

(19)



(11)

EP 3 629 366 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
01.04.2020 Patentblatt 2020/14

(51) Int Cl.:
H01J 49/24 ^(2006.01) **F04B 37/06** ^(2006.01)
F04B 37/08 ^(2006.01) **F04B 37/14** ^(2006.01)
F04D 19/04 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20152401.4**

(22) Anmeldetag: **17.01.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

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

(72) Erfinder:
• **Schweighöfer, Michael
35641 Schöffengrund (DE)**
• **Hofmann, Jan
35305 Grünberg (DE)**

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

(54) **VAKUUMSYSTEM UND VAKUUMPUMPE**

(57) Vakuumsystem (20), insbesondere Massenspektrometriesystem, umfassend: eine Vakuumpumpe (22) mit einem pumpaktiven Bereich (34), in dem ein Gas mittels eines aktiven Pumpelements (36) förderbar ist,

eine Einrichtung zum Erzeugen eines Strahls (26, 32) von zu analysierenden Teilchen, wobei der Strahl (26, 32) in den pumpaktiven Bereich (34) geführt ist.

EP 3 629 366 A2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Vakuumsystem, insbesondere Gasanalysesystem und/oder Massenspektrometriesystem, umfassend eine Vakuumpumpe mit einem pumpaktiven Bereich, in dem ein Gas mittels eines aktiven Pumpelements förderbar ist, und eine Einrichtung zum Erzeugen eines Strahls von Teilchen.

[0002] Teilchenstrahlen werden häufig in Vakuumsystemen erzeugt und genutzt, beispielsweise in Massenspektrometriesystemen. In bekannten Massenspektrometriesystemen werden häufig beispielsweise Umlenkeinrichtungen eingesetzt, mittels denen der Strahl derart umlenkbar ist, dass unterschiedliche Bestandteile des Strahls unterschiedlich abgelenkt werden, sodass wenigstens ein erster und ein zweiter Teilstrahl ausbildbar sind. Diese haben einerseits den Zweck, dass der Teilchenstrahl aufgeteilt wird, sodass nur bestimmte, zu analysierende Bestandteile, die insbesondere den ersten Teilstrahl bilden, in eine gewünschte Richtung, insbesondere zu einer Analysatoreinheit, geführt werden. Übrige Bestandteile, die insbesondere den zweiten Teilstrahl bilden, weisen nach Passage der Umlenkeinrichtung eine andere Richtung als die zu analysierenden Bestandteile auf. Die Umlenkeinrichtung wirkt somit als Filter. Andererseits ermöglicht eine derartige Umlenkung, häufig um etwa 90°, eine kompakte Bauform des Massenspektrometriesystems.

[0003] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, bei einem Vakuumsystem der eingangs genannten Art die Evakuierung im Bereich des Strahls zu verbessern.

[0004] Diese Aufgabe wird durch ein Vakuumsystem nach Anspruch 1 gelöst, und insbesondere dadurch, dass der Strahl in den pumpaktiven Bereich der Vakuumpumpe geführt ist.

[0005] Hierdurch wird der Strahl bzw. werden dessen Moleküle direkt abgepumpt und die Evakuierung wird verbessert. Bei dem in den pumpaktiven Bereich geführten Strahl kann es sich z.B. um einen Teilstrahl nach Passage einer Filter- und/oder Separierungseinrichtung handeln. Generell wird hier aber ausgenutzt, dass der Strahl einen Teilchenstrom mit einer bestimmten Richtung aufweist und dass diese Richtung vorteilhaft ausgenutzt wird, um die Teilchen direkt einzufangen. Insofern kann es sich auch beispielsweise um eine Art Hauptstrahl und/oder einen Gesamtstrahl handeln. Allgemein ist die Erfindung darauf gerichtet, die Einfangwahrscheinlichkeit eines jeweiligen Teilchens des Strahls zu erhöhen. Dies wird auf konstruktiv besonders einfache Weise durch die Erfindung erreicht.

[0006] Bevorzugt kann das Vakuumsystem eine Umlenkeinrichtung umfassen, mittels derer der Strahl derart umlenkbar ist, dass unterschiedliche Bestandteile des Strahls unterschiedlich abgelenkt werden, sodass wenigstens ein erster und ein zweiter Teilstrahl ausbildbar sind, wobei der zweite Teilstrahl in den pumpaktiven Bereich geführt ist. Allgemein ist der Strahl also insbeson-

dere zumindest teilweise in den pumpaktiven Bereich geführt. Insofern nachfolgend von dem Strahl die Rede ist, versteht es sich, dass auch ein, insbesondere zweiter, Teilstrahl gemeint sein kann.

