

(19)



(11)

EP 4 474 654 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.12.2024 Patentblatt 2024/50

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 19/04^(2006.01) F04D 29/52^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **24162769.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F04D 19/044; F04D 19/042; F04D 19/046;
F04D 29/522; F05D 2250/232**

(22) Anmeldetag: **11.03.2024**

(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

- **SCHWEIGHÖFER, Michael**
35641 Schöffengrund (DE)
- **LOHSE, Martin**
35586 Wetzlar (DE)
- **HOFMANN, Jan**
35305 Grünberg (DE)

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

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

(72) Erfinder:
• **BIRKENFELD, Maximilian**
35649 Bischoffen (DE)

(54) **TURBOMOLEKULARVAKUUMPUMPE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbomolekularvakuumpumpe mit zumindest einer Turbomolekularpumpeinheit und wenigstens einer in Pumprichtung der Turbomolekularpumpeinheit nachgeordneten Holweckpumpeinheit, die wenigstens zwei bezüglich einer gemeinsamen Rotationsachse konzentrisch ineinander liegende, in Pumprichtung aufeinander folgende Holweckstufen aufweist, wobei die Holweckstufen jeweils einen Holweckstator mit einem Holweckgewinde umfassen, das von einem Kanalgrund abtastende Holweckstege und von den Wänden der Holweckstege begrenzte Holweckkanäle aufweist und einem gemeinsamen, während des Betriebs um die Rotationsachse rotierenden Holweckrotor der Holweckpumpeinheit zugewandt ist, der mit dem einen Holweckstator einen radial äußeren Holweckpumpbereich und mit dem anderen Holweckstator einen radial inneren Holweckpumpbereich begrenzt, wobei in einem

Übergangsbereich am freien Ende des Holweckrotors ein Auslassbereich des radial äußeren Holweckpumpbereiches in einen Einlassbereich des radial inneren Holweckpumpbereiches übergeht, wobei zusätzlich zu einem axialen Gaseinlass in den radial äußeren Holweckpumpbereich ein radialer Gaseinlass in die Holweckpumpeinheit vorgesehen ist, der entweder in den Übergangsbereich oder stromaufwärts des Übergangsbereiches in den radial äußeren Holweckpumpbereich mündet, und wobei der Auslassbereich und der Einlassbereich jeweils in einer senkrecht zur Rotationsachse verlaufenden Querschnittsebene, in der die Pumpwirkung endet bzw. beginnt, eine von den Holweckkanälen definierte freie Querschnittsfläche aufweisen und die freie Querschnittsfläche des Einlassbereiches um einen Faktor $f > 1$ größer ist als die freie Querschnittsfläche des Auslassbereiches.

EP 4 474 654 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbomolekularvakuumpumpe mit zumindest einer Turbomolekularpumpeinheit und wenigstens einer in Pumprichtung der Turbomolekularpumpeinheit nachgeordneten Holweckpumpeinheit, die wenigstens zwei bezüglich einer gemeinsamen Rotationsachse konzentrisch ineinander liegende, in Pumprichtung aufeinander folgende Holweckstufen aufweist, wobei die Holweckstufen jeweils einen Holweckstator mit einem Holweckgewinde umfassen, das von einem Kanalgrund abtastende Holweckstege und von den Wänden der Holweckstege begrenzte Holweckkanäle aufweist und einem gemeinsamen, während des Betriebs um die Rotationsachse rotierenden Holweckrotor der Holweckpumpeinheit zugewandt ist, der mit dem einen Holweckstator einen radial äußeren Holweckpumpbereich und mit dem anderen Holweckstator einen radial inneren Holweckpumpbereich begrenzt, wobei in einem Übergangsbereich am freien Ende des Holweckrotors ein Auslassbereich des radial äußeren Holweckpumpbereiches in einen Einlassbereich des radial inneren Holweckpumpbereiches übergeht, und wobei zusätzlich zu einem axialen Gaseinlass in den radial äußeren Holweckpumpbereich ein radialer Gaseinlass in die Holweckpumpeinheit vorgesehen ist.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein Vakuumsystem mit einer Turbomolekularvakuumpumpe wie hierin offenbart und mit einem zu evakuierenden Rezipienten, wobei die Turbomolekularvakuumpumpe als Splitflow-Vakuumpumpe ausgebildet ist, die eine oder mehrere radiale Saugleinlässe aufweist, welche während des Betriebs jeweils mit einer Öffnung des Rezipienten in Verbindung stehen.

[0003] Die Erfindung betrifft ferner Lecksuchsystem mit einer Turbomolekularvakuumpumpe wie hierin offenbart, die an einen zu evakuierenden Prüfgegenstand anschließbar ist, und mit einem Detektor, insbesondere einem Massenspektrometer, zum Nachweisen eines Prüfgesetzes, wobei die Turbomolekularvakuumpumpe über einen axialen oder radialen Gaseinlass an den Detektor angeschlossen und stromabwärts des Gaseinlasses ein radialer Gaseinlass für das Prüfgas in die Holweckpumpeinheit vorgesehen ist.

[0004] Derartige Turbomolekularvakuumpumpen sind grundsätzlich bekannt, beispielsweise aus EP 3 845 764 A2, EP 2 933 497 A2 und EP 3 657 021 A1. Auch sind Vakuumsysteme und Lecksuchsysteme der vorstehenden Art grundsätzlich bekannt.

[0005] Vakuumpumpen werden in verschiedenen Gebieten der Technik eingesetzt. Je nach Anforderung weisen die Vakuumpumpen eine oder mehrere Pumpeinheiten auf. Eine Holweckpumpeinheit gehört zur Gattung der Molekularvakuumpumpen und erzeugt durch die Drehung des Holweckrotors relativ zu dem jeweiligen Holweckstator eine molekulare Strömung. Eine Holweckpumpeinheit kann eine oder mehrere Holweckstufen umfassen, wobei mehrere Holweckstufen sowohl se-

riell als auch parallel zueinander pumpen können. Holweckpumpeinheiten werden typischerweise in Turbomolekularvakuumpumpen eingesetzt und einer oder mehreren Turbomolekularpumpstufen, die eine Turbomolekularpumpeinheit bilden, in Pumprichtung nachgeordnet.

[0006] Eine Holweckstufe umfasst einen Holweckrotor und einen Holweckstator, wobei der Holweckrotor mittels einer z.B. scheibenförmigen Holwecknabe an einem Rotor der Pumpe angebracht ist, der mittels eines Antriebsmotor der Pumpe während des Pumpbetriebs in Drehung versetzt wird. Der Holweckrotor wird auch als Holweckhülse bezeichnet und besitzt typischerweise eine hohlzylindrische Form. Eine Holweckpumpeinheit kann mehrere Holweckhülsen aufweisen, die konzentrisch an der Holwecknabe angebracht sind. Der Holweckstator ist mit einem ein- oder mehrgängigen Holweckgewinde versehen. Die zu fördernden Gasmoleküle werden durch die rotierende Bewegung des Holweckrotors relativ zum Holweckstator entlang der Gewindegänge von einem Einlass zu einem Auslass gefördert. Ein Gewindegang umfasst einen durch Wände von Holweckstegen begrenzten umlaufenden Holweckkanal (auch als Holwecknut bezeichnet), in welchem die Gasmoleküle gefördert werden, wenn der Holweckrotor relativ zum Holweckstator rotiert. Um Rückströmungsverluste zu minimieren, wird die Weite des radialen Spaltes (Holweckspalt) zwischen der auch als Spitze bezeichneten Oberseite des Holwecksteges und der Holweckhülse im Vergleich zur Steghöhe vergleichsweise klein gehalten.

[0007] Es sind auch sogenannte "gefaltete" Holweckpumpeinheiten bekannt, bei denen mehrere Holweckstufen konzentrisch ineinander angeordnet sind (auch als ineinander "geschachtelte" Holweckstufen bezeichnet), so dass die Gasströmungen von radial unmittelbar aufeinanderfolgenden Holweckstufen einander entgegengesetzt sind. Zwei aufeinanderfolgende Holweckstufen, nämlich eine (radial) äußere Holweckstufe und eine (radial) innere Holweckstufe, können einen gemeinsamen, beidseitig mit einem Holweckgewinde versehenen, im Folgenden auch als "doppelseitigen" Holweckstator bezeichneten Holweckstator umfassen, der sich zwischen zwei konzentrischen Holweckrotoren befindet.

[0008] Ferner ist es grundsätzlich bekannt, sogenannte "konische" Holweckstufen vorzusehen, bei denen der Holweckstator derart ausgebildet ist, dass die Steghöhe in Pumprichtung kontinuierlich abnimmt. Die Steghöhe ist der radiale Abstand zwischen der Stegspitze und dem Kanalgrund an einer jeweiligen axialen Stelle.

[0009] Für viele Anwendungen von Turbomolekularvakuumpumpen, beispielsweise in sogenannten Splitflow-Anwendungen oder in Lecksuch-Anwendungen, ist es erforderlich, zumindest einen - auch als Interstage-Port bezeichneten - radialen Gaseinlass in die Holweckpumpeinheit vorzusehen. Eine bezogen auf die Rotationsachse axiale Lage eines solchen radialen Gaseinlasses vergleichsweise nahe an der Turbomolekularpumpeinheit kann von Nachteil sein, insbesondere können

sich nachteilige Rückströmungseffekte ergeben. Daher ist man bestrebt, den radialen Gaseinlass in die Holweckpumpeinheit am Übergangsbereich oder in der Nähe des Übergangsbereiches anzuordnen, jedenfalls näher am Übergangsbereich als an der Turbomolekularpumpeinheit. Des Weiteren ist es wünschenswert, wenn für einen solchen Interstage-Port ein möglichst hohes Saugvermögen zur Verfügung steht.

[0010] Als Saugvermögen wird der Volumenstrom eines jeweils geförderten Gases bezeichnet, der pro Zeiteinheit durch eine bestimmte Querschnittsfläche gefördert wird.

[0011] Vor diesem Hintergrund ist die Aufgabe der Erfindung, eine Turbomolekularvakuumpumpe der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass im Zusammenhang mit einem radialen Gaseinlass Rückströmungseffekte in der Holweckpumpeinheit minimiert werden und für den radialen Gaseinlass ein möglichst hohes Saugvermögen zur Verfügung steht.

