



(11)

EP 4 553 321 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.05.2025 Patentblatt 2025/20

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

(21) Anmeldenummer: **25164818.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 19/042; F04D 19/044; F04D 19/046

(22) Anmeldetag: **19.03.2025**

(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

(72) Erfinder:

- **HOFMANN, Jan**
35305 Grünberg (DE)
- **BADER, Florian**
35625 Hüttenberg-Rechtenbach (DE)
- **BIRKENFELD, Maximilian**
35649 Bischoffen (DE)

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

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

(54) **VAKUUMPUMPE MIT HOHER LEISTUNGS- UND PACKUNGSDICHTE**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Rotor mit einer Rotorwelle und eine mit der Rotorwelle verbundenen Rotornabe umfasst. Die Rotornabe trägt zumindest zwei zueinander konzentrische Holweck-Rotorhülsen. Ferner bildet die Rotornabe radial innerhalb der zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege

aus, die ausgebildet sind, um mit mehreren stationären Ringstegen zur Bildung einer Labyrinthdichtung verschachtelt zu sein. Des Weiteren weist die Rotornabe zumindest einen Wuchtbereich auf, in dem Material von der Rotornabe mittels Laserablation entfernt ist. Zudem weist die Rotornabe eine Vielzahl von Pumpschaufeln auf, die entlang des Außenumfangs der Rotornabe gleichmäßig voneinander beabstandet sind.

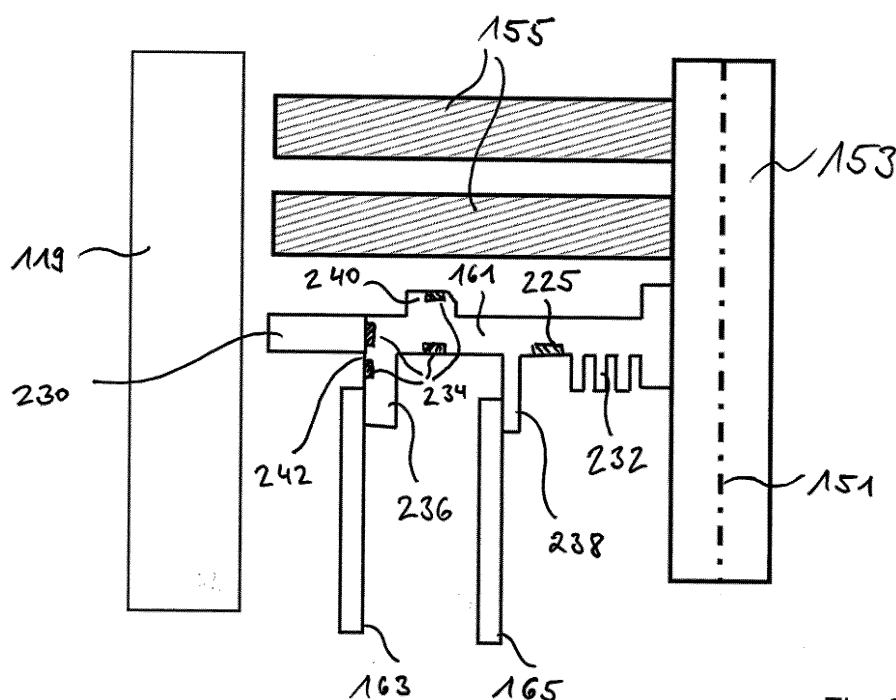


Fig. 6

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularvakuumpumpe, mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Rotor mit einer Rotorwelle und eine mit der Rotorwelle verbundene Rotornabe umfasst.

[0002] Derartige Vakuumpumpen finden in vielen Bereichen der Industrie sowie in der Forschung Anwendung. Aufgrund beengter Platzverhältnisse ist es dabei häufig wünschenswert, dass möglichst kleinbauende Vakuumpumpen zum Einsatz kommen, die trotz ihrer geringen Baugröße ein Mindestmaß hinsichtlich ihrer Pumpleistung nicht unterschreiten.

[0003] Zwar weisen Turbomolekularvakuumpumpen mit integrierter Holweck-Pumpstufe gerade aufgrund der Integration der Holweck-Pumpstufe bereits eine hohe Packungs- und Leistungsdichte auf; nichtsdestotrotz besteht fortwährend ein Bedarf danach, die Baugröße von Turbomolekularvakuumpumpen weiter zu reduzieren, ohne dass dies zu Einbußen bei der Pumpleistung führt, was einer Erhöhung der Leistungs- und Packungsdichte gleichkommt.

[0004] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine Vakuumpumpe und insbesondere eine Turbomolekularvakuumpumpe anzugeben, die dem zuvor geschilderten Bedarf gerecht wird.

[0005] Diese Aufgabe wird mit einer Vakuumpumpe gelöst, insbesondere mit einer Turbomolekularvakuumpumpe, die sich durch die Merkmale des Anspruchs 1 und insbesondere dadurch auszeichnet, dass entlang des Außenumfangs der Rotornabe mehrere gleichmäßig voneinander beabstandete Pumpschaufeln vorgesehen sind.

[0006] Die in Rede stehenden Pumpschaufeln arbeiten dabei gewissermaßen nach dem Funktionsprinzip einer Turbomolekularvakuumpumpe und können somit auch als Turbo-Schaufeln bezeichnet werden.

[0007] Obwohl die in Rede stehenden Pumpschaufeln Bestandteil der Rotornabe der Holweck-Pumpstufe sind und vorzugsweise einstückig mit der Rotornabe ausgebildet sind, befinden sich diese in Pumprichtung betrachtet stromabwärts der turbomolekularen Pumpstufen der Pumpe und stromaufwärts des Holweck-Pumpmechanismus der Holweck-Pumpstufe.

[0008] Die erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe umfasst also gewissermaßen zusätzlich zu der ohnehin bereits vorhandenen Turbomolekular-Pumpstufe sowie der Holweck-Pumpstufe eine zusätzliche Turbomolekular-Pumpstufe in Form der entlang des Außenumfangs der Rotornabe vorgesehenen Turbo-Schaufeln. Durch diese zusätzliche Pumpstufe wird die Packungsdichte der Pumpe erhöht, da durch die zusätzliche Pumpstufe ein ohnehin im Inneren der Turbomolekularvakuumpumpe zur Verfügung stehendes Bauraumvolumen belegt bzw. eingenommen wird. Da sich durch die zusätzliche Pumpstufe somit die Baugröße der Turbomolekularvakuumpumpe nicht verändert, insbeson-

dere nicht vergrößert, wird durch die zusätzliche Pumpstufe in Form der in Rede stehenden Turbo-Schaufeln auch die Leistungsdichte der Pumpe in der gewünschten Weise erhöht.

[0009] Die Rotornabe der erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe erfüllt somit neben ihrer eigentlichen Aufgabe als Träger für die Holweck-Rotorhülsen auch die Aufgabe eines Trägers für die Turbo-Schaufeln. Davon abgesehen weist die Rotornabe mehrere Dichtungs- bzw. Ringstege auf, die in Verbindung mit mehreren stationären Dichtungs- bzw. Ringstegen eine Labyrinthdichtung zur Abdichtung des Motorbereichs der Pumpe vom Vakuumbereich derselben bilden. Letztendlich dient die Rotornabe auch als Wuchtkörper zur Beseitigung von unerwünschten Unwuchten.

[0010] Die erfindungsgemäße Rotornabe vereint somit eine Vielzahl unterschiedlichster Funktionalitäten in ein und demselben Bauteil auf engstem Raum, sodass zur Realisierung der in Rede stehenden Funktionen keine zusätzlichen Volumenbereiche im Inneren der Turbomolekularvakuumpumpe belegt werden, was sich andernfalls negativ auf die Baugröße und damit auf die Leistungsdichte der Pumpe auswirken würde.

[0011] Im Folgenden wird nun auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung eingegangen. Weitere Ausführungsformen können sich auch aus den abhängigen Ansprüchen, der Figurenbeschreibung sowie den Zeichnungen ergeben.

[0012] So kann es gemäß einer Ausführungsform vorgesehen sein, dass sich der Wuchtbereich am Außenumfang der Rotornabe befindet, und zwar vorzugsweise zwischen zwei in Umfangsrichtung zueinander benachbarten Pumpschaufeln.

[0013] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass die entlang des Außenumfangs der Rotornabe vorgesehenen Pumpschaufeln in Umfangsrichtung überschneidungsfrei voneinander beabstandet sind. In diesem Falle kann sich der zumindest eine Wuchtbereich in dem überschneidungsfreien Bereich zwischen zwei benachbarten Pumpschaufeln befinden.

[0014] Zusätzlich oder alternativ zu den zuvor beschriebenen Ausführungsformen, bei denen sich der Wuchtbereich am Außenumfang der Rotornabe befindet, kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass sich ein Wuchtbereich in radialer Richtung zwischen den zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen an der Rotornabe befindet.

[0015] Gemäß noch einer weiteren Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass die Rotornabe für jede Holweck-Rotorhülse einen ringförmigen Haltesteg ausgebildet, von denen ein jeder eine der vorhandenen Holweck-Rotorhülsen trägt, wobei zumindest der radial äußerste Haltesteg oder der einzige Haltesteg, falls nur eine Holweck-Rotorhülse vorhanden ist, eine radial äußere freiliegende Ringfläche aufweist. Zusätzlich oder Alternativ zu den zuvor beschriebenen Ausführungsformen, bei denen sich der Wuchtbereich am Außenumfang des

Rotors oder in radialer Richtung zwischen den zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen befindet, kann es dabei gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass sich der zumindest eine Wuchtbereich an der radial äußeren freiliegenden Ringfläche des radial äußersten Haltestegs bzw. des einzigen Haltestegs befindet.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass die Rotornabe zumindest einen zu der zumindest einen Holweck-Rotorhülse konzentrischen Wuchtring ausbildet, an der der zumindest eine Wuchtbereich vorgesehen ist. Insbesondere kann es dabei vorgesehen sein, dass der Wuchtring in radialer Richtung zwischen den zwei Holweck-Rotorhülsen gelegen ist, und zwar insbesondere auf der den Holweck-Rotorhülsen gegenüberliegenden Seite der Rotornabe.

[0017] Da sich bei Vakuumpumpen und insbesondere bei Turbomolekularvakuum-pumpen der Rotor mit hoher Drehzahl dreht, ist der Zustand des Rotors von besonderer Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Pumpe. Dabei ist es von großer Bedeutung, deren Betrieb zuverlässig überwachen zu können, beispielsweise um Lastzustände zu erfassen und/oder sich anbahnende Funktionsstörungen frühzeitig erkennen zu können.

[0018] Um daher einen Betriebsparameter des Rotors auf einfache Weise zuverlässig erfassen zu können, unter anderem um Rückschlüsse auf den Betriebszustand der Pumpe ziehen zu können, kann es daher gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Vakuumpumpe ferner zumindest einen oberflächenbehandelten Abschnitt an der Rotornabe und zumindest eine Sensoreinrichtung aufweist, mit der eine Temperatur des zumindest einen oberflächenbehandelt Abschnitts der Rotornabe durch Messung der von dem Abschnitt abgegebenen Wärmestrahlung berührungslos bestimmbar ist.

[0019] Mit dem oberflächenbehandelten Abschnitt weist die Rotornabe eine weitere Funktionalität auf, da über den oberflächenbehandelt Abschnitt die Temperatur der Rotornabe bestimmt werden kann, was Rückschlüsse auf den Betriebszustand der Pumpe zulässt, wodurch sich beispielsweise drohende Funktionsstörungen frühzeitig erkennen lassen.