[0007] Die Möglichkeit der Kontamination des ersten Teilstrahls durch Moleküle des zweiten Teilstrahls ist besonders gering. Die Erfindung ermöglicht in diesem Zusammenhang also insbesondere eine gute Separierung der Teilstrahlen und eine hohe Qualität des ersten Teilstrahls, die sich beispielsweise positiv auf eine Analyse des ersten Teilstrahls auswirken kann.

[0008] Die Gasbestandteile des zweiten Teilstrahls sind häufig solche Bestandteile, die im Hinblick auf eine Analyseaufgabe unerwünscht sind, also unerwünschte Moleküle darstellen. Diese können als Schmutzpartikel bezeichnet werden. Bei Umlenkeinrichtungen des Standes der Technik landen zweite Teilstrahlen bzw. Schmutzpartikel typischerweise an statischen Bauteilen im Bereich der oder benachbart zur Umlenkeinrichtung. Auch wird häufig der Umlenkeinrichtung nachgeschaltet eine Blende angeordnet, durch die der erste Teilstrahl passieren kann, auf deren Oberfläche abseits des ersten Teilstrahls bzw. eines Durchgangs hierfür aber die Schmutzpartikel auftreten. Alle Schmutzpartikel, die auf statischen Oberflächen landen, desorbieren nach einer gewissen Zeit wieder von der betreffenden Oberfläche mit einer statistischen Verteilung der Richtung. Dies bedeutet einerseits eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass Schmutzpartikel trotz aller Filtereinrichtungen zur Analysatoreinheit gelangen. Andererseits können die Schmutzpartikel mit zu analysierenden Gasmolekülen des ersten Teilstrahls kollidieren und so dessen Qualität verringern. Denn die Moleküle des ersten Teilstrahls werden hierdurch abgelenkt und die Anzahl derjenigen zu analysierenden Moleküle, die die Analysatoreinheit erreichen, wird reduziert.

[0009] Die Erfindung ermöglicht nun, dass Schmutzpartikel unmittelbar durch die Pumpwirkung der Vakuumpumpe abgeführt werden. Dabei wird vorteilhaft die Richtung bzw. kinetische Energie der Schmutzpartikel im Teilchenstrahl ausgenutzt, um diese aktiv dem pumpaktiven Bereich der Vakuumpumpe zuzuführen. Durch den pumpaktiven Bereich wird den Schmutzpartikeln bzw. dem zweiten Teilstrahl sodann aktiv eine Vorzugsrichtung in Pumprichtung verliehen, sodass die Schmutzpartikel aktiv von dem ersten Teilstrahl und insbesondere von einer Analysatoreinheit weggeführt werden. Im Stand der Technik ist eine wirksame Evakuierung von Vakuumkammern eines Gasanalysesystems häufig schwierig, nämlich durch nachteilige Geometrien und Leitwerte. Eine bessere Evakuierung ermöglicht jedoch eine bessere Analysegenauigkeit. Die Erfindung ermöglicht durch die Ausnutzung der Strahlrichtung bzw. der kinetischen Energie der Teilchen und durch die aktive Abführung eine bessere Evakuierung und somit insbesondere eine verbesserte Analysegenauigkeit.

[0010] Als pumpaktiver Bereich ist allgemein ein Wirkungsbereich eines aktiven Pumpelements der Vakuumpumpe

pe, zum Beispiel eines Rotors oder Rotorelements, insbesondere einer Turborotorscheibe, zu verstehen. Im Falle eines Rotors wird der Strahl, insbesondere der zweite Teilstrahl, insbesondere in einen aktiven Rotorbereich geführt. Bei einer Turbomolekularvakuumpumpe bzw. Turborotorscheibe ist dies insbesondere ein von den Rotorscheaufeln im Betrieb überstrichener Bereich. Insbesondere gehört ein Rotorkern, der selbst keine pumpaktive Wirkung aufweist, sondern lediglich strukturelle Funktion hat, nicht zum pumpaktiven Bereich. Allgemein vorteilhaft ist der Strahl nicht auf einen Rotorkern geführt bzw. ist der Strahl an einem Rotorkern vorbeigeführt.