[0012] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Anspruchs 1. Erfindungsgemäß ist dementsprechend vorgesehen, dass der radiale Gaseinlass entweder in den Übergangsbereich oder stromaufwärts des Übergangsbereiches in den radial äußeren Holweckpumpbereich mündet, insbesondere in die stromabwärts gelegene Hälfte oder in das stromabwärts gelegene Drittel, Viertel, Fünftel oder Sechstel des radial äußeren Holweckpumpbereiches, und dass der Auslassbereich und der Einlassbereich jeweils in einer senkrecht zur Rotationsachse verlaufenden Querschnittsebene, in der die Pumpwirkung endet bzw. beginnt, eine von den Holweckkanälen definierte freie Querschnittsfläche aufweisen und die freie Querschnittsfläche des Einlassbereiches um einen Faktor $f > 1$ größer ist als die freie Querschnittsfläche des Auslassbereiches.

[0013] Die einlassseitige bzw. auslassseitige freie Querschnittsfläche wird im Folgenden auch als Offenheit bezeichnet.

[0014] Die Holweckstatoren sind vorzugsweise jeweils mehrgängig ausgebildet, d.h. sie besitzen jeweils eine Mehrzahl, z.B. 4, 6 oder 8, von parallel verlaufenden Holweckkanälen, die paarweise durch einen der Holweckstege voneinander getrennt sind.

[0015] Untersuchungen an bekannten Holweckpumpeinheiten haben gezeigt, dass das Saugvermögen in Pumprichtung, also vom Einlass in die radial äußere Holweckpumpstufe bis zum Auslass aus der radial inneren Holweckpumpstufe, kontinuierlich abnimmt, wobei in Abhängigkeit von den jeweiligen Gegebenheiten im Übergangsbereich zwischen radial äußerem Holweckpumpbereich und radial innerem Holweckpumpbereich eine vergleichsweise starke Abnahme des Saugvermögens festgestellt wird. Bei vielen Holweckpumpeinheiten ist außerdem das Saugvermögen am Einlassbereich des radial inneren Holweckpumpbereiches grundsätzlich kleiner als am Auslassbereich des radial äußeren Holweckpumpbereiches. Mit anderen Worten findet am - auch als Umkehrpunkt bezeichneten - Übergangsbe-

reich eine bei manchen Anordnungen beträchtliche Reduzierung des Saugvermögens statt.

[0016] Es wurde festgestellt, dass die erfindungsgemäße Vergrößerung der einlassseitigen Offenheit gegenüber der auslassseitigen Offenheit das Saugvermögen am Einlassbereich des radial inneren Holweckpumpbereiches beträchtlich erhöht und bei gleichzeitiger Minimierung der Rückströmung auch für den radialen Gaseinlass ein deutlich höheres Saugvermögen zur Verfügung steht, und zwar auch dann, wenn der radiale Gaseinlass stromaufwärts des Übergangsbereiches in den radial äußeren Holweckpumpbereich mündet. Bei einer realen Turbomolekularvakuumpumpe wurde beispielsweise gefunden, dass eine Vergrößerung der freien Querschnittsfläche am Einlassbereich des radial inneren Holweckpumpbereiches von 142 mm^2 auf 388 mm^2 dort eine Erhöhung des Saugvermögens von $2,69 \text{ l/s}$ auf $6,70 \text{ l/s}$ (wobei $\text{l/s} = \text{Liter pro Sekunde}$) zur Folge hat, und zwar bei ansonsten unveränderten geometrischen Verhältnissen der Holweckpumpeinheit.

[0017] Damit ermöglicht die Erfindung eine beträchtliche Leistungssteigerung von Holweckpumpeinheiten und damit von mit derartigen Holweckpumpeinheiten ausgestatteten Turbomolekularvakuumpumpen, was in der Praxis insbesondere für Splitflow-Anwendungen und Lecksuch-Anwendungen von großem Vorteil ist, die einen oder mehrere radiale Gaseinlässe erfordern.

[0018] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind auch in den abhängigen Ansprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie in den Figuren angegeben.

[0019] Gemäß einigen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass gilt: $1 < f < 3$, vorzugsweise $1 < f < 2$, bevorzugt $1,2 < f < 1,5$. Es wurde gefunden, dass für die Praxis vorteilhafte Saugvermögenssteigerungen bereits dann erzielt werden können, wenn der Faktor f kleiner als 1,5 ist, wobei ein Faktor F von weniger als 2 oder von weniger als 3 den Vorteil hat, dass vergleichsweise wenig radialer Bauraum benötigt wird.

[0020] Die einlassseitige Offenheit kann auf unterschiedliche Weise variiert werden.

[0021] Bei manchen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass in der jeweiligen Querschnittsebene die Höhe der Holweckstege im Einlassbereich größer ist als die Höhe der Holweckstege im Auslassbereich.

[0022] Gemäß einigen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass in der jeweiligen Querschnittsebene die in Umfangsrichtung gemessene Breite der Holweckstege im Einlassbereich größer ist als im Auslassbereich.

[0023] Gemäß einigen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass die Anzahl der Holweckstege in dem radial inneren Holweckpumpbereich kleiner ist als die Anzahl der Holweckstege in dem radial äußeren Holweckpumpbereich.

[0024] Die vorstehend genannten Maßnahmen können auch beliebig miteinander kombiniert werden.

[0025] Der den radial inneren Holweckpumpbereich begrenzende Holweckstator kann ein beidseitig mit ei-

nem Holweggewinde versehener Holwegstator sein, der radial weiter innen mit einem weiteren Holwegrotor einen weiteren Holwegpumpbereich begrenzt.

[0026] Dabei kann vorgesehen sein, dass der beidseitig mit dem Holweggewinde versehene Holwegstator eine in radialer Richtung gemessene Wandstärke aufweist, wobei im Einlassbereich die Wandstärke kleiner ist als die Höhe der Holwegstege des radial inneren Holwegpumpbereiches.

[0027] Bei manchen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass der radial äußere Holwegpumpbereich und/oder der radial innere Holwegpumpbereich jeweils konisch derart ausgebildet sind bzw. ist, dass die Höhe der Holwegstege in Pumprichtung kontinuierlich abnimmt.

[0028] Dabei kann vorgesehen sein, dass ein durch den Kanalgrund des radial äußeren Holwegpumpbereiches definierter Konizitätswinkel und ein durch den Kanalgrund des radial inneren Holwegpumpbereiches definierter Konizitätswinkel zumindest im Wesentlichen gleich oder voneinander verschieden sind. Insbesondere kann dabei der Konizitätswinkel des radial äußeren Holwegpumpbereiches größer oder kleiner sein als der Konizitätswinkel des radial inneren Holwegpumpbereiches.

[0029] Alternativ können der radial äußere Holwegpumpbereich und/oder der radial innere Holwegpumpbereich auch jeweils zylindrisch ausgebildet sein.

[0030] Gemäß einigen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass zumindest ein pumpwirksamer, mit dem Holwegrotor den radial äußeren Holwegpumpbereich begrenzender Abschnitt des radial äußeren Holwegstators einteilig ausgebildet ist. Dabei kann vorgesehen sein, dass der radiale Gaseinlass stromaufwärts des Übergangsbereiches in den radial äußeren Holwegpumpbereich mündet und sich durch den einteiligen pumpwirksamen Abschnitt des radial äußeren Holwegstators hindurch erstreckt. Die einteilige Ausführung erleichtert Herstellung und Montage der Holwegpumpeinheit. Die größere einlassseitige Offenheit des radial inneren Holwegpumpbereiches ist auch für einen stromaufwärts des Übergangsbereiches gelegenen radialen Gaseinlass hinsichtlich Saugvermögen und Rückströmungsminimierung von Vorteil, d.h. es ist kein zweigeteilter radial äußerer Holwegstator erforderlich, um stromabwärts der Mündung des radialen Gaseinlasses für eine größere Offenheit zu sorgen.

[0031] Bei manchen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass sich der radiale Gaseinlass in die Holwegpumpeinheit oberhalb eines Unterteils oder Zwischenbauteils der Vakuumpumpe, in welchem sich der Übergangsbereich zumindest zum Teil befindet, durch ein Pumpengehäuse hindurch erstreckt. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn z.B. bei einer Splitflow-Vakuumpumpe stromaufwärts ein oder mehrere weitere radiale Gaseinlässe vorhanden sind, da dann die Außenseite des Pumpengehäuses als eine gemeinsame Dichtfläche für die radialen Gaseinlässe dienen kann.

[0032] Gemäß einigen Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass stromaufwärts des radialen Gaseinlasses in die Holwegpumpeinheit zumindest ein weiterer radialer Gaseinlass angeordnet ist, insbesondere wobei der weitere radiale Gaseinlass in die Holwegpumpeinheit oder in die Turbomolekularpumpeinheit mündet.

[0033] Wie vorstehend erwähnt, kann eine Außenseite eines Pumpengehäuses, durch welches hindurch sich zumindest einige der mehreren radialen Gaseinlässe hindurch erstrecken, vorteilhaft als eine gemeinsame Dichtfläche genutzt werden.

[0034] Bei dem erfindungsgemäßen Vakuumsystem ist einer der radialen Saugeinlässe der in den Übergangsbereich oder stromaufwärts des Übergangsbereiches in den radial äußeren Holwegpumpbereich mündende radiale Gaseinlass.

[0035] Bei dem erfindungsgemäßen Lecksuchsystem ist der radiale Gaseinlass für das Prüfgas der in den Übergangsbereich oder stromaufwärts des Übergangsbereiches in den radial äußeren Holwegpumpbereich mündende radiale Gaseinlass.

[0036] Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularvakuumpumpe gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularvakuumpumpe von Fig. 1,

Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularvakuumpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,

Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularvakuumpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,

Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularvakuumpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C,

Fig. 6 eine schematische Ansicht einer Turbomolekularvakuumpumpe gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 7 teilweise einen Querschnitt parallel zur Rotationsachse durch einen Teil einer Turbomolekularvakuumpumpe gemäß dem Stand der Technik

Fig. 8 teilweise einen Querschnitt parallel zur Rotationsachse durch einen Teil einer Turbomolekularvakuumpumpe gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, und

Fig. 9 teilweise einen Querschnitt senkrecht zur Rotationsachse durch eine Holweckpumpeinheit einer erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe.

[0037] Die in Fig. 1 gezeigte Turbomolekularvakuumpumpe 111 (im Folgenden auch kurz als Turbomolekularpumpe oder Vakuumpumpe bezeichnet) umfasst einen von einem Einlassflansch 113 umgebenen Pumpeneinlass 115, an welchen in an sich bekannter Weise ein nicht dargestellter Rezipient angeschlossen werden kann.

[0038] 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.

[0039] 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.

[0040] Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z. B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0041] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0042] 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.

[0043] 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.

[0044] Andere existierende Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0045] 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.

[0046] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann. Dies ist bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0047] In den Fig. 2 bis 5 ist eine Kühlmittleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0048] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgaspumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0049] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0050] 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.

