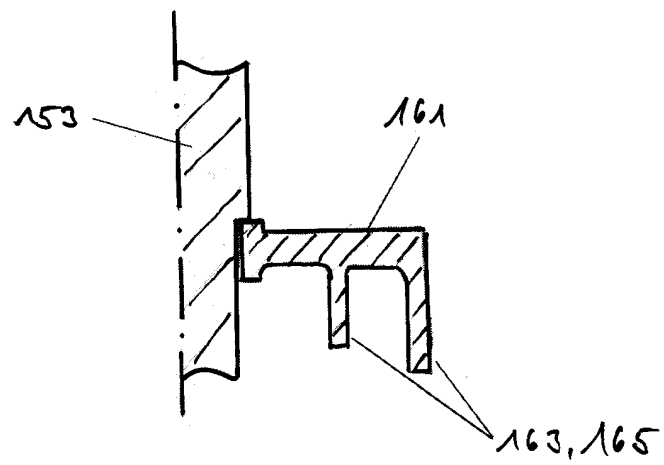


Fig. 10

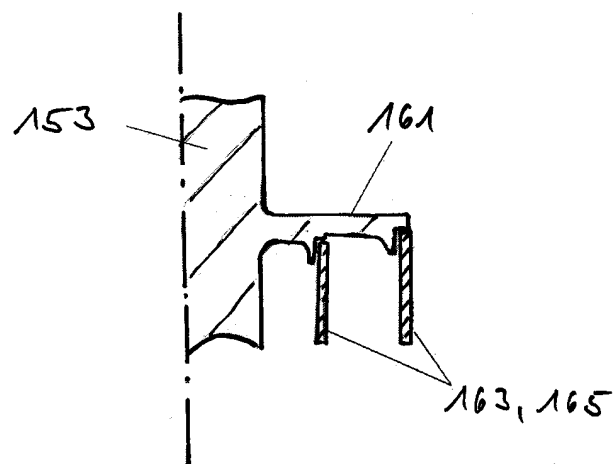


Fig. 11



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 17 5631

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	US 2003/103842 A1 (NONAKA MANABU [JP] ET AL) 5. Juni 2003 (2003-06-05) * Absatz [0043] - Absatz [0045] * * Abbildungen 1, 5 *	1-13	INV. F04D19/04 F04D29/54 F04D29/64
A	EP 2 594 803 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 22. Mai 2013 (2013-05-22) * Absatz [0017] * * Abbildung 5 *	1-13	
A	EP 3 657 021 B1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 11. November 2020 (2020-11-11) * Absatz [0017] * * Absatz [0022] - Absatz [0025] * * Abbildungen 6, 7 *	1-13	
A	US 2 730 297 A (DORSTEN ADRIANNS CORNELIS VAN ET AL) 10. Januar 1956 (1956-01-10) * Abbildung 4 *	1-13	
A	JP 2011 080407 A (SHIMADZU CORP) 21. April 2011 (2011-04-21) * Zusammenfassung * * Abbildung 3 *	1-13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 7. Juni 2023	Prüfer Oliveira, Damien
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 23 17 5631

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

07-06-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003103842 A1	05-06-2003	CN 1432738 A	30-07-2003
		EP 1318309 A2	11-06-2003
		JP 3961273 B2	22-08-2007
		JP 2003172289 A	20-06-2003
		KR 20030045598 A	11-06-2003
		TW 200300820 A	16-06-2003
		US 2003103842 A1	05-06-2003
<hr/>			
EP 2594803 A1	22-05-2013	DE 102011118661 A1	16-05-2013
		EP 2594803 A1	22-05-2013
		JP 5898050 B2	06-04-2016
		JP 2013104430 A	30-05-2013
<hr/>			
EP 3657021 B1	11-11-2020	EP 3657021 A1	27-05-2020
		JP 6913147 B2	04-08-2021
		JP 2020094582 A	18-06-2020
<hr/>			
US 2730297 A	10-01-1956	KEINE	
<hr/>			
JP 2011080407 A	21-04-2011	KEINE	
<hr/>			

EPO FORM P0461

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