[0011] Die Umlenkeinrichtung lenkt unterschiedliche Bestandteile des Teilchenstrahls unterschiedlich ab. Dabei werden typischerweise auch bestimmte Bestandteile gar nicht abgelenkt, nämlich insbesondere ungeladene Bestandteile. Allgemein gilt also, dass wenigstens einer von erstem und zweitem Teilstrahl durch die Umlenkeinrichtung umgelenkt werden muss, um die Teilstrahlen in solche aufzuteilen. Zum Beispiel kann der zweite Teilstrahl nicht durch die Umlenkeinrichtung umgelenkt sein bzw. in Fortführung des Teilchenstrahls vor der Umlenkeinrichtung ausgerichtet sein. Ungeladene Teilchen bilden besonders häufig unerwünschte Moleküle bzw. Schmutzpartikel im Hinblick auf die Analyseaufgabe. Wenn der Teilstrahl ungeladener Bestandteile in den pumpaktiven Bereich geführt wird, wird also insbesondere ein besonders großer Anteil an Schmutzpartikeln direkt abgeführt.

[0012] Die Moleküle des Strahls, der in den pumpaktiven Bereich geführt ist, werden insbesondere unmittelbar von wenigstens einem pumpaktiven Element der Vakuumpumpe im pumpaktiven Bereich eingefangen. Im Zusammenhang mit einem als Turborotor ausgebildeten pumpaktiven Element bedeutet dies insbesondere, dass die Moleküle des Strahls den von den Rotorscheaufeln überstrichenen Bereich durchtreten und anschließend durch das allgemein bekannte Wirkprinzip des Turborotors stromabwärts derselben "gehalten" werden, dass also - physikalisch betrachtet - die Wahrscheinlichkeit verringert wird, dass ein jeweiliges Molekül zurück in den Bereich stromaufwärts der Rotorscheaufeln gelangt.

[0013] Verschiedene Teilstrahlen umfassen nach Passage einer Umlenkeinrichtung allgemein unterschiedliche Bestandteile und weisen unterschiedliche Richtungen auf. Dabei weist ein Teilstrahl nicht notwendigerweise nur einen Bestandteil bzw. eine Teilchenart auf. Insbesondere der zweite Teilstrahl kann zum Beispiel eine Vielzahl von Bestandteilen aufweisen, die allesamt Schmutzpartikel bilden können. Dies gilt insbesondere für einen zweiten Teilstrahl, der in Bezug auf den gemeinsamen Strahl vor Passage der Umlenkeinrichtung geradeaus gerichtet ist und/oder ungeladene Moleküle aufweist. Jedoch kann auch der erste Teilstrahl grundsätzlich unterschiedliche Bestandteile aufweisen, wobei die Unterschiede typischerweise klein sind.

[0014] Zudem versteht es sich, dass die Umlenkein-

richtung den gemeinsamen Teilchenstrahl typischerweise nicht in lediglich zwei absolut diskrete Teilstrahlen aufteilt. Vielmehr weisen Teilchenstrahlen in derartigen Systemen typischerweise eine Vielzahl von Bestandteilen auf, wobei meist lediglich ein kleiner Teil der Bestandteile analysiert werden soll, häufig eine bestimmte Ionen- und/oder Molekülart. Folglich bilden sich nach Passage der Umlenkeinrichtung typischerweise eine Vielzahl von, insbesondere zweiten, Teilstrahlen fächerartig aus. Grundsätzlich kann insbesondere wenigstens ein zweiter Teilstrahl in den pumpaktiven Bereich geführt sein, vorteilhaft werden aber mehrere zweite Teilstrahlen bzw. Teilstrahlen mit Schmutzpartikeln in den pumpaktiven Bereich geführt, um möglichst viele Schmutzpartikel direkt abzuführen. Wie viele zweite Teilstrahlen in den pumpaktiven Bereich geführt werden können und welcher Winkelbereich des Fächers von Teilstrahlen in den pumpaktiven Bereich geführt werden kann, ist insbesondere von den geometrischen Gegebenheiten in der Vakuumpumpe abhängig. Grundsätzlich können also auch mehr als zwei Teilstrahlen ausgebildet werden, z.B. mehrere erste, nicht in den pumpaktiven Bereich hineingeführte und/oder mehrere zweite, in den pumpaktiven Bereich hineingeführte Teilstrahlen.