[0051] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0052] 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.

[0053] 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.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] Zur drehbaren Lagerung der Rotorwelle 153 sind ein Wälzlager 181 im Bereich des Pumpenauslasses 117 und ein Permanentmagnetlager 183 im Bereich des Pumpeneinlasses 115 vorgesehen.

[0057] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumpumpen (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.

5 **[0058]** Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

10 **[0059]** 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.

20 **[0060]** 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 Abstößungskräfte 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.

50 **[0061]** 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] Fig. 6 zeigt schematisch einige Bestandteile einer Turbomolekularvakuumpumpe gemäß dem Stand der Technik, wobei die Turbomolekularvakuumpumpe darüber hinaus so ausgebildet sein kann, wie es vorstehend in Verbindung mit den Fig. 1 bis 5 beschrieben worden ist.

[0066] In Fig. 6 dargestellt sind eine Turbomolekularpumpeinheit 11 sowie eine Holweckpumpeinheit 13. Beide Pumpeinheiten 11, 13 besitzen einen gemeinsamen Rotor 12, der während des Pumpbetriebs um eine Rotationsachse 15 rotiert. Der Antriebsmotor für den Rotor 12 ist in Fig. 6 nicht dargestellt.

[0067] Die Turbomolekularpumpeinheit 11 umfasst eine Vielzahl von Rotorscheiben 11a, die drehfest mit dem Rotor 12 verbunden sind. Von der Turbomolekularpum-

peinheit 11 nicht dargestellt sind die Statorscheiben, die mit den Rotorscheiben 11a in bekannter Weise pumpwirksam zusammenwirken.

[0068] Von der Holweckpumpeinheit 13 sind die drehfest mit dem Rotor 12 verbundene Holwecknabe 26, der drehfest mit der Holwecknabe 26 verbundene, auch als Holweckhülse bezeichnete Holweckrotor 25 sowie ein radial äußerer Holweckstator 17a und ein radial innerer Holweckstator 17b dargestellt.

[0069] Damit umfasst in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel die Holweckpumpeinheit 13 zwei bezüglich der Rotationsachse 15 konzentrisch ineinander liegende, in Pumprichtung aufeinanderfolgende Holweckstufen. Jede Holweckstufe umfasst den jeweiligen Holweckstator 17a, 17b, der ein mehrgängiges Holweckgewinde umfasst, das von einem Kanalgrund 19 abstehende Holweckstege 21 und von den Wänden der Holweckstege 21 begrenzte Holweckkanäle 23 aufweist. Dieses Holweckgewinde ist der jeweiligen Seite des Holweckrotors 25 zugewandt.

[0070] In grundsätzlich bekannter Weise bildet somit der Holweckrotor 25 mit dem radial äußeren Holweckstator 17a einen radial äußeren Holweckpumpbereich 27 und mit dem radial inneren Holweckstator 17b einen radial inneren Holweckpumpbereich 29.

[0071] Der Strömungsweg eines zu pumpenden Gases ist in Fig. 6 durch die Pfeile angedeutet. Das zu pumpende Gas strömt zunächst über einen nicht dargestellten axialen Pumpeinlass im ebenfalls nicht dargestellten Pumpengehäuse in die Turbomolekularpumpeinheit 11, durch diese hindurch zu einem axialen Gaseinlass 33 in den radial äußeren Holweckpumpbereich 27, durch diesen hindurch zu einem Auslassbereich 27a des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27, in einen Übergangsbereich 31 am freien Ende des Holweckrotors 25, in einen Einlassbereich 29a des radial inneren Holweckpumpbereiches 29, durch diesen hindurch und anschließend über einen nicht näher dargestellten Strömungsweg zu einem Auslass der Turbomolekularvakuumpumpe.

[0072] Der Auslassbereich 27a des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27 befindet sich in einer Querschnittsebene senkrecht zur Rotationsachse 15 in einer - bezogen auf die Rotationsachse 15 - axialen Lage, an der die Pumpwirkung des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27 endet, d. h. wo die Holweckkanäle 23 enden. Entsprechend beginnt die Pumpwirkung des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 an dessen Einlassbereich 29a und somit in einer senkrecht zur Rotationsachse 15 verlaufenden Querschnittsebene, in der die Holweckkanäle 23 beginnen.

[0073] Diejenige Querschnittsebene, in welcher der Auslassbereich 27a liegt und in welcher somit die Pumpwirkung des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27 endet, und diejenige Querschnittsebene, in welcher der Einlassbereich 29a liegt und in der folglich die Pumpwirkung des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 beginnt, können zusammenfallen. Je nach konkreter Aus-

gestaltung und Anordnung der beiden Holweckpumpstufen können diese beiden Querschnittsebenen aber auch in axialer Richtung voneinander beabstandet sein.

[0074] In der jeweiligen Querschnittsebene besitzen der Auslassbereich 27a und der Einlassbereich 29a eine jeweilige freie Querschnittsfläche, die durch die Holweckkanäle 23 definiert ist. Die jeweilige freie Querschnittsfläche wird im Folgenden der Einfachheit halber auch als Offenheit bezeichnet, d.h. der radial äußere Holweckpumpbereich 27 besitzt an seinem Auslassbereich 27a eine bestimmte, durch die Geometrie seiner Holweckkanäle 23 definierte auslasseitige Offenheit. Entsprechend besitzt der radial innere Holweckpumpbereich 29 an seinem Einlassbereich 29a eine durch die Geometrie seiner Holweckkanäle 23 definierte einlasseitige Offenheit.

[0075] Man erkennt, dass bei dem in Fig. 6 schematisch dargestellten Beispiel des Standes der Technik die einlasseitige Offenheit deutlich kleiner ist als die auslasseitige Offenheit, da die Höhe der Holweckstege 21 des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 kleiner ist als die Höhe der Holweckstege 21 des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27. Es wird hierbei der Einfachheit halber davon ausgegangen, dass bei der Breite der Holweckstege 21 und der Anzahl der Holweckkanäle 23 - Parametern, die ebenfalls die Offenheit bestimmen - keine Unterschiede bestehen.

[0076] Ferner ist in Fig. 6 zu erkennen, dass der radial äußere Holweckpumpbereich 27 konisch derart ausgebildet ist, dass die Höhe der Holweckstege 21 in Pumprichtung abnimmt. Die radial äußere Holweckpumpstufe ist also eine konische Pumpstufe. Die Konizität bzw. ein jeweiliger bezüglich der Rotationsachse 15 gemessener Konizitätswinkel ist dabei durch den Kanalgrund 19 definiert. Derartige konische Holweckpumpstufen sind grundsätzlich bekannt. Die radial innere Holweckstufe ist hier zylindrisch ausgebildet. Es ist grundsätzlich auch bekannt, sowohl eine radial äußere Holweckpumpstufe als auch eine radial innere Holweckpumpstufe, die - wie beim Beispiel der Fig. 6 - einen gemeinsamen Holweckrotor 25 aufweisen, jeweils konisch auszubilden.

[0077] Während Fig. 6 eine Turbomolekularvakuumpumpe lediglich schematisch dargestellt ist, zeigt Fig. 7 ein konkretes Beispiel aus dem Stand der Technik.

[0078] Anders als in Fig. 6 ist hier zusätzlich ein Pumpengehäuse 41 dargestellt. Ferner zeigt Fig. 7 ein Unterteil 39 der Vakuumpumpe, an dem der radial innere Holweckstator 17b mit seinem unteren Ende abgestützt ist. Es ist zu erkennen, dass der Übergangsbereich 31 zwischen dem Auslassbereich des radial äußeren Pumpbereiches 27 und dem Einlassbereich des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 sich innerhalb des Unterteils 39 befindet, da sich der Holweckrotor 25 mit seinem freien Ende bis in das Unterteil 39 hinein erstreckt.

[0079] In dem Beispiel der Fig. 7 ist der radial innere Holweckstator 17b ein beidseitig mit einem Holweckgewinde versehener Holweckstator. Dieser doppelseitige

Holweckstator 17b begrenzt mit einem weiteren, radial innen gelegenen Holweckrotor 25 einen weiteren Holweckpumpbereich 43. Während die von dem radial inneren Holweckstator 17b begrenzten Holweckpumpbereiche 29 und 43 jeweils zylindrisch sind, ist der radial äußere Holweckpumpbereich 27 - wie auch im Beispiel der Fig. 6 - konisch ausgebildet.

[0080] In Fig. 7 ist zu erkennen, dass - bei gleicher Breite der Holweckstege und gleicher Anzahl der Holweckkanäle aufgrund der unterschiedlichen Höhe der Holweckstege 21 - wiederum die einlasseitige Offenheit des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 kleiner ist als die auslasseitige Offenheit des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27.

[0081] Wie nachstehend anhand des erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels der Fig. 8 beschrieben wird, unterscheidet sich die Holweckpumpeinheit 13 einer erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe von dem Stand der Technik, wie er beispielhaft zuvor anhand der Fig. 6 und 7 beschrieben worden ist, dadurch, dass der Einlassbereich 29a des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 eine größere Offenheit besitzt als der Auslassbereich 27a des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27.

[0082] Wie im Einleitungsteil erläutert, resultiert dies in einem höheren Saugvermögen am Übergangsbereich und auch für einen radialen Gaseinlass (Interstage-Port) in die Holweckpumpeinheit 13 sowie in einer Reduzierung von Rückströmungseffekten.

[0083] Die - bezogen auf die hier nicht dargestellte Rotationsachse - axiale Höhe des radialen Gaseinlasses kann in der Praxis unterschiedlich sein. Zwei unterschiedliche Möglichkeiten sind beispielhaft in Fig. 8 gezeigt. Durch den Pfeil 35 ist ein radialer Gaseinlass dargestellt, der in den Übergangsbereich 31 zwischen Auslassbereich 27a und Einlassbereich 29a mündet. Alternativ kann ein radialer Gaseinlass etwas weiter stromaufwärts in den radial äußeren Holweckpumpbereich 27 münden, wie es in Fig. 8 durch den Pfeil 35' dargestellt ist. Ein solcher etwas stromaufwärts des Übergangsbereiches 31 gelegener radialer Gaseinlass 35' kann beispielsweise dann vorgehen sein, wenn sich - wie am Beispiel der Fig. 7 gezeigt - der Übergangsbereich 31 innerhalb eines Pumpenunterteils 39 befindet. Auch bei einem solchen radialen Gaseinlass 35' wirkt sich das durch die größere Offenheit am Einlassbereich 29a des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 erzeugte höhere Saugvermögen vorteilhaft aus.