[0020] Den oberflächenbehandelten Abschnitt an der Rotornabe vorzusehen, erweist sich dabei vor allem deshalb als vorteilhaft, da etwaige Unwuchten, die mit dem oberflächenbehandelten Abschnitt einhergehen, durch den zumindest einen Wuchtbereich, wie er zuvor beschrieben wurde, kompensiert werden können. Insbesondere dann, wenn der oberflächenbehandelten Abschnitt durch einen Laserstrukturierungsprozess erzeugt wird, kann unmittelbar anschließend nach der Erzeugung des oberflächenbehandelten Abschnitts mit demselben Laser, mit dem der oberflächenbehandelten Abschnitt erzeugt wurde, Material von der Rotornabe in dem Wuchtbereich entfernt werden, um so die durch den oberflächenbehandelten Abschnitt einhergehende Unwucht zu kompensieren.

[0021] Das Material, aus dem Rotoren, deren Be-

schichtung und/oder Bauteile, die mit dem Rotor verbunden sind, üblicherweise bestehen, weist in der Regel einen geringen Emissionsgrad im Spektralbereich von Wärmestrahlung auf. Als Emissionsgrad ist in diesem Zusammenhang das Verhältnis der Strahlung, die der Rotor abgibt, zu der, die ein idealer Wärmestrahler (schwarzer Körper) abgeben würde, zu verstehen. Der Emissionsgrad eines idealen Wärmestrahlens beträgt 1.

[0022] Die Temperaturbestimmung eines Körpers mit einem geringen Emissionsgrad mittels Messung der abgegebenen Wärmestrahlung ist jedoch vergleichsweise unzuverlässig.

[0023] Um die Zuverlässigkeit einer berührungslosen Temperaturmessung über eine Messung der Wärmestrahlung zu verbessern, kann es sich daher als vorteilhaft erweisen, wenn der Emissionsgrad zumindest eines Abschnitts der Rotornabe erhöht wird. Diese lokale Emissionsgraderhöhung erfolgt durch eine geeignete Oberflächenbehandlung. Die von dem oberflächenbehandelten Abschnitt ausgesandte Wärmestrahlung ist auch deshalb einfacher und zuverlässiger messbar, weil die Menge der ausgesandten Strahlung oder Strahlungsdichte deutlich größer ist als bei einem nicht behandelten Oberflächenabschnitt. Dies wiederum ermöglicht die Verwendung einfacher Sensoren, falls Kostenaspekte im Vordergrund stehen. Umgekehrt wird die Temperaturmessung bei der Verwendung herkömmlicher Sensoren deutlich genauer und ist besser reproduzierbar.

[0024] Um die durch die Oberflächenbehandlung des Abschnitts erzeugte Unwucht der Rotornabe zu minimieren, kann es vorgesehen sein, dass dieser sich in Umfangsrichtung der Rotornabe im Wesentlichen hinsichtlich seiner Eigenschaften gleichmäßig um die Drehachse des Roboters erstreckt oder dass mehrere Abschnitte mit vergleichbaren Eigenschaften in Umfangsrichtung gleichmäßig verteilt angeordnet sind.

[0025] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Sensoreinrichtung einen Infrarotsensor.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Abschnitt der Rotornabe aufgeraut oder strukturiert, um dadurch den Emissionsgrad des Abschnitts zu erhöhen. Ein möglicher Mechanismus, der für die verbesserten Emissionseigenschaften verantwortlich sein könnte, ist eine verstärkte diffuse Reflexion im elektromagnetischen Infrarotbereich, insbesondere im nahen bis mittleren Infrarotbereich, beispielsweise in Wellenlängenbereichen von etwa 8 bis 15 μm . Bevorzugt ist der Abschnitt der Rotornabe derart aufgeraut oder strukturiert, dass er eine mittlere Rauheit R_a von 5 bis 25 μm und/oder eine gemittelte Rautiefe R_z von 40 bis 100 μm aufweist und/oder dass der Abschnitt Oberflächenstrukturen im Bereich 15 bis 50 μm aufweist.

[0027] Als vorteilhaft kann es sich erweisen, wenn der oberflächenbehandelte Abschnitt im Wesentlichen aus einem Material der Rotornabe im Bereich des Abschnitts besteht. Die behandelte Fläche behält dann im Wesentlichen die chemische und/oder mechanische Stabilität des Ausgangswerkstoffs, z.B. Aluminium. Bei speziellen

Anwendungen der Pumpe, insbesondere bei Anwendungen in korrosiven Umgebungen, wird die Rotornabe beschichtet, beispielsweise mit Nickel. Aus Kostengründen wird die Beschichtung großflächig aufgebracht, sodass auch Bereiche der Rotornabe beschichtet sind, die zur Temperaturbestimmung dienen. Diese Beschichtung ist in diesem Fall als Teil des Materials der Rotornabe zu verstehen.

[0028] Da der Emissionsgrad solch einer Beschichtung in der Regel niedrig ist, erweist sich eine geeignete Oberflächenbehandlung zur Erhöhung des Emissionsgrads als effizient. Die schützende Wirkung der Beschichtung wird durch die Oberflächenbehandlung nicht wesentlich beeinträchtigt, wenn ein entsprechendes Behandlungsverfahren zum Einsatz gelangt.

[0029] Die Aufrauhung oder Strukturierung des Abschnitts kann ein regelmäßiges Muster umfassen, beispielsweise eine Schraffur. Bevorzugt ist jedoch eine gleichmäßige Aufrauhung oder Strukturierung.

[0030] Es ist aber auch möglich, dass der genannte Abschnitt der Rotornabe eine Beschichtung aufweist, d. h. die Oberflächenbehandlung umfasst eine Beschichtung des Abschnitts (ggf. zusätzlich zu einer Beschichtung des Rotors, die vor der Oberflächenbehandlung des Abschnitts aufgebracht wurde, wie etwa die vorstehend beispielhaft beschriebene Nickelbeschichtung). Grundsätzlich ist denkbar, dass hierfür eine dunkle Farbe oder andere geeignete Substanzen (z.B. schwarzer Nickel, Oxidschichten wie etwa Kepla oder Eloxat) auf den Abschnitt aufgebracht werden, um den Emissionsgrad hier lokal zu erhöhen. Die Beschichtung kann aber auch zusätzlich zu einer Aufrauhung und/oder Strukturierung des Abschnitts vorgesehen sein, z.B. um diesen zu schützen.

[0031] Der oberflächenbehandelte Abschnitt kann eine Ringfläche bilden. Dadurch ist es möglich, bei einer Drehung der Rotornabe kontinuierlich deren Temperatur zu erfassen. Der oberflächenbehandelte Abschnitt kann zumindest abschnittsweise gekrümmt und/oder eben ausgestaltet sein, insbesondere ist er kontinuierlich gekrümmt oder im Wesentlichen vollständig eben.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erstreckt sich der oberflächenbehandelte Abschnitt in einer Ebene, die im Wesentlichen senkrecht zu einer Drehachse des Rotors angeordnet ist.

[0033] Nachfolgend wird auf weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten gemäß vier Aspekten der Vakuumpumpe gemäß eingegangen. Die nachfolgend erläuterten Ausgestaltungsmöglichkeiten, die auch als Variationen bezeichnet werden, beziehen sich insbesondere auf spezielle Ausgestaltungen Holweck-Pumpstufe der Vakuumpumpe.

[0034] Gemäß einem ersten Aspekt betrifft eine Variation 1 eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularkompumpe, 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

zwei an der Nabe vorgesehene Holweck-Rotorhülsen umfasst, welche die Rotorwelle konzentrisch umgeben, wobei eine radial innere Holweck-Rotorhülse einen ersten Durchmesser und eine radial äußere Holweck-Rotorhülse einen zweiten Durchmesser aufweist; und wobei der Holweck-Stator zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen eine zu diesen konzentrische 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; und wobei der zweite Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse mindestens 30% größer ist als der erste Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse.

[0035] Variation 2 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 1,

wobei der zweite Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse mindestens 35% größer ist als der erste Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse.

[0036] Variation 3 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 1 oder 2,

wobei die Holweck-Statorhülse im Wesentlichen über ihre gesamte Axialerstreckung zwischen dem festen Ende und dem freien Ende eine Kern-Wandungsstärke aufweist, die größer als 5 mm ist, vorzugsweise größer als 6 mm und besonders bevorzugt größer als 7 mm.

[0037] Eine Variation 4 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 3, wobei am freien Ende der Holweck-Statorhülse zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege ausgebildet sind und an der Nabe ebenfalls zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege ausgebildet sind, die mit den Ringstegen des freien Endes der Holweck-Statorhülse verschachtelt sind.

[0038] Variation 5 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 4,

wobei die Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende von mehreren in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandeten Gasströmungsbohrungen in radialer Richtung durchsetzt ist.

[0039] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft eine Variation 6 eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularkompumpe, 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 eine sich von der Nabe axial erstreckende radial äußere Holweck-Rotorhülse und eine sich von der Nabe axial erstreckende radial innere Holweck-Rotorhülse umfasst, die durch einen Ringraum von der radial äußeren Holweck-Rotorhülse beabstandet ist;

wobei der Holweck-Stator eine zu den beiden Holweck-Rotorhülsen koaxial ausgerichtete 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 zylindrische Außenoberfläche zwischen dem festen Ende und dem freien Ende mit einem daran ausgebildeten Außengewinde aufweist; wobei die radial innere Holweck-Rotorhülse eine Axialerstreckung aufweist, die 30% bis 70 %, vorzugsweise 40% bis 60%, insbesondere 45% bis 55%, der Axialerstreckung der radial äußeren Holweck-Rotorhülse beträgt.

[0040] Variation 7 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 6, wobei die Holweck-Statorhülse einen an dem stationären Gehäuseabschnitt angebrachten Basisringabschnitt und einen Kragringabschnitt aufweist, der sich ausgehend von einer der Nabe zugewandten Stirnfläche des Basisringabschnitts in axialer Richtung zu dem freien Ende der Holweck-Statorhülse in dem Ringraum zwischen der inneren Holweck-Rotorhülse und der äußeren Holweck-Rotorhülse erstreckt.

[0041] Variation 8 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 7, wobei sich der Basisringabschnitt ausgehend von dem Außengewinde in radialer Richtung nach innen bis über die innere Holweck-Rotorhülse erstreckt.

[0042] Variation 9 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 7 oder 8, wobei der Kragringabschnitt und der Basisringabschnitt denselben Außendurchmesser aufweisen, wobei das Außengewinde der Holweck-Statorhülse sowohl an der Außenoberfläche des Basisringabschnitts als auch des Kragringabschnitts ausgebildet ist.

[0043] Variation 10 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 7 bis 9, wobei der Kragringabschnitt eine zylindrische Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde aufweist, wobei es vorzugsweise vorgesehen ist, dass die Anzahl der Gewindegänge des Innengewindes der Anzahl der Gewindegänge des Außengewindes entspricht.

[0044] Variation 11 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 7 bis 10, wobei der Basisringabschnitt eine ringförmige Innenoberfläche ausbildet, an der ein Motorstator eines die Rotorwelle antreibenden Elektromotors vorgesehen ist.

[0045] Variation 12 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 7 bis 11, wobei der Basisringabschnitt in axialer Richtung von mehreren Gasströmungsbohrungen durchsetzt ist, wobei es vorzugsweise vorgesehen ist, dass:

- (i) sich die Gasströmungsbohrungen auch radial und/oder in Umfangsrichtung erstrecken; und/oder
- (ii) die Gasströmungsbohrungen in axialer Richtung der Holweck-Statorhülse betrachtet jeweils einen Langlochquerschnitt aufweisen; und/oder

(iii) die Anzahl der Gasströmungsbohrungen der Anzahl der Gewindegänge des Innengewindes des Kragringabschnitts entspricht.

[0046] Variation 13 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 12, wobei in dem stationären Gehäuseabschnitt zumindest zwei zueinander konzentrische und sich axial erstreckende Ringnuten ausgebildet sind, wobei sich zumindest zwei zueinander konzentrische Ringnuten radial außerhalb der Holweck-Statorhülse befinden und/oder wobei sich zumindest zwei zueinander konzentrische Ringnuten radial innerhalb der Holweck-Statorhülse befinden.