[0015] Der zweite Teilstrahl kann insbesondere ungeladene Teilchen und/oder Teilchen eines Trägergases aufweisen oder im Wesentlichen aus solchen bestehen. Häufig macht ein Trägergas einen Großteil des Drucks in einem Vakuumsystem, insbesondere Massenspektrometriesystem, aus. Entsprechend kann durch die Erfindung vorteilhaft ein großer Anteil von Teilchen, die nicht Teil des ersten Teilstrahls sein sollen, direkt abgepumpt werden. Bei einem Trägergas handelt es sich beispielsweise um ein Inertgas und/oder Luft. Z.B. kann als Trägergas Helium eingesetzt werden. Wenn Luft das Trägergas bildet, umfasst der zweite Teilstrahl beispielsweise Sauerstoff und/oder Stickstoff, insbesondere ungeladene Teilchen hiervon. Allgemein umfasst der zweite Teilstrahl insbesondere hauptsächlich eine Molekülart und/oder weist einen vielfach höheren Teilchenstrom auf als der erste Teilchenstrahl. Typischerweise macht eine zu analysierende Molekülart in einem Gasanalysesystem, insbesondere Massenspektrometer, nur einen kleinen Teil des Gasstromes aus und/oder ein Trägergas macht einen weit überwiegenden Teil aus.

[0016] Ein wichtiger Gedanke der Erfindung im Zusammenhang mit der Umlenkeinrichtung besteht also darin, dass Gasbestandteile unterschiedlich abgelenkt werden und ein möglichst großer Teil von, insbesondere im Hinblick auf eine Analyseaufgabe unerwünschten, Gasbestandteilen unter Ausnutzung ihrer Richtung direkt in den pumpaktiven Bereich geführt wird. So können diese, insbesondere unerwünschten, Bestandteile aktiv abgeführt werden, nämlich insbesondere aus dem Bereich des ersten Teilstrahls heraus und beispielsweise weg von einem Analysebereich bzw. einem Bereich einer Analysatoreinheit.

[0017] Die Umlenkeinrichtung teilt den Teilchenstrahl

in Teilstrahlen auf. Dabei wird der Strahl vor Passage der Umlenkeinrichtung hier auch als gemeinsamer (Teilchen-) Strahl bezeichnet, dies in Abgrenzung zu den Teilstrahlen, die sich bei und/oder nach Passage der Umlenkeinrichtung ausbilden.

[0018] Grundsätzlich kann das Vakuumsystem beispielsweise auch mehrere Umlenkeinrichtungen, zum Beispiel jeweils mit vorteilhafter Führung eines Teilstrahls in einen pumpaktiven Bereich einer Vakuumpumpe, aufweisen. Allgemein können, beispielsweise auch neben einer Umlenkeinrichtung, auch verschiedenste andere Filterelemente zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel eine Blende und/oder ein Quadrupol.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Strahl zumindest mit einer Richtungskomponente in Pumprichtung in den pumpaktiven Bereich geführt ist. Hierdurch wird die Pumpwirkung des pumpaktiven Bereichs unterstützt und die Moleküle des Strahls werden besonders wirksam abgeführt.

[0020] Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass der erste Teilstrahl nicht in den pumpaktiven Bereich geführt ist. Alternativ oder zusätzlich kann der erste Teilstrahl zu einem Bereich außerhalb der Vakuumpumpe geführt sein. Insbesondere kann der erste Teilstrahl zu einer Analysatoreinheit geführt sein, beispielsweise direkt oder durch wenigstens ein weiteres Filterelement, insbesondere eine Blende, hindurch. Grundsätzlich kann der erste Teilstrahl an einem Gehäuse der Vakuumpumpe vorbei oder durch ein solches hindurchgeführt sein.