[0084] Wie Fig. 8 außerdem zeigt, sind beide Holweckpumpbereiche 27, 29 konisch ausgebildet, d.h. die Höhe der Holweckstege 21 nimmt jeweils in Pumprichtung ab. Zu pumpendes Gas tritt folglich auch im Ausführungsbeispiel der Fig. 8 - von der Turbomolekularpumpeinheit 11 kommend - über einen axialen Gaseinlass 33 in den radial äußeren Holweckpumpbereich 27 ein und gelangt dann über den Übergangsbereich 31 in den radial inneren Holweckpumpbereich 29 und von dort entweder zu einem Gasauslass der Vakuumpumpe oder in einen oder

mehrere weitere Holweckpumpbereiche, beispielsweise entsprechend dem Beispiel der Fig. 7. Somit kann auch bei einer erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe der radial innere Holweckstator 17b der Holweckpumpeinheit 13 ein "doppelseitiger" Holweckstator sein, der beidseitig, also radial außen und radial innen, mit einem Holweckgewinde versehen ist, das mit einem jeweiligen, an der gemeinsamen Holwecknabe 26 angebrachten Holweckhülse 25 pumpwirksam zusammenwirkt.

[0085] Wie an anderer Stelle bereits erwähnt, wird die jeweilige Konizität des Holweckpumpbereiches 27, 29 bezüglich der Rotationsachse gemessen. Die Konizitätswinkel $\beta\alpha$ und βi des radial äußeren Holweckpumpbereiches 27 bzw. des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 sind in Fig. 8 unter Verwendung gestrichelter Hilfslinien eingezeichnet. Die Konizitätswinkel $\beta\alpha$ und βi können gleich groß oder verschieden sein.

[0086] Fig. 9 veranschaulicht die Geometrie am Einlassbereich 29a des radial inneren Holweckpumpbereiches 29, und zwar in derjenigen senkrecht zur Rotationsachse 15 verlaufende Querschnittsebene, in der die durch die Holweckstege 21 begrenzten Holweckkanäle 23 beginnen, d.h. in derjenigen Querschnittsebene, in der die Pumpwirkung des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 beginnt.

[0087] In Fig. 9 dargestellt ist außerdem der Holweckrotor 25, der mit dem die Holweckstege 21 umfassenden Holweckgewinde des radial inneren Holweckstators 17b zusammenwirkt. Das Holweckgewinde auf der zylindrischen Wand 17c des Holweckstators 17b ist mehrgängig ausgebildet und umfasst hier acht parallel pumpende Holweckkanäle 23, die jeweils paarweise durch einen Holwecksteg 21 voneinander getrennt sind. Der Holweckrotor 25 und Statorwand 17c können in einer anderen Querschnittsebene beginnen als die Holweckstege 21. Die Pumpwirkung des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 beginnt gleichwohl dort, wo die Holweckkanäle 23 beginnen, die von dem Kanalgrund 19, also von der Außenseite der Statorwand 17c, und von den Holweckstegen 21 gemeinsam begrenzt werden und für deren Pumpwirksamkeit die radiale Innenseite des Holweckrotors 25 erforderlich ist.

[0088] So wie in Fig. 9 schematisch dargestellt, kann man sich die geometrische Situation am Einlassbereich 29a bei einer erfindungsgemäßen Holweckpumpeinheit 13 - z.B. gemäß Fig. 8 - vorstellen. In Fig. 9 nicht dargestellt ist der radial äußere Holweckstator 17a. Die geometrische Situation ist für den äußeren Holweckstator 17a allerdings entsprechend, wobei das Holweckgewinde des radial äußeren Holweckstators 17a mit der radialen Außenseite des Holweckrotors 25 zusammenwirkt und - wie an anderer Stelle erwähnt - die Pumpwirkung des radial äußeren Holweckpumpbereiches in einer Querschnittsebene enden kann, die sich von derjenigen Querschnittsebene unterscheidet, in der die Pumpwirkung des radial inneren Holweckpumpbereiches 27a beginnt.

[0089] In bekannter Weise sind die Spitzen der Holweckstege 21 von der zugewandten Innenseite des Holweckrotors 25 geringfügig beabstandet. Die tatsächlichen Größenverhältnisse sind in Fig. 9 nicht maßstabsgerecht dargestellt. Die Spitzen der Holweckstege 21 liegen in der dargestellten Querschnittsansicht auf einem Kreis um die Rotationsachse 15, der in Fig. 9 durch eine gestrichelte Linie dargestellt und der - wie erwähnt - einen kleineren Radius aufweist als die Innenseite des Holweckrotors 25.

[0090] Pumpwirksam sind - wie erwähnt - die Holweckkanäle 23. Die Größe der pumpwirksamen freien Querschnittsfläche am Einlassbereich 29a, also in der in Fig. 9 dargestellten Querschnittsebene, ist somit durch die Anzahl der Holweckkanäle 23 und durch deren freien Querschnittsflächen bestimmt, wobei letztere jeweils durch die in Umfangsrichtung gemessene Breite B und die Höhe H - also durch den Abstand zwischen Stegspitze und Kanalgrund 19 - der jeweils begrenzenden Holweckstege 21 bestimmt ist. Der vergleichsweise schmale Ringbereich zwischen den Spitzen der Holweckstege 21 und der Innenseite des Holweckrotors 25 wird nicht zu der freien Querschnittsfläche am Einlassbereich 29a gezählt, trägt in diesem Sinne also nicht zur einlassseitigen Offenheit des radial inneren Holweckpumpbereiches 29 bei. Entsprechendes gilt für die auslassseitige Offenheit des in Fig. 9 nicht dargestellten radial äußeren Holweckpumpbereiches 27.

[0091] Eine Variation sowohl der einlassseitigen Offenheit als auch der auslassseitigen Offenheit kann folglich beispielsweise durch eine Veränderung der Breite B, der Höhe H oder der Anzahl der Holweckstege 21 erfolgen. Diese Maßnahmen können auch beliebig kombiniert werden. So kann beispielsweise bei gleichbleibender Anzahl der Holweckstege 21 und damit der Holweckkanäle 23 die Offenheit dadurch verändert werden, dass die Höhe H und die Breite B der Holweckstege verändert werden. Die Höhe H kann bei gleichbleibendem radialen Abstand zwischen den Spitzen der Holweckstege 21 und der Innenseite des Holweckrotors 25 dadurch verändert werden, dass der zylindrische Bereich des Holweckstators 17b, also dessen Wand 17c, von der die Hohlweckstege 21 radial nach außen abstehen, mit einer geringeren Wandstärke versehen wird, wodurch der Kanalgrund 19 näher an die Rotationsachse 15 gelangt. Alternativ oder zusätzlich kann die Höhe H der Holweckstege 21 aber auch dadurch verändert werden, dass der radiale Abstand zwischen den Stegspitzen und der Innenseite des Holweckrotors 25 verändert wird, soweit dies jeweils möglich ist, ohne die grundsätzliche Funktionsfähigkeit, also Pumpwirksamkeit, der Holweckpumpe zu beeinträchtigen.

Bezugszeichenliste

[0092]

11 Turbomolekularpumpeinheit

11a	Rotorscheibe	165	Holweck-Rotorhülse
12	Rotor	167	Holweck-Statorhülse
13	Holweckpumpeinheit	169	Holweck-Statorhülse
15	Rotationsachse	171	Holweck-Spalt
17a	radial äußerer Holweckstator	5 173	Holweck-Spalt
17b	radial innerer Holweckstator	175	Holweck-Spalt
17c	Wand des radial inneren Holweckstators	179	Verbindungskanal
19	Kanalgrund	181	Wälzlager
21	Holwecksteg	183	Permanentmagnetlager
23	Holweckkanal	10 185	Spritzmutter
25	Holweckrotor	187	Scheibe
26	Holwecknabe	189	Einsatz
27	radial äußerer Holweckpumpbereich	191	rotorseitige Lagerhälfte
27a	Auslassbereich	193	statorseitige Lagerhälfte
29	radial innerer Holweckpumpbereich	15 195	Ringmagnet
29a	Einlassbereich	197	Ringmagnet
31	Übergangsbereich	199	Lagerspalt
33	axialer Gaseinlass	201	Trägerabschnitt
35, 35'	radialer Gaseinlass	203	Trägerabschnitt
39	Unterteil oder Zwischenbauteil	20 205	radiale Strebe
41	Pumpengehäuse	207	Deckelelement
43	weiterer Holweckpumpbereich	209	Stützring
		211	Befestigungsring
H	Höhe der Holweckstege	213	Tellerfeder
B	Breite der Holweckstege	25 215	Not- bzw. Fanglager
β_a	Konizitätswinkel des radial äußeren Holweckpumpbereiches	217	Motorstator
β_i	Konizitätswinkel des radial inneren Holweckpumpbereiches	219	Zwischenraum
		221	Wandung
		223	Labyrinthdichtung
		30	
111	Turbomolekularpumpe		
113	Einlassflansch		
115	Pumpeneinlass		
117	Pumpenauslass		
119	Gehäuse	35	
121	Unterteil		
123	Elektronikgehäuse		
125	Elektromotor		
127	Zubehöranschluss		
129	Datenschnittstelle	40	
131	Stromversorgungsanschluss		
133	Fluteinlass		
135	Sperrgasanschluss		
137	Motorraum		
139	Kühlmittelanschluss	45	
141	Unterseite		
143	Schraube		
145	Lagerdeckel		
147	Befestigungsbohrung		
148	Kühlmittleitung	50	
149	Rotor		
151	Rotationsachse		
153	Rotorwelle		
155	Rotorscheibe		
157	Statorscheibe	55	
159	Abstandsring		
161	Rotornabe		
163	Holweck-Rotorhülse		

Patentansprüche

1. Turbomolekularvakuumpumpe mit zumindest einer Turbomolekularpumpeinheit (11) und wenigstens einer in Pumprichtung der Turbomolekularpumpeinheit (11) nachgeordneten Holweckpumpeinheit (13), die wenigstens zwei bezüglich einer gemeinsamen Rotationsachse (15) konzentrisch ineinander liegende, in Pumprichtung aufeinander folgende Holweckstufen aufweist,

wobei die Holweckstufen jeweils einen Holweckstator (17a, 17b) mit einem Holweckgewinde umfassen, das von einem Kanalgrund (19) abstehende Holweckstege (21) und von den Wänden der Holweckstege (21) begrenzte Holweckkanäle (23) aufweist und einem gemeinsamen, während des Betriebs um die Rotationsachse (15) rotierenden Holweckrotor (25) der Holweckpumpeinheit (13) zugewandt ist, der mit dem einen Holweckstator (17a) einen radial äußeren Holweckpumpbereich (27) und mit dem anderen Holweckstator (17b) einen radial inneren Holweckpumpbereich (29) begrenzt, wobei in einem Übergangsbereich (31) am freien Ende des Holweckrotors (25) ein Auslassbereich (27a) des radial äußeren Holweckpump-