[0047] Gemäß einem dritten Aspekt betrifft eine Variation 14 eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe, mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator mit einer Holweck-Statorhülse umfasst, die 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 aus mehreren spiralförmig umlaufenden ersten Gewindestegen und eine Außenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Außengewinde aus mehreren spiralförmig umlaufenden zweiten Gewindestegen aufweist, wobei die ersten Gewindestege am freien Ende der Holweck-Statorhülse erste Stirnflächen ausbilden und die zweiten Gewindestege am freien Ende der Holweck-Statorhülse zweite Stirnflächen ausbilden, wobei:

(i) die zweiten Stirnflächen gegenüber den ersten Stirnflächen in Umfangsrichtung einen Versatz d vorbestimmter Größe aufweisen, wobei $d > 0$ gilt; und/oder

(ii) die ersten Stirnflächen und/oder die die zweiten Stirnflächen mit einer Ebene, in das freie Ende der Holweck-Statorhülse liegt, einen spitzen Winkel einschließen, der insbesondere zwischen 10° und 40° liegt, vorzugsweise zwischen 20° und 30° ; und/oder

(iii) die Holweck-Statorhülse eine Wandungsdicke aufweist, die zum freien Ende der Holweck-Statorhülse hin abnimmt.

[0048] Variation 15 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 14, wobei für den Versatz d gilt: $d = t / \tan \alpha$, wobei t die radiale Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse und α der Steigungswinkel des Außengewindes ist.

[0049] Variation 16 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 14 oder 15, wobei die Anzahl der ersten Gewindestege gleich groß ist wie die Anzahl der zweiten Gewindestege.

[0050] Variation 17 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 16, wobei am freien Ende der Holweck-Statorhülse in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandete Strömungskonturen in gleicher Anzahl wie die ersten

und zweiten Gewindestege ausgebildet sind, wobei eine jede Strömungskontur einen definierten Gasströmungsweg zwischen einer Gewindenut des Innengewindes und einer Gewindenut des Außengewindes definiert.

[0051] Variation 18 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 17,

wobei die Strömungskonturen Leitschaufeln umfassen, die sich zwischen den ersten Stirnflächen der ersten Gewindestege und den zweiten Stirnflächen der zweiten Gewindestege erstrecken, wobei die Leitschaufeln vorzugsweise eine konkave oder eine konvexe Krümmung aufweisen.

[0052] Variation 19 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 14 bis 18, wobei die Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse nur über einen Bereich hinweg abnimmt, der durch die beiden ersten dem freien Ende der Holweck-Statorhülse am nächsten liegenden Windungen des Innengewindes und/oder des Außengewindes definiert ist, vorzugsweise nur durch die erste Windung des Innengewindes und/oder des Außengewindes.

[0053] Variation 20 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 19,

wobei die Wandungsdicke zum freien Ende der Holweck-Statorhülse aufgrund einer innen- und/oder außenseitigen Anfasung der Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende hin abnimmt, wobei es vorzugsweise vorgesehen ist, dass die Anfasung eine lineare, konvexe, runde oder parabelförmige Kontur aufweist.

[0054] Gemäß einem vierten Aspekt betrifft eine Variation 21 eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe, 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 zwei an der Nabe vorgesehene Holweck-Rotorhülsen umfasst, welche die Rotorwelle konzentrisch umgeben; und

wobei der Holweck-Stator zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen eine zu diesen konzentrische 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;

wobei an der Nabe des Holweck-Rotors zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen ein im Querschnitt konkaves Strömungsprofil vorgesehen ist, welches die Rotorwelle konzentrisch umgibt.

[0055] Variation 22 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 21,

wobei das Strömungsprofil ein separat von der Nabe

handhabbares Teil ist, das an der Nabe angebracht ist.

[0056] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe,

10 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,

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

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

25 Fig. 6 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung am Außenumfang der Rotornabe vorgesehenen Pumpschaufeln in rein schematischer Darstellung,

30 Fig. 7 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 mit einer beispielhaften Anordnung des oberflächenbehandelten Bereichs bzw. entsprechender Sensoreinrichtungen,

35 Fig. 8 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe,

40 Fig. 9 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung einer anderen erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe,

45 Fig. 10 eine Draufsicht auf das freie Ende einer erfindungsgemäß ausgebildeten Holweck-Statorhülse mit einem in Umfangsrichtung vorgesehenen Versatz zwischen Innengewinde und Außengewinde,

50 Fig. 11 eine schematische Innenansicht auf eine Abwicklung einer erfindungsgemäß ausgebildeten Holweck-Statorhülse, und

55 Fig. 12 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe im Bereich des freien Endes der Holweck-Statorhülse und der angrenzenden Rotornabe.

[0057] 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.

[0058] 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.

[0059] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0060] 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 Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0061] 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 da-

bei beliebige Winkel möglich.

[0062] Andere existierende Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0066] 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.

[0067] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0068] 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.

[0069] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt) kann anstelle einer Spritzmutter eine Spritzschraube vorgesehen sein. Da somit unterschiedliche Ausführungen möglich sind, wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff "Spritzspitze" verwendet.

[0076] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0077] 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 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.

[0078] 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.

[0079] 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.

[0080] 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.

[0081] 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.

[0082] 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.

[0083] Die Fig. 6 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung der am Außenumfang der Rotornabe 161 vorgesehenen Pumpschaufeln 230. Konkret ist in der Fig. 6 die Rotorwelle 153 des Rotors erkennbar, die die Rotornabe 161 trägt, an der ihrerseits wiederum die beiden zueinander konzentrischen Holweck-Rotorhülsen 163, 165 befestigt sind, welche vorzugsweise aus einem CFK-Werkstoff gefertigt sein können. Die Holweck-Statorhülsen 167, 169 sind hier der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Radial innerhalb der beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 sind an der Rotornabe 161 mehrere zueinander konzentrische Ringstege 232 ausgebildet, die mit mehreren stationären Ringstegen (hier nicht dargestellt) in Eingriff stehen, um die bereits zuvor erwähnte Labyrinthdichtung 223 zu bilden.

[0084] Erfindungsgemäß weist die Rotornabe 161 entlang ihres Außenumfangs mehrere Pumpschaufeln 230 auf, welche in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandet sind. Zwischen diesen Pumpschaufeln 230 kann vom Außenumfang der Rotornabe 161 in einem Wuchtbereich 234 Material mittels Laserablation

entfernt sein, um so etwaige Unwuchten des Rotors ausgleichen zu können. Vorzugsweise können dabei die Pumpschaufeln 230 in Umfangsrichtung überschneidungsfrei voneinander beabstandet sein. Dies bietet die Möglichkeit, den Wuchtbereich 234 in dem überschneidungsfreien Bereich zwischen zwei benachbarten Pumpschaufeln zu lokalisieren und somit den Materialabtrag genau dort vorzunehmen, wo sich die Pumpschaufeln 230 in Umfangsrichtung nicht überlappen. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann sich der Wuchtbereich 234 auch zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 befinden.

[0085] Wie bereits erwähnt wurde, trägt die Rotornabe 161 die beiden zueinander konzentrischen Holweck-Rotorhülsen 163, 165. Konkret bildet hierzu die Rotornabe 161 zwei ringförmige Haltestege 236, 238 aus, von denen ein jeder eine Holweck-Rotorhülse 163, 165 trägt. Wie dabei der Fig. 6 gut entnommen werden kann, weist der radial äußerste Haltesteg 236 eine radial äußere freiliegende Ringfläche 242 auf, an der der Rotor bzw. die Rotornabe 161 gewuchtet werden kann, wie dies anhand des eingezeichneten Wuchtbereichs 234 erkennbar ist.

[0086] Bei der hier in der Fig. 6 dargestellten Ausführungsform ist es ferner vorgesehen, dass die Rotornabe 161 auf der den Holweck-Rotorhülsen 163, 165 gegenüberliegenden Seite der Rotornabe 161 einen zu den Holweck-Rotorhülsen 163, 165 konzentrischen Wuchtring 240 ausbildet, an der sich ein Wuchtbereich 234 befindet.

[0087] Auch die Fig. 7 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4. Er umfasst wie die Fig. 6 denselben Bereich in der Nähe der Labyrinthdichtung 223. Die Rotornabe 161 weist hier zu Temperaturmessungszwecken einen auch in der Fig. 6 erkennbaren Oberflächenabschnitt 225 auf, der eine Oberflächenbehandlung erfahren hat, um hier lokal eine Erhöhung des Emissionsgrads zu bewirken. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist er in radialer Richtung zwischen der Labyrinthdichtung 223 und der Holweck-Rotorhülse 165 angeordnet.

[0088] Der Oberflächenabschnitt 225 kann mit zumindest einem der vorstehenden beschriebenen Verfahren behandelt worden sein und/oder eine Beschichtung aufweisen. Die Beschichtung - falls vorgesehen - kann selbst eine Emissionsgrad erhöhende Wirkung haben und/oder eine Aufrauung oder Strukturierung des Abschnitts 225 schützen.

[0089] Durch eine Messung der von dem Abschnitt 225 abgegebenen Wärmestrahlung kann auf die Temperatur der Narbe 161 und damit auf die Temperatur des Rotors 149 geschlossen werden. Dabei ist es von Vorteil, wenn die genannten Komponenten thermisch gut leitend miteinander gekoppelt sind.

[0090] Die Messung der Wärmestrahlung erfolgte durch einen nur in der Fig. 7 erkennbaren Infrarotsensor 227, jedoch auch der an der kappenartigen Wandung 221 angeordnet ist. In der Fig. 6 wurde von einer Dar-

stellung des Infrarotsensors 227 abgesehen, obwohl dieser dort ebenfalls vorhanden ist.

[0091] Der Abschnitt 225 ist ein ebener ringförmiger Oberflächenbereich, der sich in einer Ebene erstreckt, die im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse 151 des Rotors 149 angeordnet ist. Bei einer Drehung des Roboters 149 empfängt der mit der Wandung 221 statisch angeordnete Sensor 227 ständig einen Teil der von dem Abschnitt 225 abgegebenen Wärmestrahlung, sodass eine kontinuierliche Temperaturmessung möglich ist. In einem thermischen Gleichgewichtszustand sollte das gemessene Signal nur geringe Schwankungen aufweisen.

[0092] Zur Erhöhung der Messgenauigkeit können mehrere, in Umfangsrichtung verteilt angeordnete Sensoren 227 vorgesehen sein. Alternativ oder zusätzlich kann der Abschnitt 225 separate Teilabschnitte umfassen, die insbesondere in Umfangsrichtung gleichmäßig verteilt sind, um die durch sie erzeugte Unwucht zu minimieren.

[0093] Der Abschnitt 225 ist in Pumprichtung stromabwärts der durch die Rotorscheiben 155 und Statorscheiben 157 gebildeten Pumpstufe angeordnet, um die Auswirkungen etwaiger Ausgasungen, die aufgrund der Oberflächenbehandlung auftreten könnten, zu minimieren.

[0094] Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 8 bis 12 auf weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten der Vakuumpumpe 111 und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung eingegangen. An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass die einzelnen unterschiedlichen Ausführungsformen gemäß den Fig. 8 bis 12 selbstverständlich nicht nur untereinander, sondern auch mit den Ausgestaltungsmöglichkeiten der Fig. 7 und 8 kombiniert werden können, sofern in technischer Hinsicht nichts gegen solch eine Kombination spricht.

[0095] Die Fig. 8 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 insbesondere zur Erläuterung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung, demzufolge die äußere Rotorhülse 163 einen deutlich größeren Durchmesser als die innere Rotorhülse 165 aufweist, was es erfindungsgemäß ermöglicht, eine deutlich dickere Holweck-Statorhülse 169 zwischen den beiden Rotorhülsen 163, 165 vorzusehen.