[0021] Allgemein kann die Vakuumpumpe einen Rotor umfassen, der zur Rotation um eine Rotorachse antreibbar ist. Ein aktives Pumpelement der Vakuumpumpe bzw. des pumpaktiven Bereichs kann mit dem Rotor gekoppelt sein, sodass der Rotor das Pumpelement antreibt. Der Strahl kann insbesondere in einen aktiven Rotorbereich des Rotors bzw. des aktiven Pumpelements geführt sein.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass eine Pumprichtung und/oder eine Rotorachse eines aktiven Pumpelements und/oder der Vakuumpumpe schräg in Bezug auf eine Richtung des Strahls, insbesondere vor Passage einer oder der Umlenkeinrichtung, ausgerichtet ist. Hierdurch kann der Strahl und insbesondere ein in Bezug auf einen gemeinsamen Strahl geradeaus gerichteter, zweiter Teilstrahl besonders vorteilhaft im Hinblick auf die Pumpwirkung in den pumpaktiven Bereich geführt werden. Zudem ist eine derartige Anordnung im Hinblick auf den Bauraum besonders vorteilhaft. Insbesondere kann ein Winkel zwischen einer Pumprichtung und/oder einer Rotorachse des aktiven Pumpelements und/oder der Vakuumpumpe und einer Richtung des Strahls, insbesondere vor Passage einer oder der Umlenkeinrichtung, im Bereich von 40° bis 60° liegen, bevorzugt im Bereich von 50° bis 55°. Diese Werte werden durch die Teilchengeschwindigkeit, die Rotorschaufelumlaufgeschwindigkeit im "Zielbereich" des Strahls und den dortigen Rotorschaufelwinkel bzw. Anstellwinkel beeinflusst. Der Winkel kann

fallbezogen dreidimensional optimiert werden.

[0023] Bevorzugt kann eine Pumprichtung und/oder eine Rotorachse des aktiven Pumpelements und/oder der Vakuumpumpe schräg in Bezug auf eine Richtung des ersten und/oder des zweiten Teilstrahls nach Passage der Umlenkeinrichtung ausgerichtet sein. Auch dies ist förderlich für eine kompakte Bauweise.

[0024] Allgemein kann die Vakuumpumpe beispielsweise ein- oder mehrstufig ausgebildet sein. Mehrstufig bedeutet, dass die Vakuumpumpe wenigstens zwei Pumpstufen aufweist. Wenigstens zwei Pumpstufen können bevorzugt in Reihe geschaltet sein. Die Pumpstufen können beispielsweise durch einen gemeinsamen Rotor angetrieben sein.

[0025] Bei einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Vakuumpumpe wenigstens zwei, bevorzugt in Reihe geschaltete, Pumpstufen aufweist, wobei, insbesondere in Pumprichtung, zwischen den Pumpstufen ein Zwischenstufenbereich angeordnet ist. Über diesen Zwischenstufenbereich können die Pumpstufen insbesondere beabstandet sein. Der Strahl ist bevorzugt durch den Zwischenstufenbereich geführt. Grundsätzlich kann der Strahl, insbesondere ein zweiter Teilstrahl, in eine Pumpstufe geführt sein, die insbesondere in Pumprichtung stromabwärts des Zwischenstufenbereichs angeordnet ist. Somit werden einerseits eine besonders kompakte Bauform und andererseits eine besonders gute Abführung der Teilchen, insbesondere von Schmutzpartikeln, ermöglicht.

[0026] Eine Pumpstufe ist insbesondere durch ein aktives Pumpelement definiert, insbesondere in Zusammenarbeit mit einem statischen und/oder passiven Element. Bei einer Turbomolekularpumpe bildet somit eine umfängliche Reihe von Rotorschaukeln, insbesondere einer Turborotorscheibe, insbesondere in Zusammenarbeit mit einer Statorscheibe, eine Pumpstufe. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass ein Turborotor grundsätzlich beispielsweise mit mehreren einteilig verbundenen Schaukelreihen ausgeführt sein kann und/oder ein oder mehrere Turborotorscheiben aufweisen kann.

[0027] Der Strahl kann allgemein bevorzugt in den Wirkbereich des aktiven Pumpelements und/oder auf ein drehendes Element, beispielsweise eine Turborotorscheibe, gerichtet sein.

[0028] Der erste Teilstrahl kann bevorzugt nach Passage des Zwischenstufenbereichs und/oder einer Umlenkeinrichtung aus der Vakuumpumpe herausgeführt sein, beispielsweise zu einer Analysatoreinheit. Allgemein kann eine Analysatoreinheit zum Beispiel als Detektor ausgebildet sein.

[0029] Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Vakuumpumpe am Zwischenstufenbereich einen ersten Zwischenanschluss zum Eintritt des Strahls in den Zwischenstufenbereich und/oder einen zweiten Zwischenanschluss zum Austritt des ersten Teilstrahls aus dem Zwischenstufenbereich aufweist. Der erste und/oder der zweite Zwischenanschluss können bei-

spielsweise einen, insbesondere eigenen, Flansch aufweisen.