- bereiches (27) in einen Einlassbereich (29a) des radial inneren Holweckpumpbereiches (29) übergeht,
dadurch gekennzeichnet,
dass zusätzlich zu einem axialen Gaseinlass (33) in den radial äußeren Holweckpumpbereich (27) ein radialer Gaseinlass (35, 35') in die Holweckpumpeinheit (13) vorgesehen ist, der entweder in den Übergangsbereich (31) oder stromaufwärts des Übergangsbereiches (31) in den radial äußeren Holweckpumpbereich (27) mündet, insbesondere in die stromabwärts gelegene Hälfte oder in das stromabwärts gelegene Drittel, Viertel, Fünftel oder Sechstel des radial äußeren Holweckpumpbereiches (27), und dass der Auslassbereich (27a) und der Einlassbereich (29a) jeweils in einer senkrecht zur Rotationsachse (15) verlaufenden Querschnittsebene, in der die Pumpwirkung endet bzw. beginnt, eine von den Holweckkanälen (23) definierte freie Querschnittsfläche aufweisen und die freie Querschnittsfläche des Einlassbereiches (29a) um einen Faktor $f > 1$ größer ist als die freie Querschnittsfläche des Auslassbereiches (25a).
2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, wobei gilt: $1 < f < 3$, vorzugsweise $1 < f < 2$, bevorzugt $1,2 < f < 1,5$.
 3. Vakuumpumpe nach Anspruch 1 oder 2, wobei in der jeweiligen Querschnittsebene die Höhe der Holweckstege (21) im Einlassbereich (29a) größer ist als die Höhe (H) der Holweckstege (21) im Auslassbereich (27a).
 4. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der jeweiligen Querschnittsebene die in Umfangsrichtung gemessene Breite (B) der Holweckstege (21) im Einlassbereich (29a) größer ist als im Auslassbereich (27a).
 5. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anzahl der Holweckstege (21) in dem radial inneren Holweckpumpbereich (29) kleiner ist als die Anzahl der Holweckstege (21) in dem radial äußeren Holweckpumpbereich (27).
 6. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der den radial inneren Holweckpumpbereich (29) begrenzende Holweckstator (17b) ein beidseitig mit einem Holweckgewinde versehener Holweckstator ist, der radial weiter innen mit einem weiteren Holweckrotor (25) einen weiteren Holweckpumpbereich (43) begrenzt.
 7. Vakuumpumpe nach Anspruch 6, wobei der beidseitig mit dem Holweckgewinde versehene Holweckstator (17b) eine in radialer Richtung gemessene Wandstärke aufweist, und wobei im Einlassbereich (29a) die Wandstärke kleiner ist als die Höhe der Holweckstege (21) des radial inneren Holweckpumpbereiches (29).
 8. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der radial äußere Holweckpumpbereich (27) und/oder der radial innere Holweckpumpbereich (29) jeweils konisch derart ausgebildet sind bzw. ist, dass die Höhe der Holweckstege (21) in Pumprichtung kontinuierlich abnimmt.
 9. Vakuumpumpe nach Anspruch 8, wobei ein durch den Kanalgrund (19) des radial äußeren Holweckpumpbereiches (27) definierter Konizitätswinkel (β_a) und ein durch den Kanalgrund (19) des radial inneren Holweckpumpbereiches (29) definierter Konizitätswinkel (β_i) zumindest im Wesentlichen gleich oder voneinander verschieden sind, insbesondere wobei der Konizitätswinkel (β_a) des radial äußeren Holweckpumpbereiches (27) größer oder kleiner ist als der Konizitätswinkel (β_i) des radial inneren Holweckpumpbereiches (29).
 10. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest ein pumpwirksamer, mit dem Holweckrotor (25) den radial äußeren Holweckpumpbereich (27) begrenzender Abschnitt des radial äußeren Holweckstators (17a) einteilig ausgebildet ist, insbesondere wobei der radiale Gaseinlass (35) stromaufwärts des Übergangsbereiches (31) in den radial äußeren Holweckpumpbereich (27) mündet und sich durch den einteiligen pumpwirksamen Abschnitt des radial äußeren Holweckstators (17a) hindurch erstreckt.
 11. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei sich der radiale Gaseinlass (35) oberhalb eines Unterteils oder Zwischenbauteils (39) der Vakuumpumpe, in welchem sich der Übergangsbereich (31) zumindest zum Teil befindet, durch ein Pumpengehäuse (41) hindurch erstreckt.
 12. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei stromaufwärts des radialen Gaseinlasses (35) in die Holweckpumpeinheit (13) zumindest ein weiterer radialer Gaseinlass angeordnet ist, insbesondere wobei der weitere radiale Gaseinlass in die Holweckpumpeinheit (13) oder in die Turbomolekular-

pumpeinheit (11) mündet.

13. Vakuumsystem mit einer Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche und mit einem zu evakuierenden Rezipienten, wobei die Vakuumpumpe als Splitflow-Vakuumpumpe ausgebildet ist, die einen oder mehrere radiale Saugelassen aufweist, welche während des Betriebs jeweils mit einer Öffnung des Rezipienten in Verbindung stehen, und wobei einer der radialen Saugelassen der in den Übergangsbereich (31) oder stromaufwärts des Übergangsbereiches (31) in den radial äußeren Holweckpumpbereich (27) mündende radiale Gaseinlass (35) ist.
14. Lecksuchsystem mit einer Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 12, die an einen zu evakuierenden Prüfgegenstand anschließbar ist, und mit einem Detektor, insbesondere einem Massenspektrometer, zum Nachweisen eines Prüfgases, und wobei die Vakuumpumpe über einen axialen oder radialen Gaseinlass an den Detektor angeschlossen und stromabwärts des Gaseinlasses ein radialer Gaseinlass für das Prüfgas in die Holweckpumpeinheit (13) vorgesehen ist, wobei der radiale Gaseinlass für das Prüfgas der in den Übergangsbereich (31) oder stromaufwärts des Übergangsbereiches (31) in den radial äußeren Holweckpumpbereich (27) mündende radiale Gaseinlass (35) ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