[0096] Konkret weist hier die radial äußere Holweck-Rotorhülse 163 einen Durchmesser auf, welcher mindestens 30%, vorzugsweise mindestens 35%, größer ist als der Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse 165. Dies ermöglicht es, in erfindungsgemäßer Art und Weise eine Holweck-Statorhülse 169 zwischen den beiden Rotorhülsen 163, 165 vorzusehen, welche eine deutlich größere Kern-Wandungsdicke aufweist, als dies bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen der Fall ist. So handelt es sich nämlich bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen bei der Statorhülse üblicherweise um verhältnismäßig filigran ausgebildete Bauteile, deren Kern-Wandungsdicke nicht viel größer ist als die Wandungs-

dicke der Rotorhülsen, siehe hierzu beispielsweise die Fig. 3 und 4. Dies hat zur Folge, dass aufgrund des Wärmewiderstands, der durch die filigrane Ausbildung der Statorhülsen einhergeht, sich am freien Ende der Holweck-Statorhülse aufstauende Wärme nicht oder nur schlecht in Richtung des Pumpenunterteils 121 abgeleitet werden kann.

[0097] Da erfindungsgemäß der Durchmesser der radial äußeren Rotorhülse 163 nun deutlich größer gewählt ist als der Durchmesser der radial inneren Rotorhülse 165, kann nun erfindungsgemäß zwischen den beiden Rotorhülsen 163, 165 eine Statorhülse 169 mit deutlich größerer Kern-Wandungsdicke zum Einsatz kommen, welche erfindungsgemäß größer als 5 mm, vorzugsweise größer als 6 mm und insbesondere bevorzugt größer als 7 mm ist. Die Kern-Wandungsdicke, welche hier der Einfachheit halber auch nur als Wandungsdicke bezeichnet wird, bemisst hierbei vom Nutgrund 302 des Außengewindes 304 zum Nutgrund 302 des Innengewindes 308 und stellt somit die Dicke der Statorhülse 169 abzüglich der Höhe der Gewindestege 306, 310 des Außengewindes 304 und des Innengewindes 308 dar. Aufgrund der deutlich dickeren Ausbildung der Statorhülse 169 weist diese einen geringeren Wärmewiderstand auf, so dass sich am freien Ende 322 der Statorhülse 169 kaum noch Wärme aufstaut, da diese kontinuierlich in Richtung des Gehäuseunterteils bzw. des stationären Gehäuseabschnitts 121 abgeleitet werden kann.

[0098] Um den Wärmehaushalt der Holweck-Pumpstufe weiter zu optimieren, sind bei der Ausführungsform der Fig. 8 am freien Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 mehrere zueinander konzentrische Ringstege 324 ausgebildet, welche mit entsprechenden Ringstegen 326 verschachtelt sind, welche sich axial von der Rotorhülse 161 erstrecken. Die miteinander verschachtelten Ringstege 324, 326 wirken dabei gewissermaßen als eine Art Wärmetauscher, über den Wärme von der Rotorhülse 161 auf die Statorhülse 169 und von dort in der zuvor erläuterten Art und Weise auf den stationären Gehäuseabschnitt 121 abgeleitet werden kann.

[0099] Damit das zu pumpende Prozessgas trotz der miteinander verschachtelten Ringstege 324, 326 vom Außengewinde 304 der Statorhülse 169 ins Innengewinde 308 der Statorhülse 169 gelangen kann, ist es bei der Ausführungsform der Fig. 8 ferner vorgesehen, dass die Statorhülse 169 nahe ihres freien Ende 322 von mehreren Gasströmungsbohrungen 328 in radialer Richtung durchsetzt ist, durch die das Prozessgas in der gewünschten Weise vom äußeren Holweck-Spalt bzw. vom Außengewinde 304 in den inneren Holweck-Spalt bzw. in das Innengewinde 308 strömen kann.

[0100] Zur weiteren Optimierung des Wärmehaushalts ist bei der Ausführungsform der Fig. 8 ferner vorgesehen, dass in dem Gehäuseunterteil 121 mehrere zueinander konzentrische Ringnuten 330 ausgebildet sind. Diese befinden sich bei der Ausführungsform der Fig. 8 im Unterteil 121 radial außerhalb der Holweck-Statorhülse 169, wobei es zusätzlich oder alternativ hierzu ferner

vorgesehen sein kann, dass sich entsprechende Ringnuten auch radial innerhalb der Holweck-Statorhülse 169 im Unterteil 121 und somit in Fortsetzung der inneren Rotorhülse 165 befinden. Diese Ringnuten 330 im Unterteil 121 wirken als Kühlrippen, die das darüber hinwegströmende Prozessgas in der gewünschten Weise abkühlen, so dass es gar nicht erst zu einer reibungsbedingten Erwärmung der Statorhülse 169 im Bereich des freien Endes 322 derselben kommen kann. Der guten Ordnung halber sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass auch bei der nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 9 beschriebenen Ausführungsform entsprechende Ringnuten 330 im Gehäuseunterteil 121 der Pumpe 111 vorgesehen sein können.

[0101] Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 9 eine weitere Ausführungsform der Vakuumpumpe 111 und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe beschrieben, welche sich insbesondere dadurch auszeichnet, dass dort die innere Holweck-Rotorhülse 165 eine deutlich kürzere Axialerstreckung als die radial äußere Holweck-Rotorhülse 163 aufweist. Konkret beträgt hier die Axialerstreckung der inneren Holweck-Rotorhülse 165 nur etwa 45% bis 55% der Axialerstreckung der radial äußeren Holweck-Rotorhülse 163. Dies ermöglicht es, die Holweck-Statorhülse 169 in axialer Fortsetzung der inneren Rotorhülse 165 massiger auszubilden, als dies bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen der Fall ist, so dass sich auch bei dieser Ausführungsform aufgrund der relativ massigen Ausbildung der Statorhülse 169 keine Stauwärme am freien Ende 322 der Statorhülse 169 bilden kann.

[0102] Konkret setzt sich bei der dargestellten Ausführungsform die Statorhülse 169 aus einem Basisringabschnitt 332, welcher am Gehäuseunterteil 121 angebracht ist, und einem sich von dem Basisringabschnitt 332 in axialer Richtung erstreckenden Kragringabschnitt 434 zusammen. Konkret erstreckt sich der Kragringabschnitt 334 von der der Rotornabe 161 zugewandten Stirnfläche des Basisringabschnitts 332 und erstreckt sich somit in den Ringraum zwischen der kürzeren inneren Rotorhülse 165 und der längeren äußeren Rotorhülse 163. Das Außengewinde 304 der Statorhülse 169 erstreckt sich dabei in axialer Richtung über die gesamte gemeinsame Außenoberfläche 354 des Basisringabschnitts 332 und des Kragabschnitts 334, wohingegen das Innengewinde 308 nur über die Axialerstreckung des Kragabschnitts 334 an dessen Innenseite vorgesehen ist.

[0103] Da sich der Basisringabschnitt 332 nun in radialer Richtung bis über die innere kürzere Holweck-Rotorhülse 165 erstreckt, kann der Motorstator 217 des die Rotorwelle 153 antreibenden Elektromotors 125 direkt an der ringförmigen Innenoberfläche 336 des Basisringabschnitts 332 befestigt werden.

[0104] Damit das Prozessgas nach der Durchströmung des Innengewindes 308 weiter zum Pumpenauslass 117 strömen kann, ist der Basisringabschnitt 332 in axialer Richtung von mehreren Gasströmungsbohrun-

gen 338 durchsetzt, die vorzugsweise in gleicher Anzahl vorhanden sind wie die Gewindgänge des Innengewindes. Wie dargestellt, können diese schräg zur Rotationsachse 151 ausgerichtet sein und sich somit auch zum Teil in radialer Richtung erstrecken. Gleichmaßen können sich die Gasströmungsbohrungen 338 auch zumindest zum Teil in Umfangsrichtung erstrecken, auch wenn dies in der Darstellung der Fig. 9 nicht erkennbar ist.

[0105] Trotz ihrer Bezeichnung als Gasströmungs-"Bohrungen" müssen diese im Querschnitt betrachtet nicht kreisrund sein und können vielmehr auch einen Langlochquerschnitt aufweisen, um so den Strömungswiderstand zu reduzieren.

[0106] Die zuvor beschriebene Temperaturproblematik, bei der es zu einer unerwünscht starken Erwärmung der Statorhülse 169 im Bereich des freien Endes 322 derselben kommt, ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich das Prozessgas in unerwünschter Weise verwirbelt, wenn es vom Außengewinde 304 über das freie Ende 322 hinweg in das Innengewinde 308 strömt. Dies insbesondere deshalb, da es bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen keine gezielte Zuordnung der Gewindenuten des Außengewindes 304 zu den Gewindenuten des Innengewindes 308 gibt. Anschaulich gesprochen bedeutet dies, dass ein aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 ausströmendes Gas auf zwei oder mehr Gewindenuten des Innengewindes 304 aufgeteilt wird.

[0107] Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wird erfindungsgemäß erstmals vorgeschlagen, das Außengewinde 304 und das Innengewinde 308 rotatorisch derart zueinander in Umfangsrichtung auszurichten, dass aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 ausströmendes Prozessgas nach dem Umströmen des freien Endes 322 möglichst nur in eine einzige Gewindenut des Innengewindes 308 einströmt. Konkret ist es hierzu vorgesehen, dass die Stirnflächen 304, die die Gewindestege 306 des Außengewindes 304 am freien Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 ausbilden, gegenüber den Stirnflächen 344, die die Gewindestege 310 des Innengewindes 308 am freien Ende 322 der Statorhülse 169 ausbilden, in Umfangsrichtung einen Versatz d aufweisen, siehe hierzu die Fig. 10. Konkret lässt sich der Versatz d großemäßig bestimmen als $d = t / \tan \alpha$, wobei t die radiale Kern-Wandungsdicke der Statorhülse 169 und α der Steigungswinkel des Außengewindes 304 ist. Aufgrund dieses Zusammenhangs gelingt es, dass Prozessgas, das aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 ausströmt, gezielt schräg über das freie Ende 322 der Statorhülse 169 weiterströmt, um dann an der Innenseite der Statorhülse 169 möglichst in genau nur eine Gewindenut des Innengewindes 308 einzuströmen, was natürlich voraussetzt, dass die Anzahl der Gewindestege 306 des Außengewindes 304 gleich groß ist wie die Anzahl der Gewindestege 310 des Innengewindes 308.

[0108] Um hierbei das Einströmen des Prozessgases in die Gewindenuten des Innengewindes 308 zu erleichtern, kann es gemäß der Darstellung der Fig. 11 vorge-

sehen sein, dass die Stirnflächen 344 der Gewindestege 310 des Innengewindes 308 mit der Ebene, in der das freie Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 liegt, einen spitzen Winkel β einschließen, der vorzugsweise zwischen 10 und 40° liegt, insbesondere vorzugsweise zwischen 20 und 30°.

[0109] Um das Einströmen des Prozessgases in die Nuten des Innengewindes 308 weiter zu erleichtern, kann es zusätzlich oder alternativ vorgesehen sein, dass die Kern-Wandungsdicke zum freien Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 hin abnimmt, da dies einer Vergrößerung der Höhe der Gewindestege 306, 310 am freien Ende 322 der Statorhülse 169 gleichkommt. Somit ist der Einströmquerschnitt in die Gewindenuten des Innengewindes 308 vergrößert, was das Einströmen des Prozessgases in die Gewindenuten des Innengewindes 308 erleichtert.

[0110] Wie sich insbesondere der Fig. 12 entnehmen lässt, kann sich die Wandungsdicke zum freien Ende 322 hin im Sinne einer Anfasung 346 verjüngen, welche vorzugsweise nur an der Innenseite des freien Endes 322 der Statorhülse 169 ausgebildet ist. Bei der hier dargestellten Ausführungsform weist die Anfasung 346 eine gerade bzw. lineare Kontur auf; wie dargestellt kann die Anfasung 346 jedoch auch außenseitig vorgesehen sein und eine konvexe, runde oder parabelförmige Kontur aufweisen, wie dies gestrichelt dargestellt ist.