[0030] Die Zwischenanschlüsse können bevorzugt, insbesondere in Bezug auf eine Rotorachse und/oder Pumprichtung, zumindest im Wesentlichen gegenüberliegend voneinander angeordnet sein. Der, insbesondere gemeinsame, Strahl und/oder der erste Teilstrahl können somit vorteilhaft in den Zwischenstufenbereich eintreten bzw. hieraus austreten. Die Zwischenanschlüsse sind aber nicht notwendigerweise exakt radial gegenüberliegend, d. h. um 180° um die Rotorachse versetzt, angeordnet. Bevorzugt ist hingegen eine außermittige Verbindungsachse der Zwischenanschlüsse, die insbesondere an einem Rotorkern vorbeiführt. Hierdurch wird eine besonders vorteilhafte Gasführung ermöglicht. Gleichwohl sind radial gegenüberliegende Zwischenanschlüsse grundsätzlich möglich, insbesondere in Verbindung mit einer Umlenkeinrichtung, die den Gasstrahl zumindest teilweise um einen Rotorkern herum umlenkt.

[0031] Bevorzugt können die Zwischenanschlüsse separat voneinander ausgebildet und/oder in Umfangsrichtung beabstandet angeordnet sein. Dabei erstreckt sich vorzugsweise eine Gehäusewand in Umfangsrichtung zwischen den Zwischenanschlüssen, insbesondere über wenigstens 20°, bevorzugt wenigstens 35°. Durch die Trennung der Zwischenanschlüsse wird die Güte des ersten Teilstrahls weiter verbessert.

[0032] Eine Umlenkeinrichtung kann beispielsweise ein magnetisches und/oder elektrisches Feld aufweisen. Ein magnetisches Feld kann beispielsweise durch einen Dauermagneten oder zum Beispiel auch durch einen Elektromagneten bereitgestellt werden. Ein magnetisches und/oder elektrisches Feld bewirkt die unterschiedliche Ablenkung von geladenen Teilchen, insbesondere in Abhängigkeit von ihrer Masse. Entsprechend kann die Umlenkeinrichtung eine Felderzeugungseinrichtung aufweisen, wie z.B. einen Magneten oder eine Elektrode.

[0033] Die Umlenkeinrichtung kann bevorzugt im oder am Zwischenstufenbereich wirksam und/oder angeordnet sein. Der Begriff "wirksam" bezieht sich insbesondere auf das elektrische und/oder magnetische Feld der Umlenkeinrichtung, also allgemein auf ihren Wirkbereich. Die Umlenkeinrichtung kann beispielsweise auch Komponenten, wie z.B. eine Felderzeugungseinrichtung, außerhalb ihres Wirkbereichs aufweisen. Folglich bezieht sich der Begriff "angeordnet" zumindest auch auf den Wirkbereich der Umlenkeinrichtung. Insbesondere kann ein elektrisches und/oder magnetisches Feld der Umlenkeinrichtung im und oder am Zwischenstufenbereich angeordnet sein. Alternativ oder zusätzlich kann eine Umlenkeinrichtung bzw. ein elektrisches und/oder magnetisches Feld beispielsweise auch radial außerhalb des Zwischenstufenbereichs, beispielsweise am oder im Bereich eines Zwischenanschlusses, insbesondere desjenigen Zwischenanschlusses zum Eintritt des gemeinsamen Strahls, angeordnet sein.

[0034] Die Anordnung einer, insbesondere (elek-

tro-)magnetischen, Umlenkeinrichtung im Bereich wenigstens eines der Zwischenanschlüsse ist ebenfalls vorteilhaft möglich. Sowohl eine Anordnung von passiven und/oder permanentmagnetischen als auch von aktiven Umlenkelementen ist einerseits im Vakuumbereich oder andererseits auch außerhalb des Vakuumbereichs bzw. in Atmosphäre möglich. So kann eine Umlenkeinrichtung bzw. ein Umlenkelement z.B. im Bereich des Pumpengehäuses und/oder außen am Pumpengehäuse angeordnet werden. Grundsätzlich kann auch die Umlenkeinrichtung selbst außerhalb des Vakuumbereichs derart angeordnet sein, dass sie im Vakuumbereich wirksam ist, dass sich also insbesondere ein elektrisches und/oder magnetisches Feld in den Vakuumbereich, insbesondere in den Zwischenstufenbereich, erstreckt.