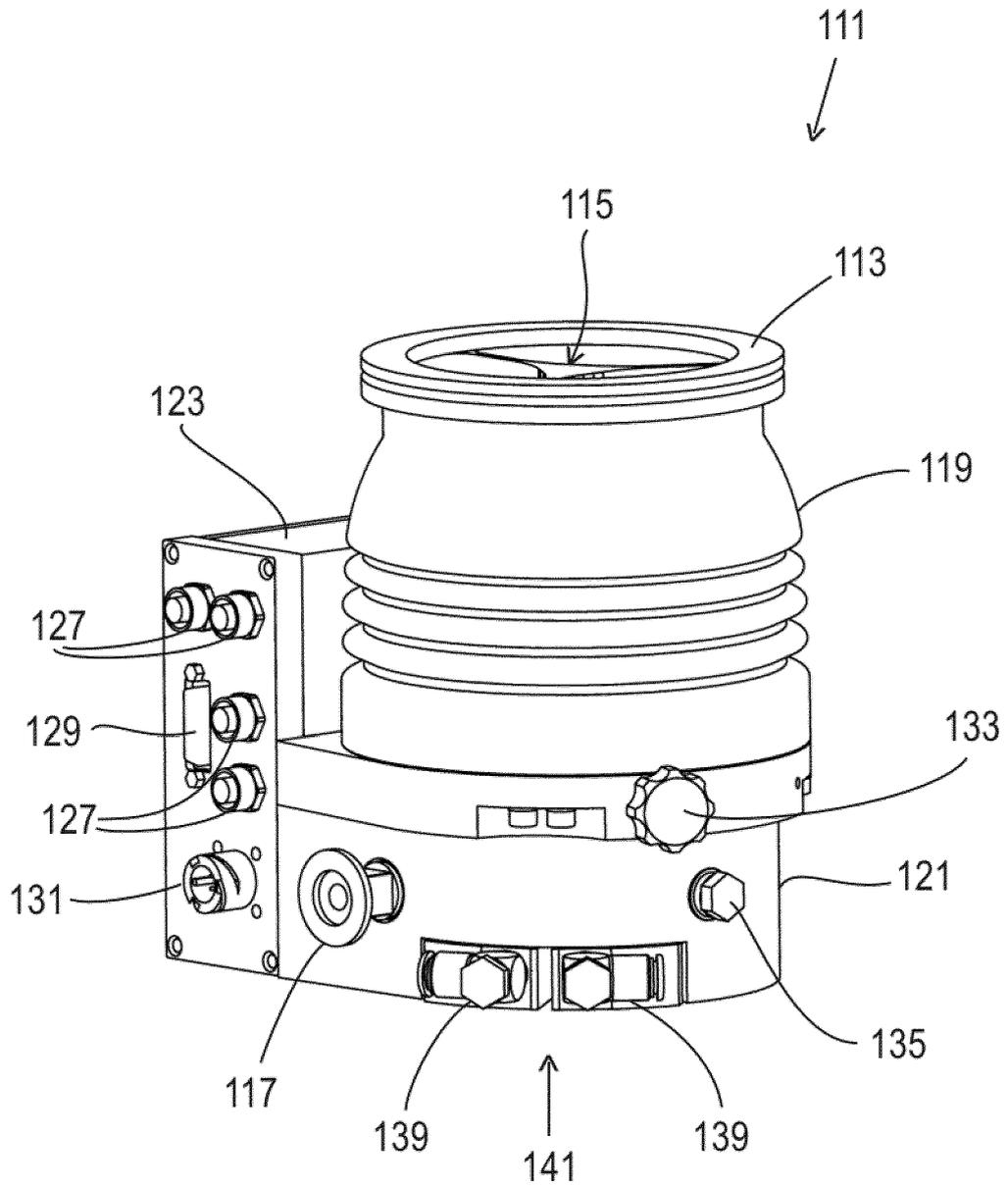


Fig. 1

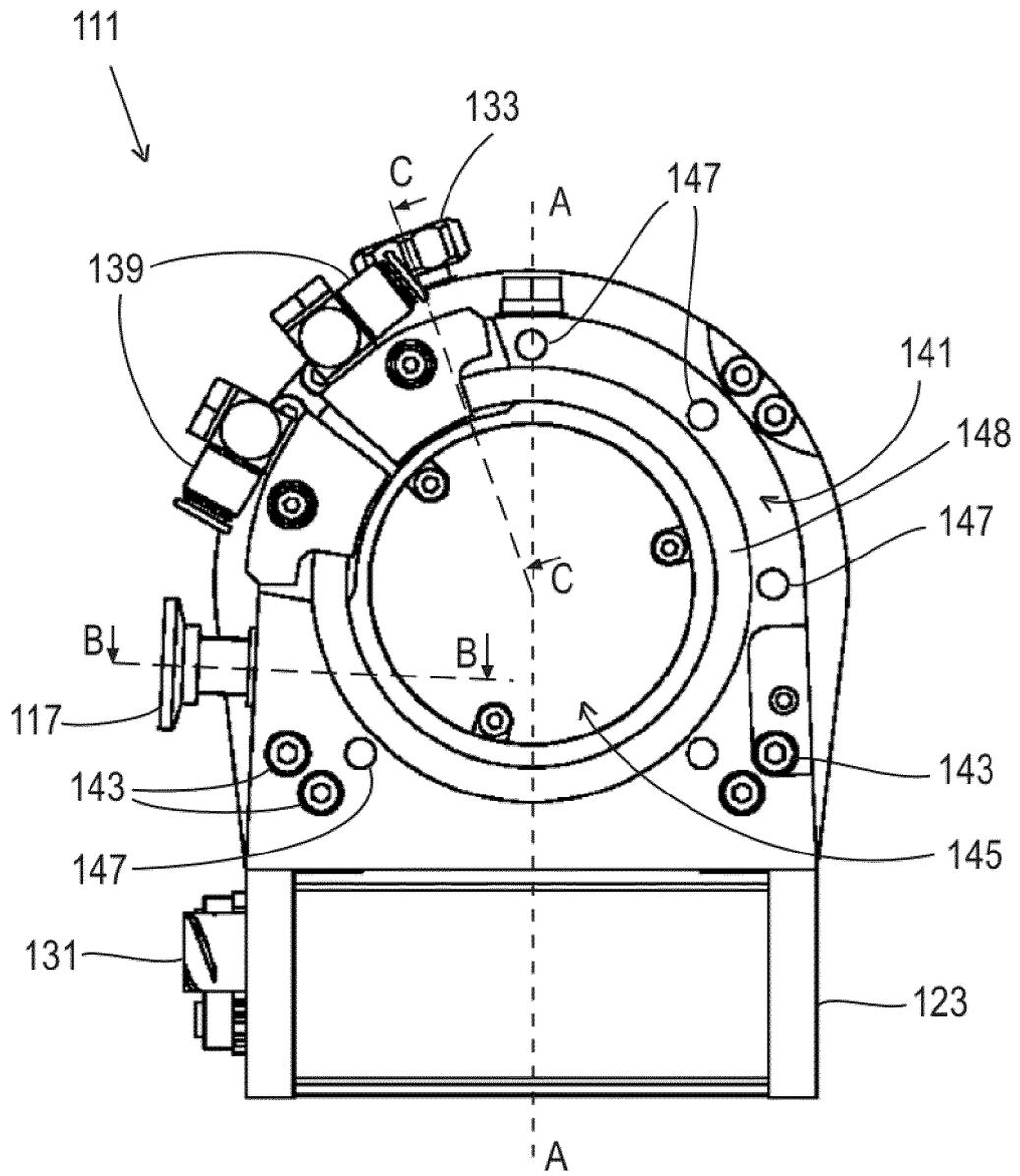


Fig. 2

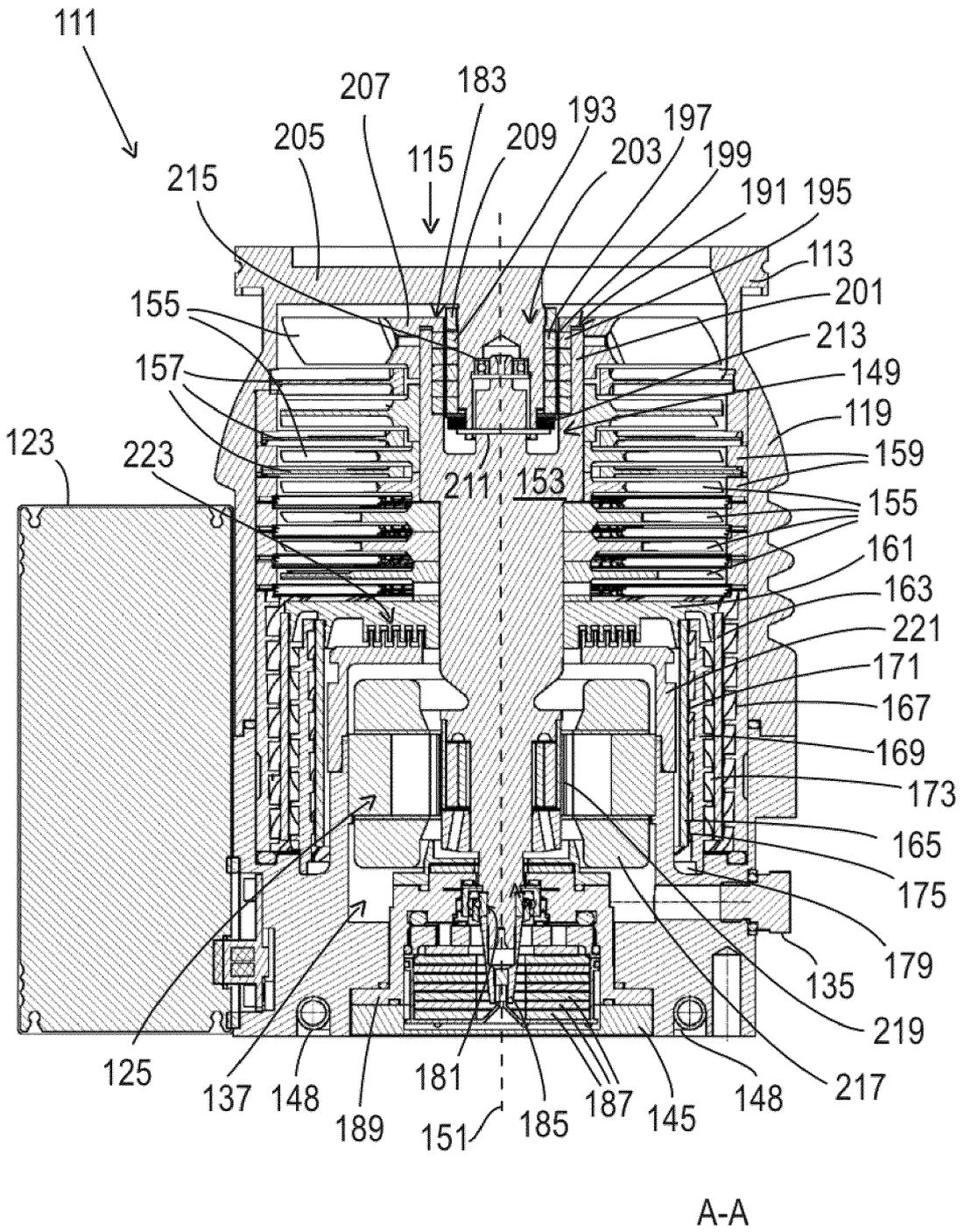


Fig. 3

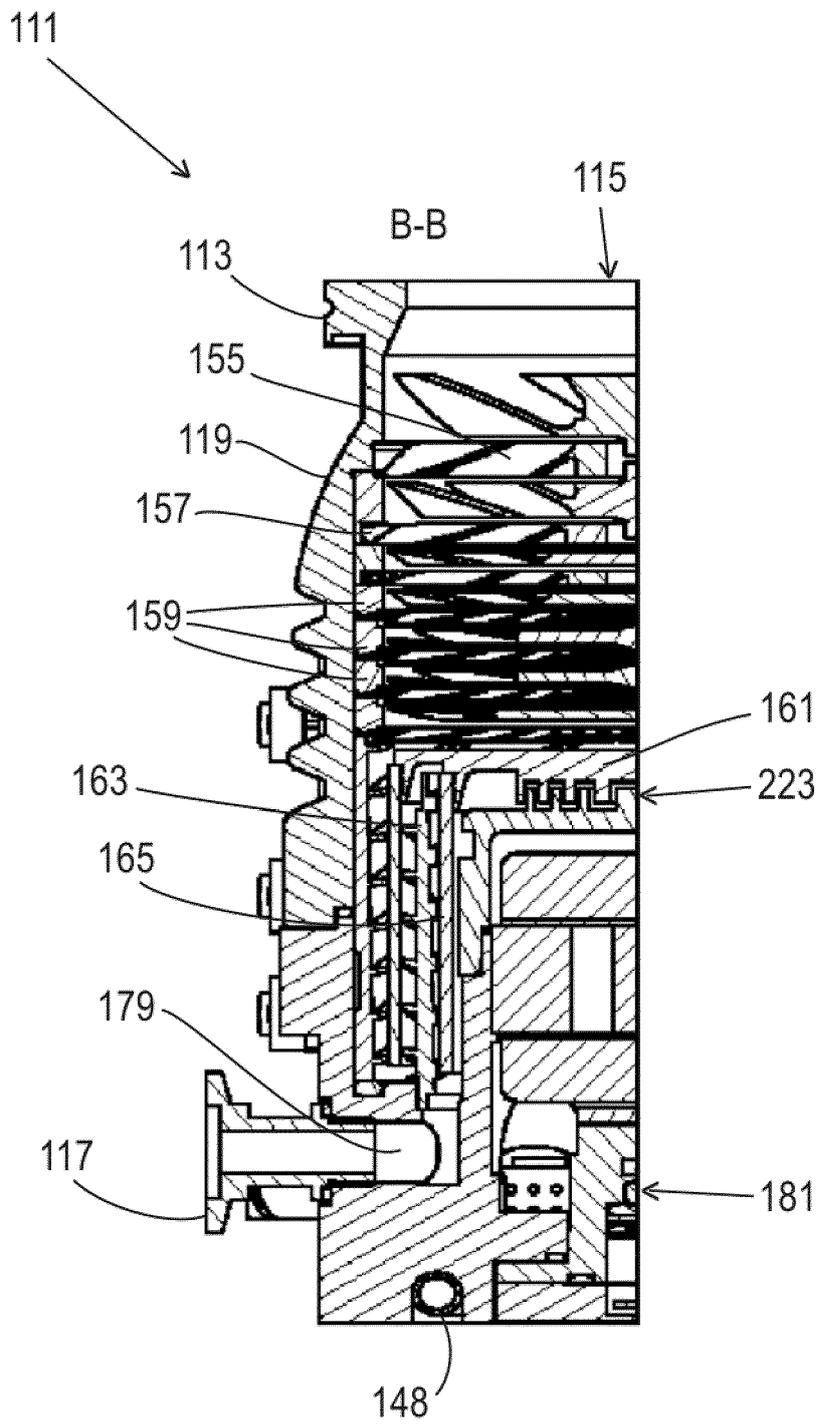


Fig. 4

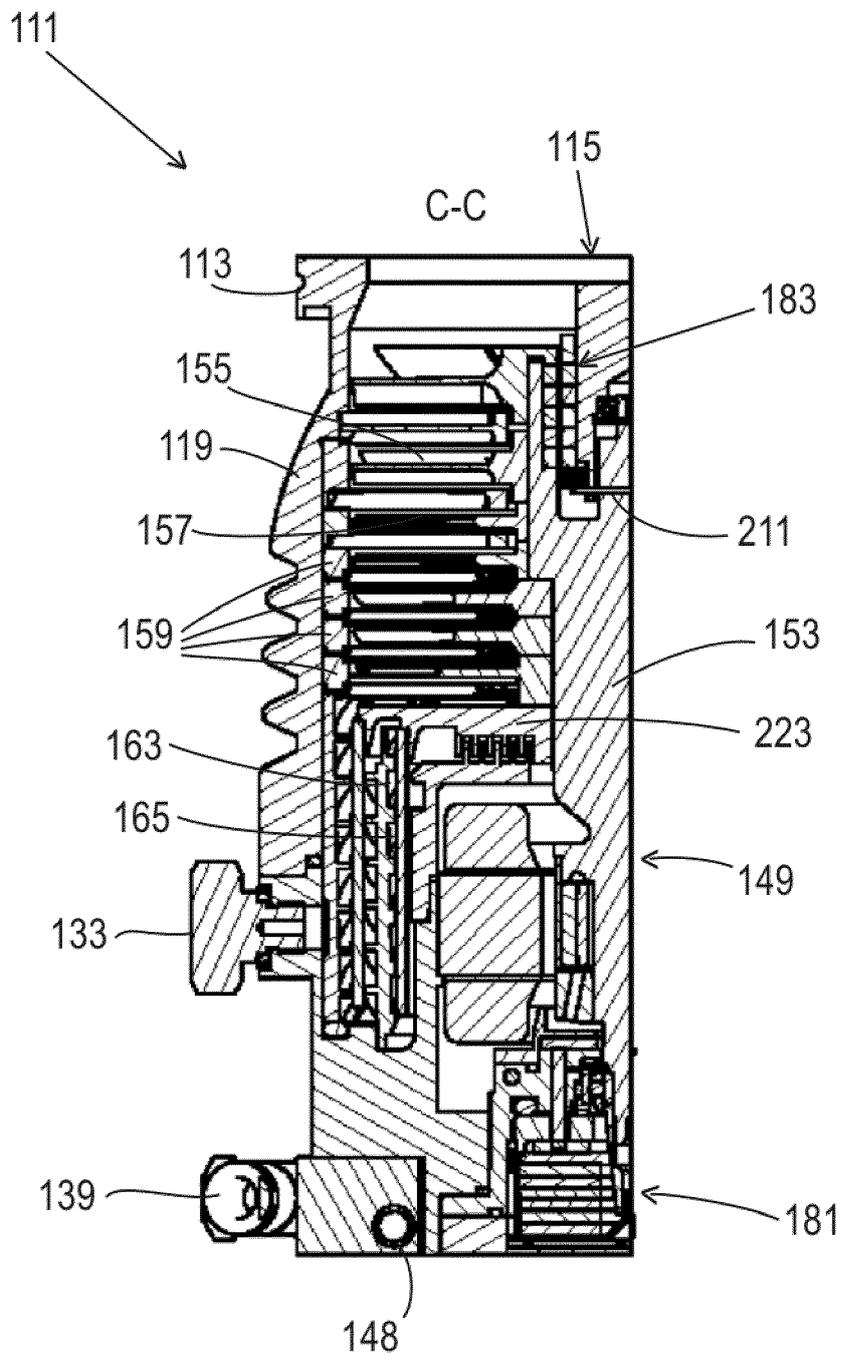


Fig. 5

Stand der Technik

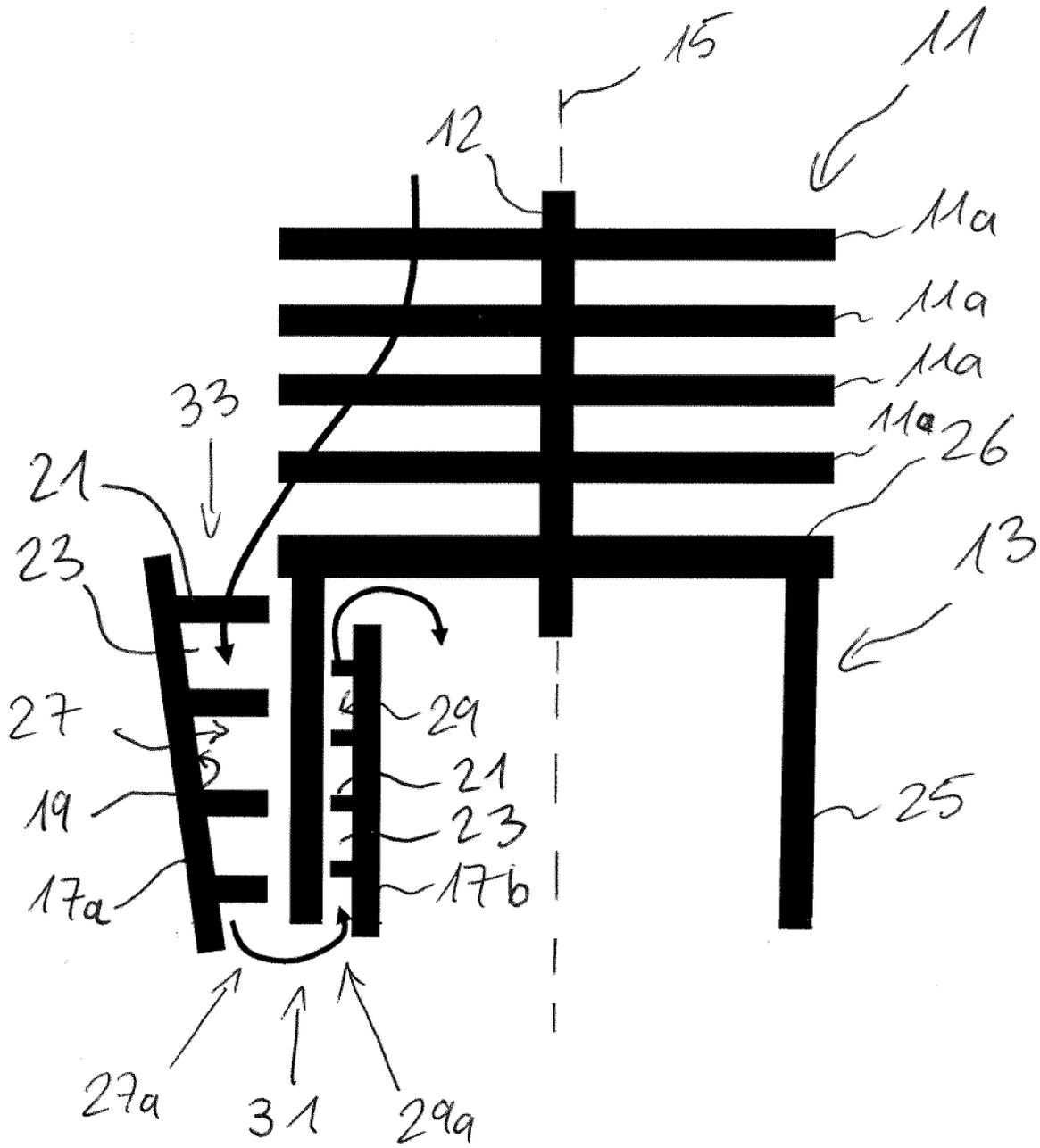


Fig. 6

Stand der Technik

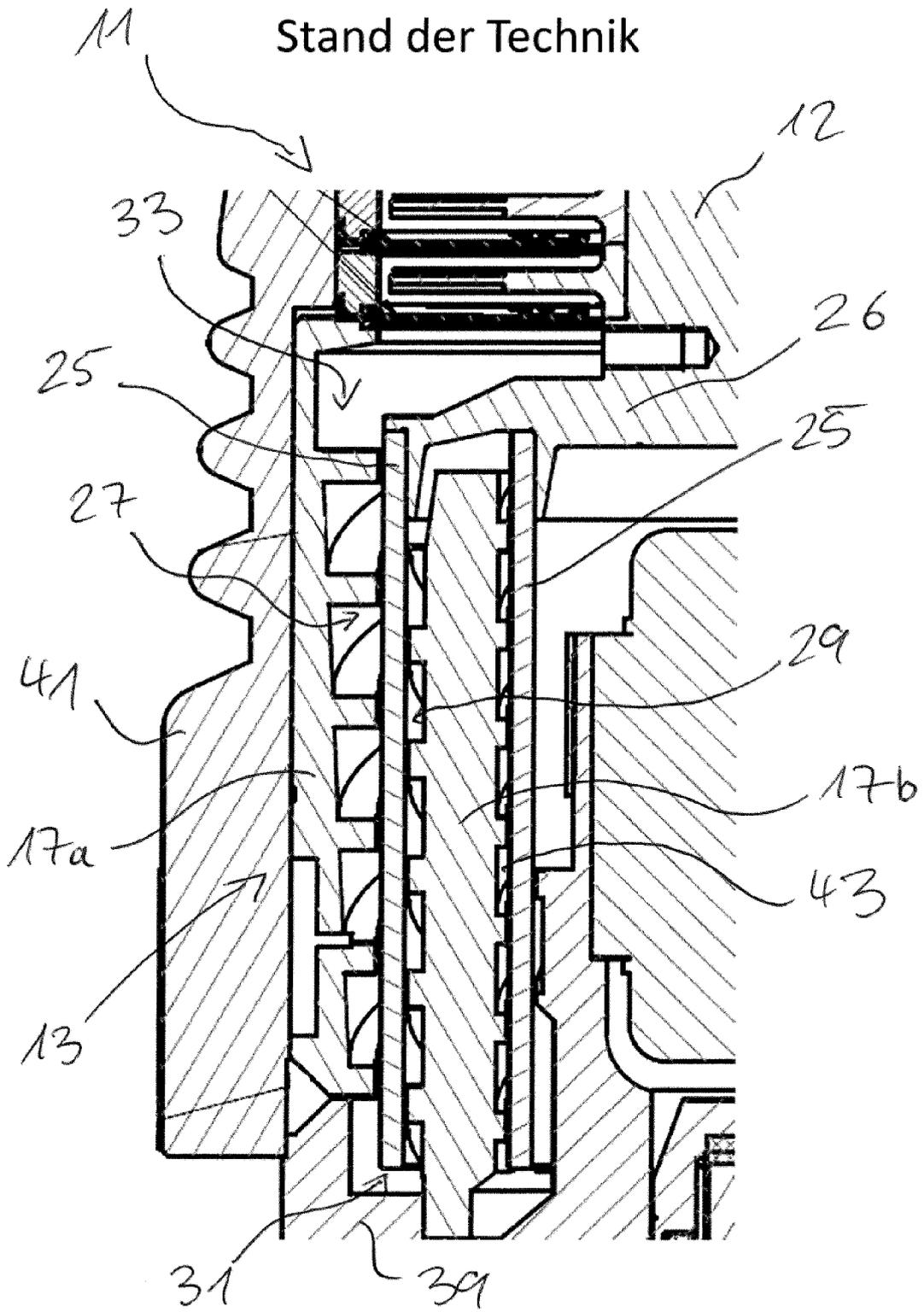


Fig. 7

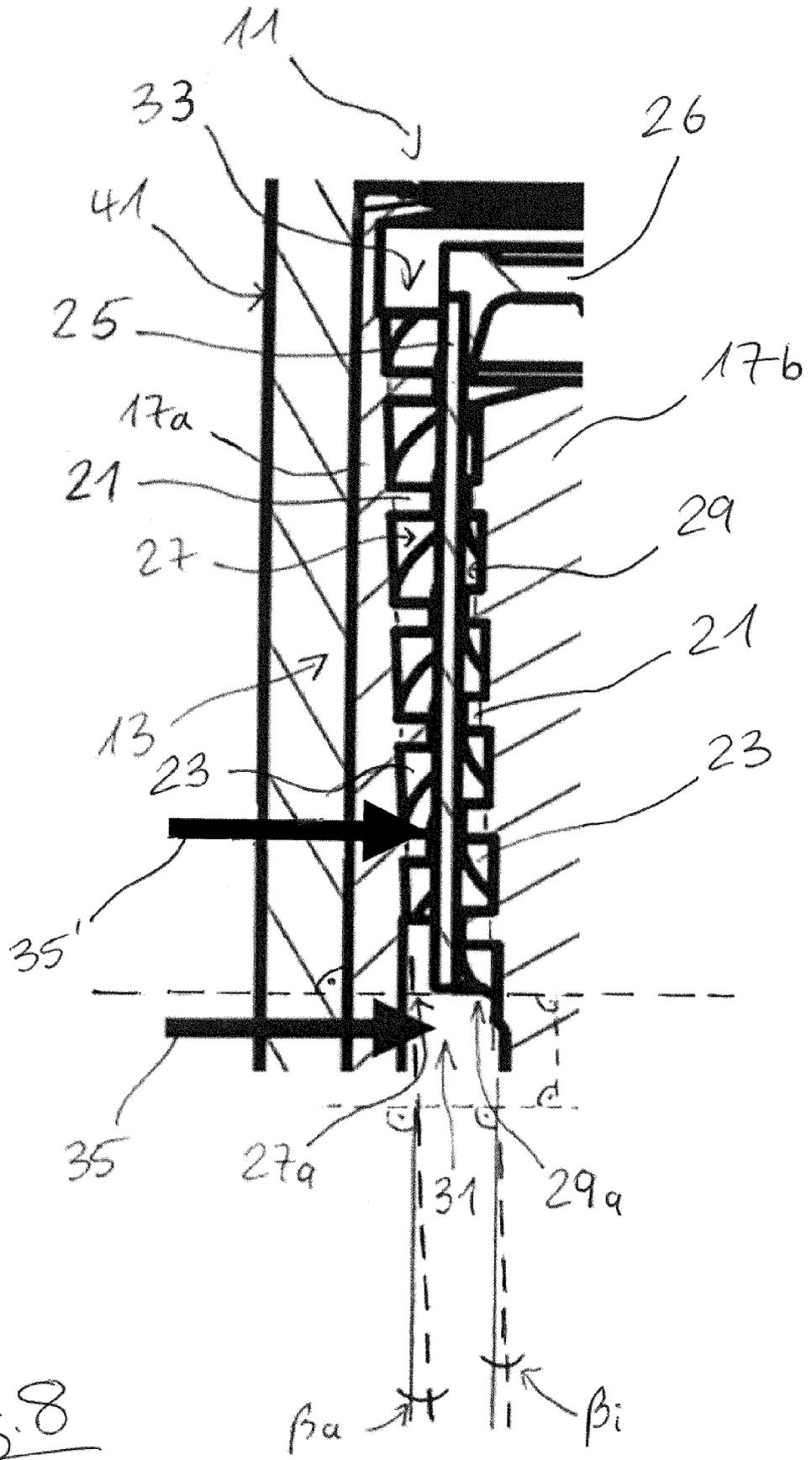


Fig. 8

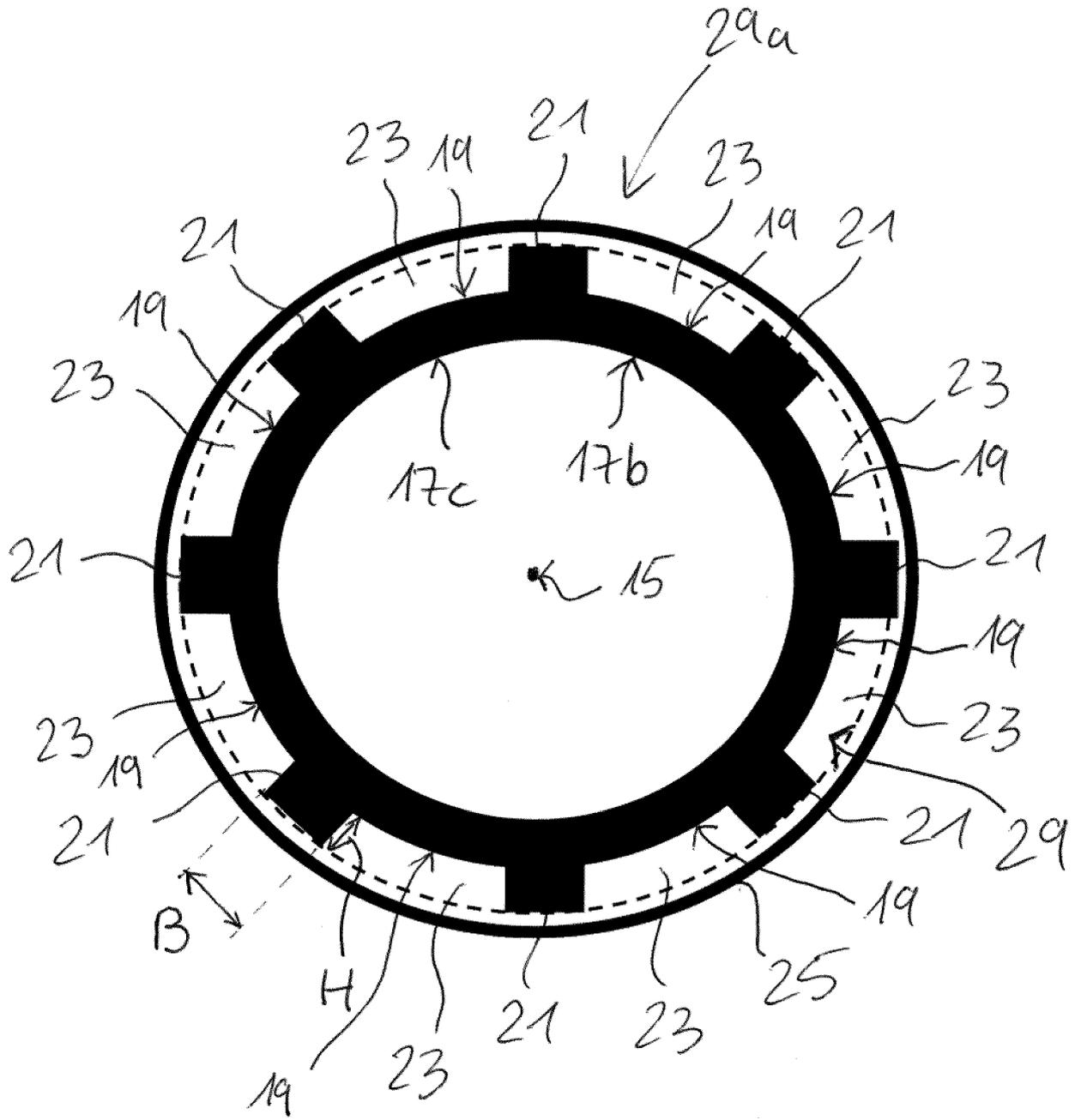


Fig 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 16 2769

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 933 497 A2 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 21. Oktober 2015 (2015-10-21) * Absatz [0053] - Absatz [0059] * * Abbildungen 1, 5 *	1-7, 10-14	INV. F04D19/04 F04D29/52