[0111] Wie der Fig. 12 ferner entnommen werden kann, erstreckt sich bei der dort dargestellten Ausführungsform die Anfasung 346 nur über die erste Windung des Innengewindes 308 hinweg; wie strichpunktiert dargestellt, kann sich die Anfasung 346 jedoch auch über einen Bereich hinweg erstrecken, der durch die beiden dem freien Ende 322 am nächsten liegenden Windungen des Innengewindes 308 definiert ist.

[0112] Um das Umströmen des freien Endes 322 der Holweck-Statorhülse 169 und das Einströmen des Prozessgases in die Nuten des Innengewindes 308 noch weiter zu optimieren, ist es bei der Ausführungsform der Fig. 12 ferner vorgesehen, dass an der Rotornabe 161 des Holweck-Rotors zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 ein im Querschnitt konkaves Strömungsprofil 356 vorgesehen ist, welches die Rotorwelle 153 konzentrisch umgibt. Bei dem Strömungsprofil 356 handelt es sich um ein separat von der Nabe 161 handhabbares Teil, das an der Nabe 161 angebracht ist. Auch dieses Strömungsprofil 356 sorgt somit für eine verwirbelungsfreie Umströmung des freien Endes 322 der Holweck-Statorhülse 169, was sich ebenfalls wiederum positiv auf das Saugvermögen der Pumpe und deren Leistungsaufnahme auswirkt.

[0113] Um noch zuverlässiger sicherstellen zu können, dass das Prozessgas aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 möglichst nur genau in eine Gewindenut des Innengewindes 308 strömt, kann es gemäß der schematischen Darstellung der Fig. 10 ferner vorgesehen sein, dass die Holweck-Statorhülse 169 an ihrem freien Ende 322 mehrere in Umfangsrichtung gleichmä-

ßig voneinander beabstandete Strömungskonturen 348 aufweist, wobei eine jede Strömungskontur 348 einen definierten Strömungsweg zwischen einer Gewindenut des Außengewindes 304 und einer einzigen Gewindenut des Innengewindes 308 definiert, wie dies durch den Strömungspfeil S veranschaulicht wird. Bei den Strömungskonturen 348 kann es sich um am freien Ende 322 der Statorhülse 169 ausgebildete Leitschaufeln 350 handeln, die sich jeweils zwischen einer Stirnfläche 340 des Außengewindes 304 und einer Stirnfläche 344 des Innengewindes 308 erstrecken. Diese können entgegen der dargestellten Ausführungsform gekrümmt sein, insbesondere konkav oder konvex, um so das Prozessgas möglichst verwirbelungsfrei über das freie Ende 322 der Statorhülse 169 hinweg zu leiten.

Bezugszeichenliste

[0114]

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

187	Scheibe
189	Einsatz
191	rotorseitige Lagerhälfte
193	statorseitige Lagerhälfte
195	Ringmagnet
197	Ringmagnet
199	Lagerspalt
201	Trägerabschnitt
203	Trägerabschnitt
205	radiale Strebe
207	Deckelelement
209	Stützring
211	Befestigungsring
213	Tellerfeder
215	Not- bzw. Fanglager
217	Motorstator
219	Zwischenraum
221	Wandung
223	Labyrinthdichtung
225	oberflächenbehandelter Abschnitt
227	Sensor
230	Pumpschaufeln
232	Ringstege
234	Wuchtbereich
236	Haltesteg
238	Haltesteg
240	Wuchtring
242	Ringfläche
302	Nutgrund
304	Außengewinde
306	Gewindesteg von 304
308	Innengewinde
310	Gewindesteg von 308
322	freies Ende von 169
324	Ringstege
326	Ringstege
328	Gasströmungsbohrung
330	Ringnuten
332	Basisringabschnitt
334	Kragringabschnitt
336	ringförmige Innenoberfläche von 332
338	Gasströmungsbohrung
340	Stirnfläche von 304
344	Stirnfläche von 308
346	Anfasung
348	Strömungskontur
350	Leitschaufel
α	Gewindesteigungswinkel
β	Stirnflächenwinkel
S	Strömungspfeil

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularpumpe, mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Rotor (149) mit einer Rotorwelle (153) und eine mit der Rotorwelle (153) verbundenen Rotor-

nabe (161) umfasst, wobei die Rotornabe (161):

- 5
 - zumindest eine Holweck-Rotorhülse (163, 165) trägt;
 - radial innerhalb der zumindest einen Holweck-Rotorhülse (163, 165) zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege (232) ausbildet, die ausgebildet sind, um mit mehreren stationären Ringstegen zur Bildung einer Labyrinthdichtung (223) verschachtelt zu sein;
 - zumindest einen Wuchtbereich (234) aufweist, in dem Material von der Rotornabe (161) mittels Laserablation entfernt ist; und
 - eine Vielzahl von Pumpschaufeln (230) aufweist, die entlang des Außenumfangs der Rotornabe (161) gleichmäßig voneinander beabstandet sind.
- 20
 2. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1, wobei die Rotornabe (161) zumindest zwei zueinander konzentrische Holweck-Rotorhülsen (163, 165) trägt, wobei die zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege (232) radial innerhalb der zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen (163, 165) vorgesehen sind.
- 25
 3. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich (234) am Außenumfang der Rotornabe (161) zwischen zwei benachbarten Pumpschaufeln (230) befindet.
- 30
 4. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die entlang des Außenumfangs der Rotornabe (161) vorgesehenen Pumpschaufeln (230) in Umfangsrichtung überschneidungsfrei voneinander beabstandet sind, wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich (234) in dem überschneidungsfreien Bereich zwischen zwei benachbarten Pumpschaufeln (230) befindet.
- 35
 5. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich (234) zwischen den zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen (163, 165) befindet.
- 40
 6. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Rotornabe (161) für jede Holweck-Rotorhülse (163, 165) einen ringförmigen Haltesteg (236, 238) ausbildet, von denen ein jeder eine Holweck-Rotorhülse (163, 165) trägt, wobei zumindest ein radial äußerster Haltesteg (236) eine radial äußere freiliegende Ringfläche (242) aufweist.
- 45
 7. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 6, wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich (234)
- 50
- 55

an der radial äußeren freiliegenden Ringfläche (242) des radial äußersten Haltestegs (236) befindet.

8. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche, 5
wobei die Rotornabe (161) zumindest einen zu der zumindest einen Holweck-Rotorhülse (163, 165) konzentrischen Wuchtring (240) ausbildet, an der sich der zumindest eine Wuchtbereich (234) befindet. 10
9. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 8, 15
wobei der Wuchtring (240) in radialer Richtung zwischen zwei Holweck-Rotorhülsen (163, 165) gelegen ist, insbesondere auf der den Holweck-Rotorhülsen (163, 165) gegenüberliegenden Seite der Rotornabe (161).
10. Vakuumpumpe (111) nach einem der vorstehenden Ansprüche, 20
wobei die Vakuumpumpe (111) ferner zumindest einen oberflächenbehandelten Abschnitt (225) an der Rotornabe (161) und zumindest eine Sensoreinrichtung (227) aufweist, mit der eine Temperatur des zumindest einen oberflächenbehandelt Abschnitts (225) der Rotornabe (161) durch Messung der von dem Abschnitt (225) abgegebenen Wärmestrahlung berührungslos bestimmbar ist. 25
11. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 10, 30
wobei die Sensoreinrichtung (227) einen Infrarotsensor umfasst.
12. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 10 oder 11, 35
wobei der Abschnitt (225) der Rotornabe (161) aufgeraut oder strukturiert ist, insbesondere wobei der Abschnitt (225) der Rotornabe (161) derart aufgeraut oder strukturiert ist, dass er eine mittlere Rauheit R_a von 5 bis 25 μm und/oder eine gemittelte Rautiefe R_z von 40 bis 100 μm aufweist und/oder dass der Abschnitt (225) Oberflächenstrukturen im Bereich 15 bis 50 μm aufweist. 40
13. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, 45
wobei der oberflächenbehandelte Abschnitt (225) im Wesentlichen aus einem Material der Rotornabe (161) im Bereich des Abschnitts besteht.
14. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, 50
wobei der Abschnitt (225) eine Beschichtung aufweist. 55

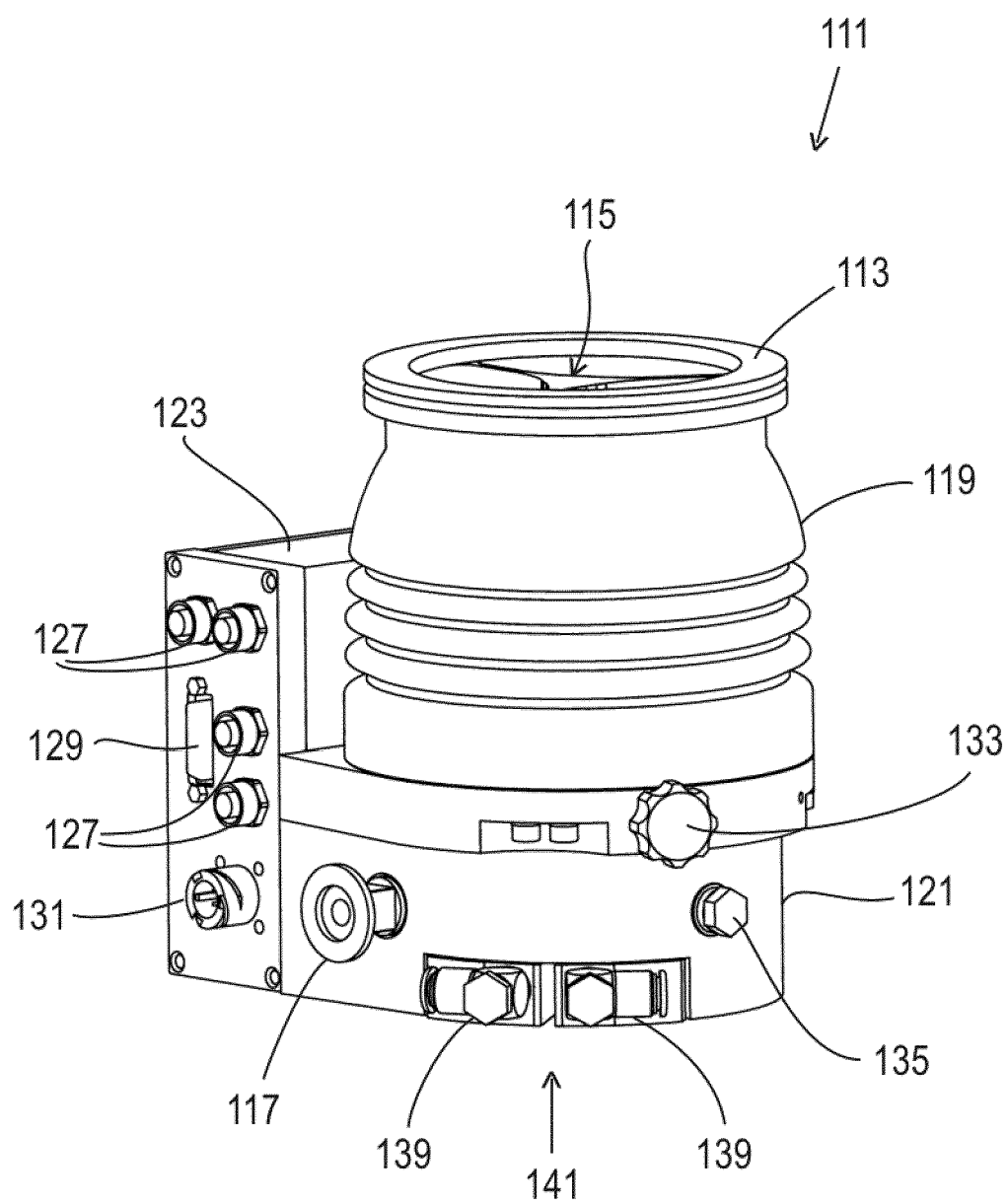


Fig. 1

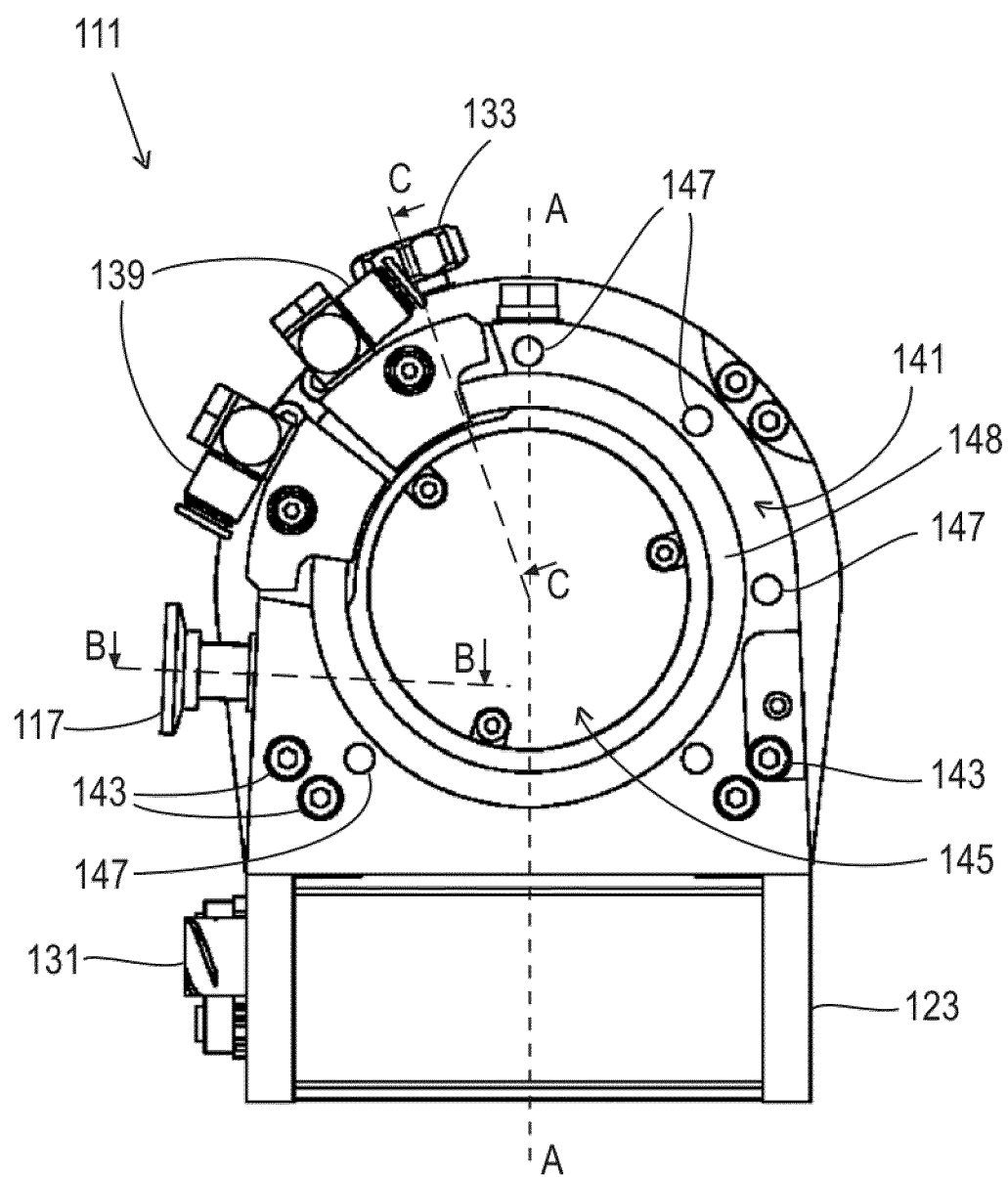


Fig. 2

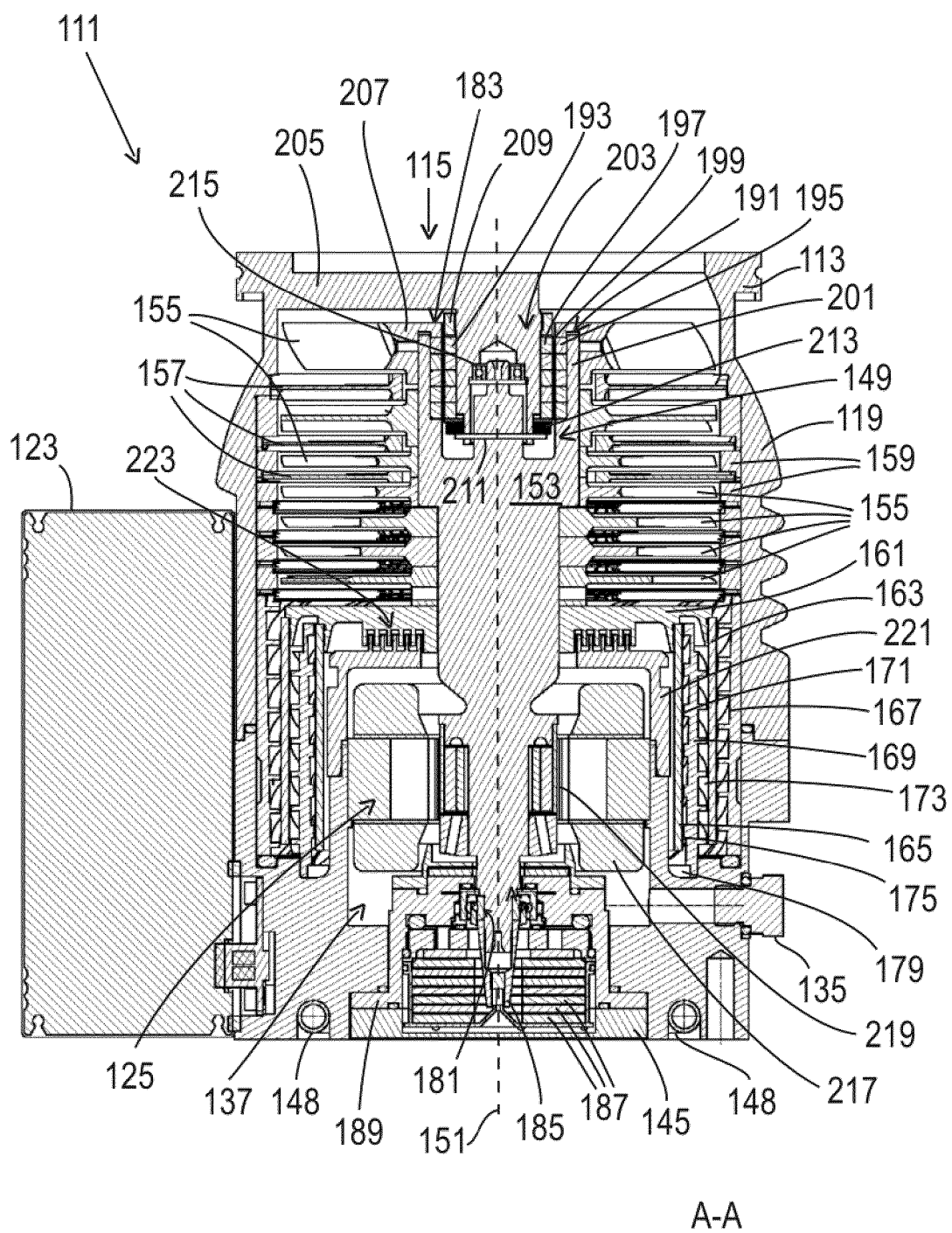


Fig. 3

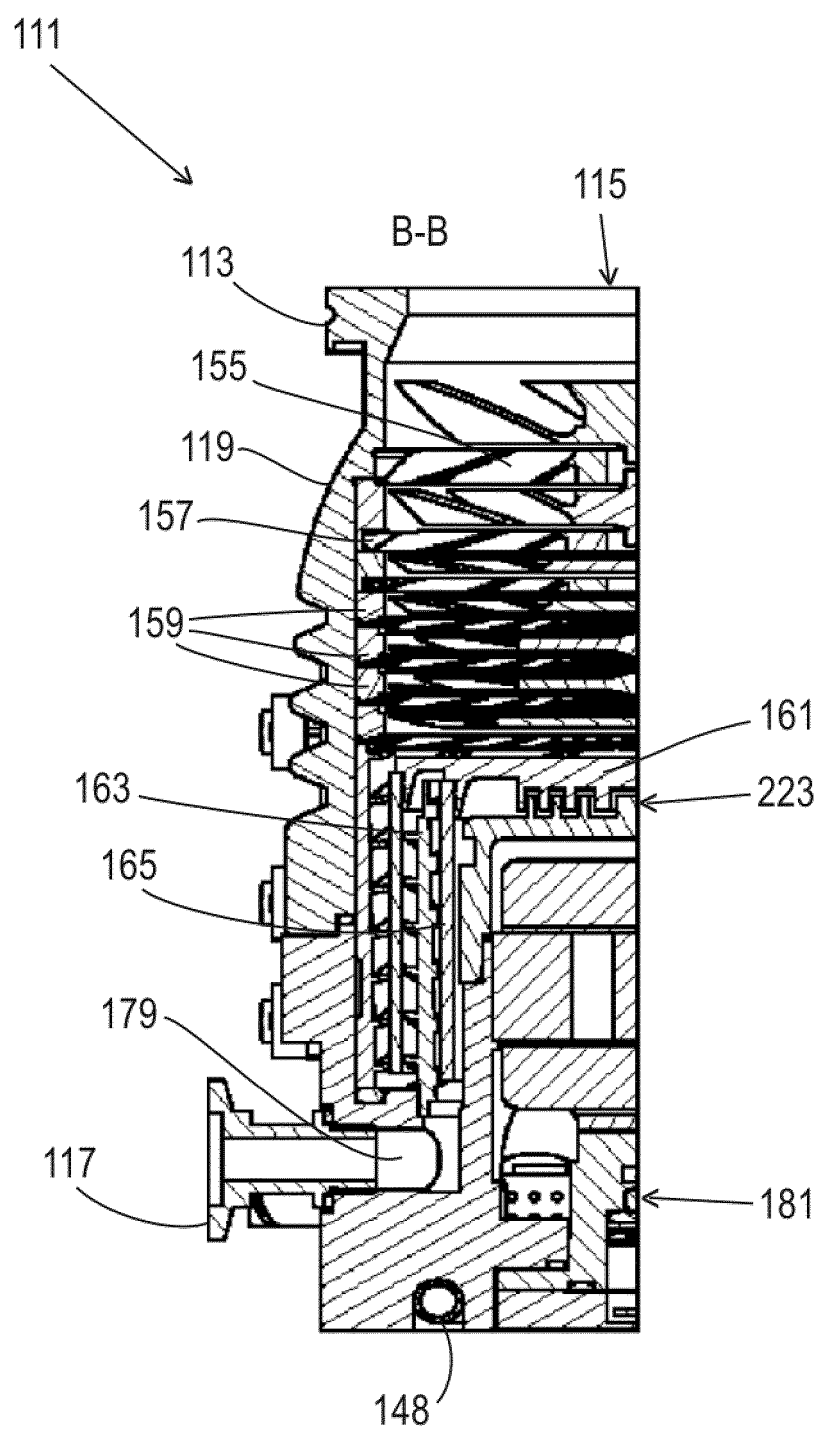


Fig. 4

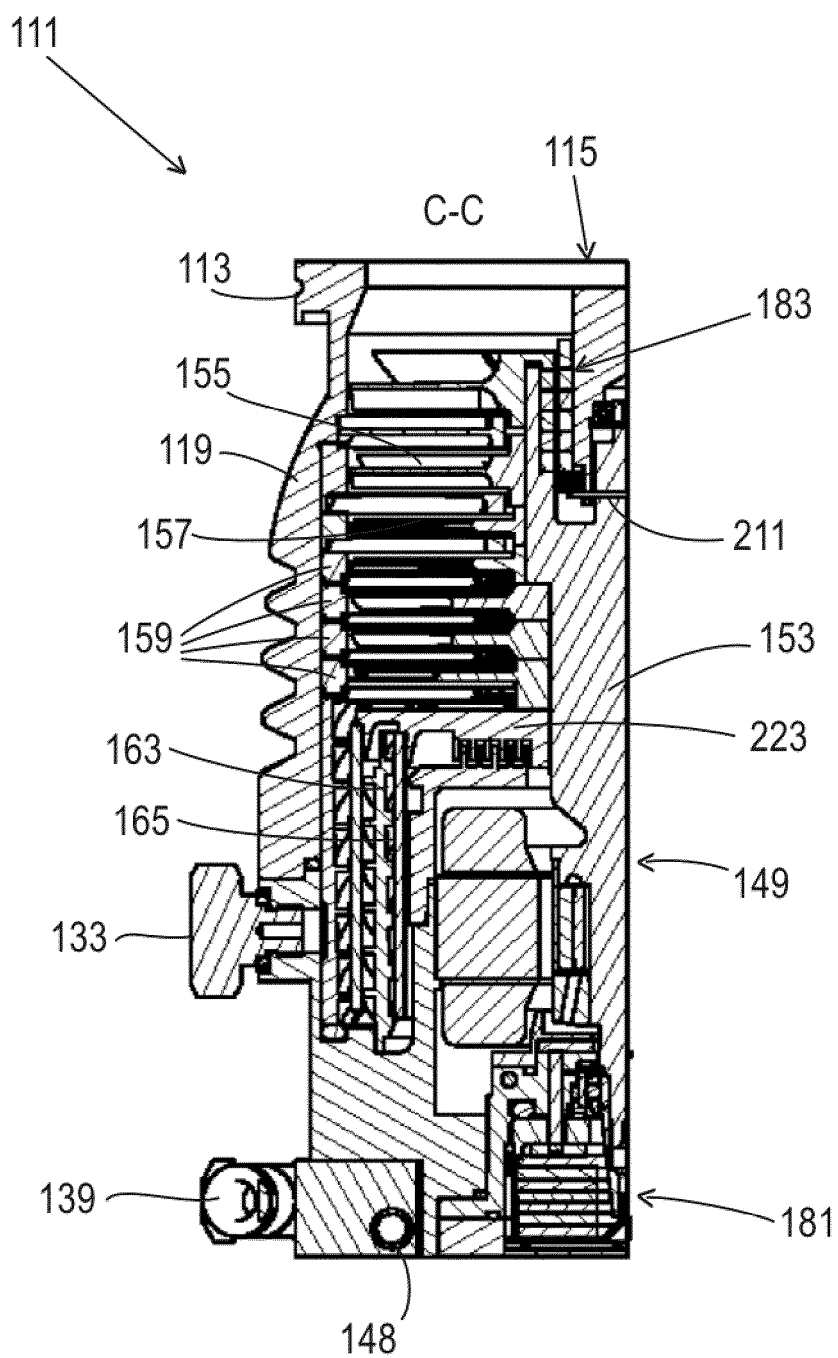


Fig. 5

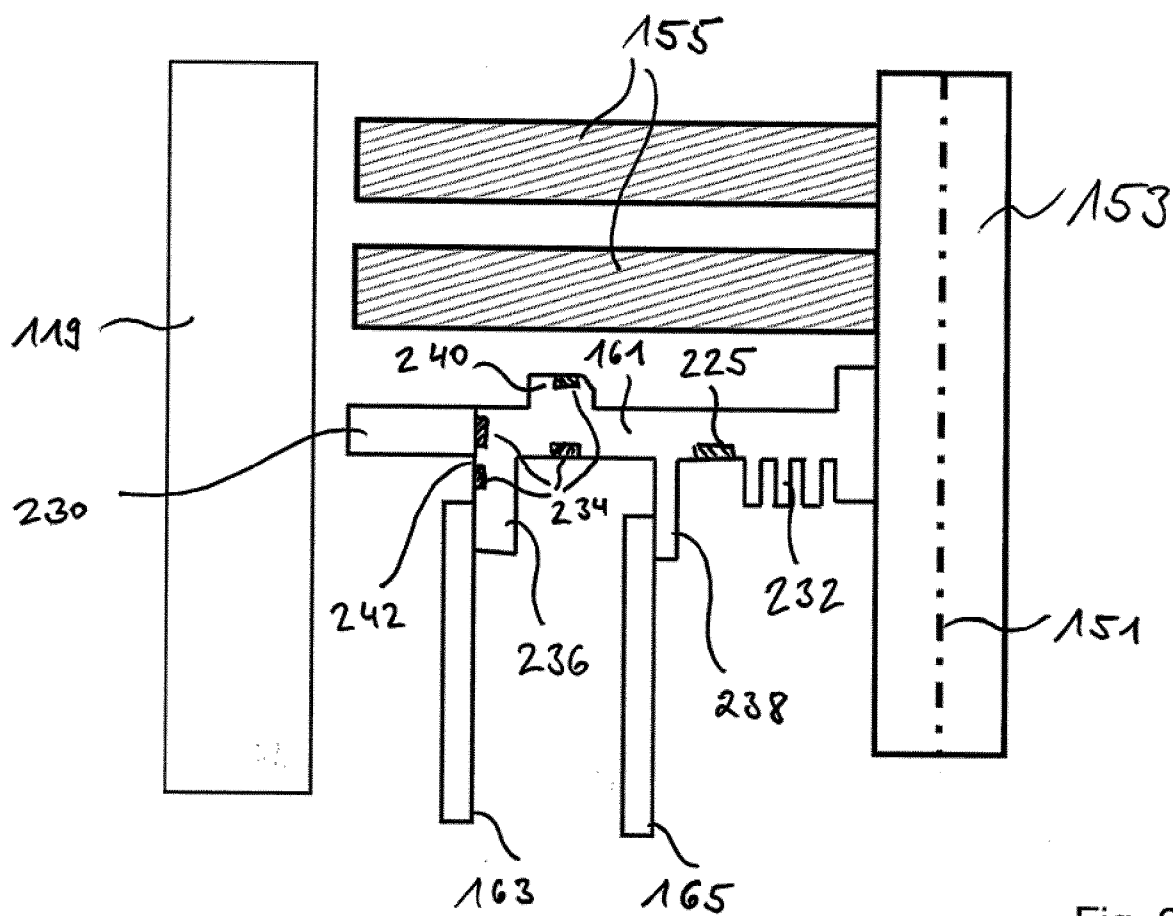


Fig. 6

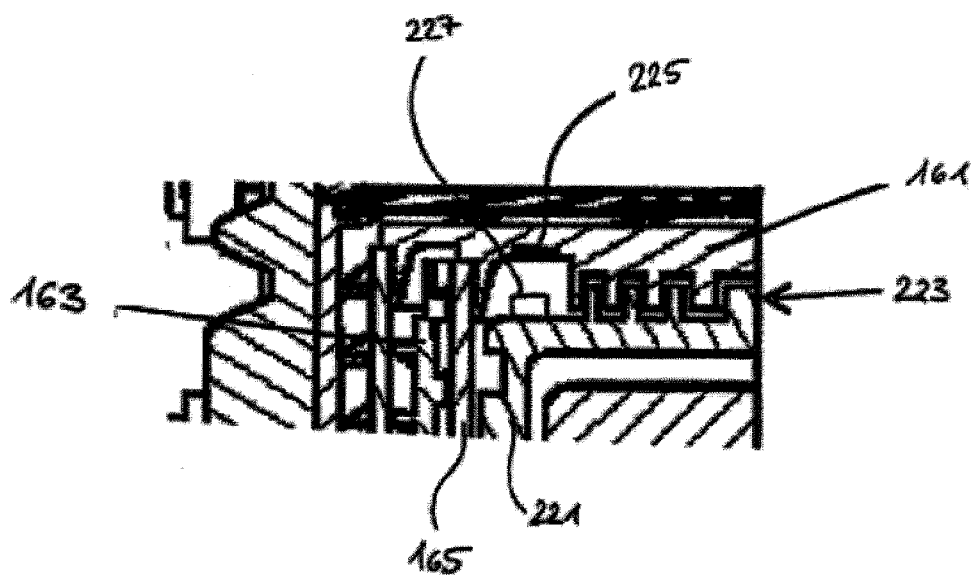


Fig. 7

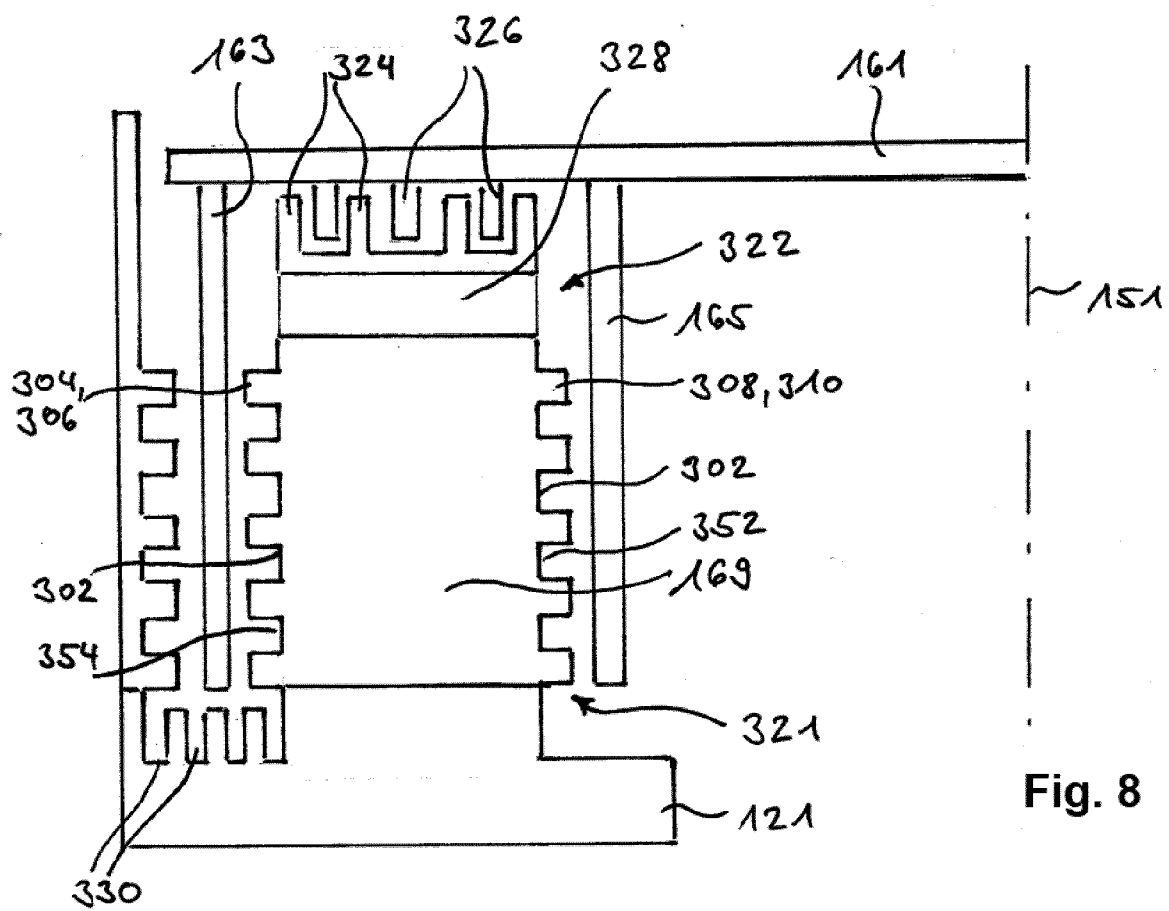


Fig. 8

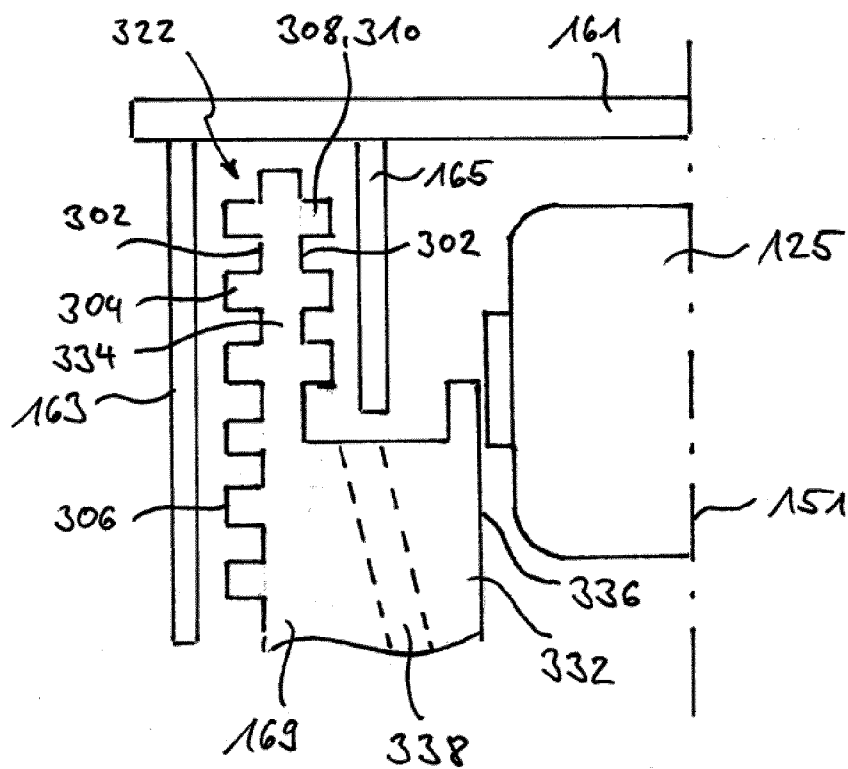
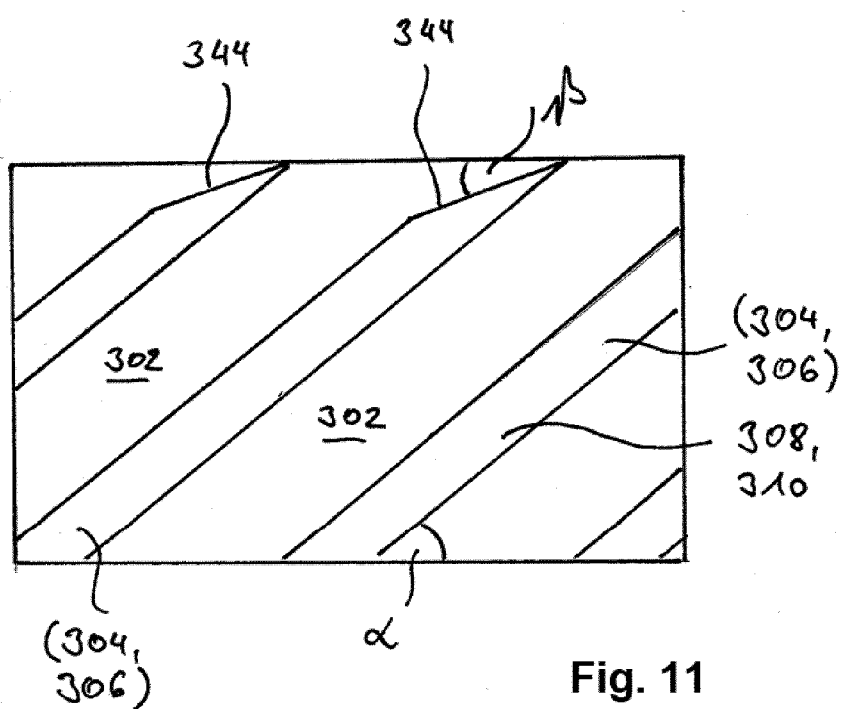
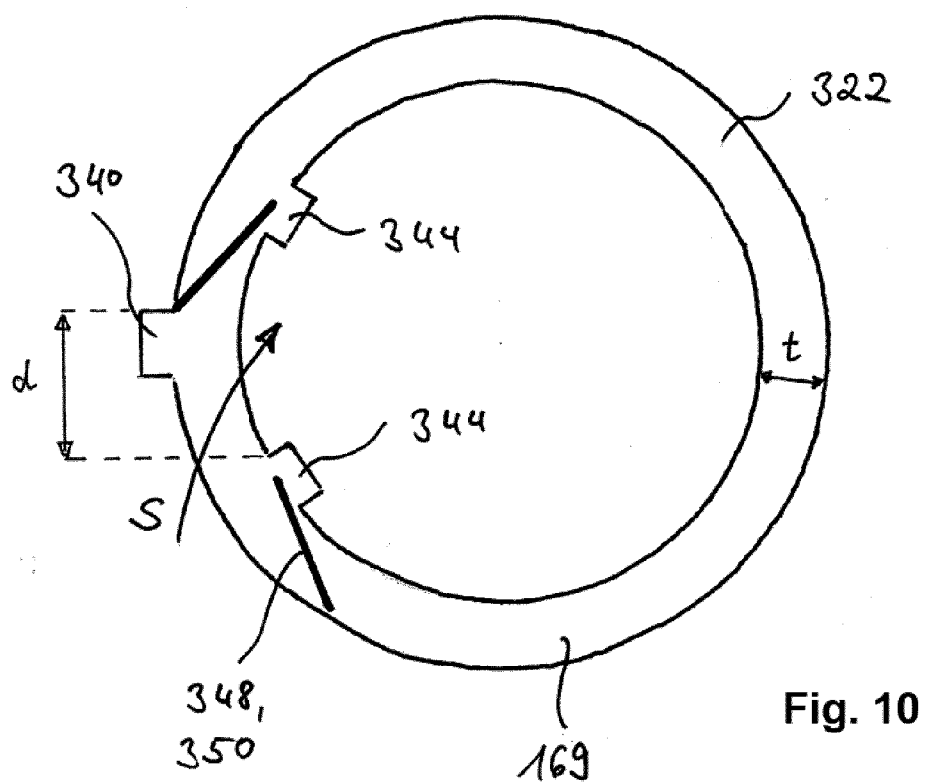


Fig. 9



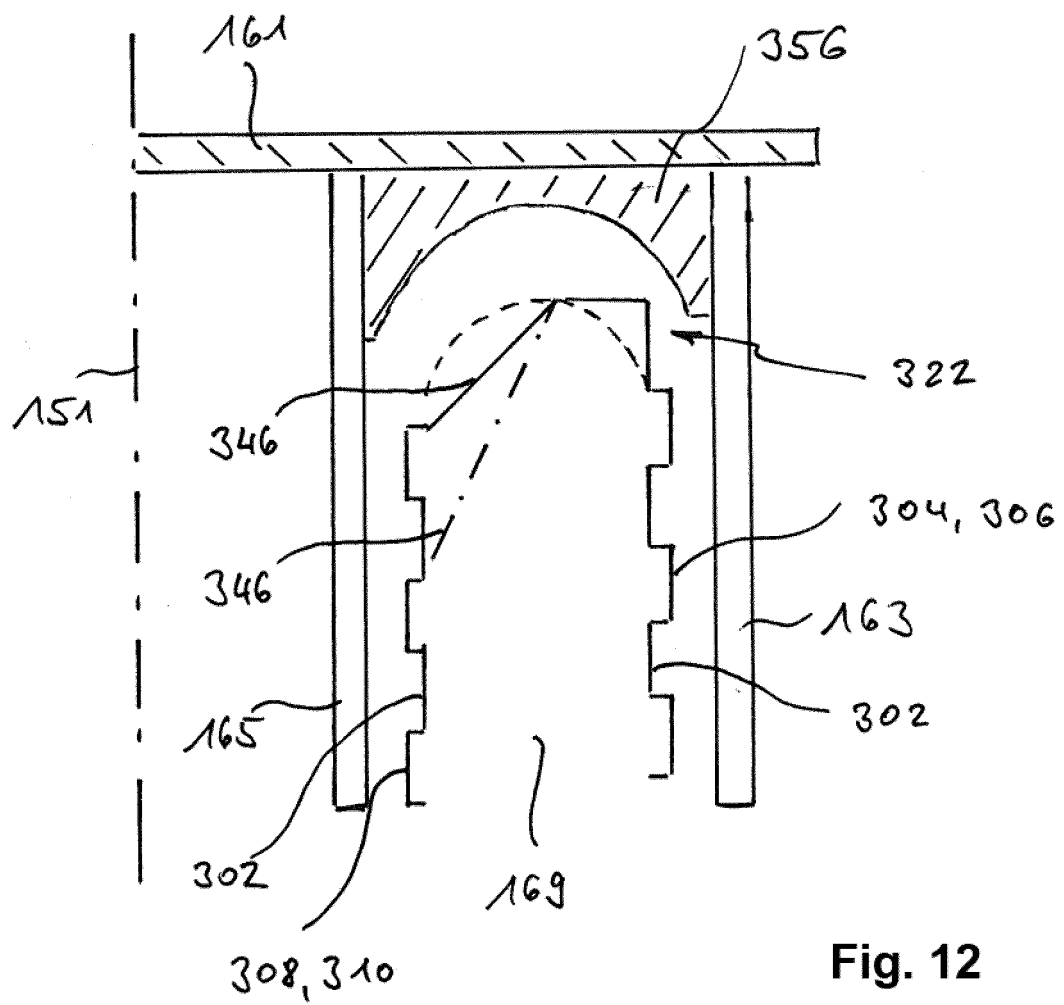


Fig. 12



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 25 16 4818

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

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	EP 3 139 044 B1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 22. April 2020 (2020-04-22)	1,2,6-8	INV. F04D19/04