X	EP 3 657 021 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 27. Mai 2020 (2020-05-27) * Absatz [0072] - Absatz [0074] * * Abbildung 6 *	1,2,6-14	
A	EP 2 671 060 B1 (OERLIKON LEYBOLD VACUUM GMBH [DE]) 19. August 2015 (2015-08-19) * Absatz [0021] - Absatz [0035] * * Abbildungen 1,2 *	1,11,14	
A	EP 4 194 700 A1 (PFEIFFER VACUUM TECH AG [DE]) 14. Juni 2023 (2023-06-14) * Absatz [0064] * * Abbildung 10 *	1,11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 8. August 2024	Prüfer Lovergine, A
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	

1
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 24 16 2769

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.

08-08-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 2933497 A2	21-10-2015	DE 102014105582 A1 EP 2933497 A2 JP 6185957 B2 JP 2015206362 A	22-10-2015 21-10-2015 23-08-2017 19-11-2015
20	EP 3657021 A1	27-05-2020	EP 3657021 A1 JP 6913147 B2 JP 2020094582 A	27-05-2020 04-08-2021 18-06-2020
25	EP 2671060 B1	19-08-2015	CN 103380358 A EP 2671060 A1 JP 5948349 B2 JP 2014504735 A WO 2012104387 A1	30-10-2013 11-12-2013 06-07-2016 24-02-2014 09-08-2012
30	EP 4194700 A1	14-06-2023	KEINE	
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 3845764 A2 [0004]
- EP 2933497 A2 [0004]
- EP 3657021 A1 [0004]