A	* Abbildung 3 *	3-5,9-12	
	* Anspruch 1 *		
	* Absatz [0062] *		
A	EP 2 631 488 A2 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 28. August 2013 (2013-08-28)	1-14	
	* Abbildung 7 *		
	* Absätze [0106] - [0111] *		
A	DE 11 2020 001075 T5 (PFEIFFER VACUUM SAS [FR]) 5. Januar 2022 (2022-01-05)	1-14	
	* Abbildung 4 *		
A	US 6 599 084 B1 (SCHUETZ GUENTER [DE] ET AL) 29. Juli 2003 (2003-07-29)	1-14	
	* Abbildung 1 *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		1. April 2025	Ingelbrecht, Peter
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
A : technologischer Hintergrund		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
O : mündliche Offenbarung		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 25 16 4818

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.

01-04-2025

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3139044 B1	22-04-2020	EP 3139044 A1	08-03-2017
		JP 2017082764 A	18-05-2017

EP 2631488 A2	28-08-2013	DE 102012003680 A1	29-08-2013
		EP 2631488 A2	28-08-2013
		JP 6027455 B2	16-11-2016
		JP 2013174238 A	05-09-2013
		US 2013224001 A1	29-08-2013

DE 112020001075 T5	05-01-2022	CN 113518863 A	19-10-2021
		DE 112020001075 T5	05-01-2022
		FR 3093544 A1	11-09-2020
		JP 2022522883 A	20-04-2022
		KR 20210134315 A	09-11-2021
		TW 202040008 A	01-11-2020
		WO 2020178042 A1	10-09-2020

US 6599084 B1	29-07-2003	DE 19915307 A1	05-10-2000
		EP 1165966 A1	02-01-2002
		JP 2002541378 A	03-12-2002
		US 6599084 B1	29-07-2003
		WO 0060241 A1	12-10-2000

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