[0035] Es können beispielsweise auch mehrere Umlenkeinrichtungen vorgesehen sein, auch im oder am Zwischenstufenbereich. So können zum Beispiel zwei Umlenkeinrichtungen bei, in oder an den jeweiligen Zwischenanschlüssen vorgesehen sein. Die Verwendung von mehreren Umlenkeinrichtungen ist insbesondere im Hinblick auf den Bauraum vorteilhaft. So muss nicht eine große Umlenkeinrichtung vorgesehen sein, die die gewünschte Umlenkung vollständig erfüllt, sondern die gewünschte Umlenkung kann auf mehrere Umlenkeinrichtungen aufgeteilt werden, die in der Folge kleiner ausgeführt werden können. So lassen sich diese günstiger im Hinblick auf den insgesamt nötigen Bauraum anordnen.

[0036] Allgemein vorteilhaft ist es, wenn ein magnetisches und/oder elektrisches Feld einer Umlenkeinrichtung die rotierenden Teile eines Rotors möglichst wenig durchdringt. In diesem Zusammenhang erweisen sich mehrere und/oder kleine Umlenkeinrichtungen, die bevorzugt auch außerhalb des Zwischenstufenbereichs angeordnet sein können, als vorteilhaft. So können Wirbelstromverluste im Rotor und eine hiermit einhergehende, unerwünschte Erwärmung im Rotor verringert werden.

[0037] Der Strahl kann bevorzugt außermittig in Bezug auf eine Rotorachse der Vakuumpumpe ausgerichtet sein und/oder an einem, insbesondere nicht pumpaktiven, Rotorkern vorbeigeführt sein. Dies gilt insbesondere für den gemeinsamen Strahl, also vor Passage der Umlenkeinrichtung, und/oder für den ersten und/oder zweiten Teilstrahl.

[0038] Vorteilhafterweise kann es vorgesehen sein, dass der Strahl, insbesondere der zweite Teilstrahl, in einer die Pumpwirkung unterstützenden Richtung in den pumpaktiven Bereich geführt ist. Somit kann unter Ausnutzung des zugrunde liegenden Pumpprinzips der Strahl derart in den pumpaktiven Bereich geführt werden, dass die Teilchen des Strahls besonders zuverlässig eingefangen werden. Im Fall einer Turbomolekularvakuumpumpe bzw. Turbopumpstufe kann der Strahl bevorzugt eine Richtung aufweisen, die bei Eintritt in den pumpaktiven Bereich zumindest mit einer Komponente entgegen der Drehrichtung des Turborotors verläuft. Der Strahl läuft somit den Rotorscheufeln entgegen. Dabei hat der Strahl bevorzugt außerdem eine Richtungskomponente

in Pumprichtung bzw. parallel zur Rotorachse in Richtung des Auslasses. Auch wenn eine gegenläufige Einleitung des Strahls vorteilhaft ist, versteht es sich, dass es ebenso und in gewisser Hinsicht ebenfalls vorteilhaft möglich ist, dass der Strahl mitläufig mit den Rotorscheaufeln in den pumpaktiven Bereich geführt ist, also mit einer Richtungskomponente in Drehrichtung der Rotorscheaufeln. Grundsätzlich ist auch eine Einleitung des Strahls parallel zur Rotorachse, also weder gegen- noch mitläufig, möglich.

[0039] Besonders vorteilhaft ist insbesondere bei einer Turbomolekularpumpe eine Eintrittsrichtung des Strahls entgegen dem lokalen Drehrichtungssinn des Rotors, so dass die Teilchen bestenfalls die erste Rotorscheibe ohne Schaufelkontakt passieren können und erst an der darunter liegenden Statorscheibe einen Erstkontakt mit anschließender Ablenkung in der üblichen Kosinusverteilung im molekularen Druckbereich erhalten. Allgemein bevorzugt kann der Strahl derart geführt sein, dass seine Teilchen möglichst ohne Kollision mit als Rotorelementen ausgebildeten Pumpelementen, wie zum Beispiel Turborotorscheaufeln, von diesen eingefangen werden. Vorzugsweise sollen also möglichst viele Teilchen des Strahls die Ebene der Turborotorscheaufeln ohne Kollision durchtreten können. Hierzu wird der Strahl insbesondere unter Berücksichtigung seiner Teilchengeschwindigkeit, des Anstellwinkels der Rotorscheaufeln und/oder der Drehgeschwindigkeit des Rotors bzw. der Rotorscheaufeln ausgerichtet.

[0040] Auch die Wahl des Eintrittspunkts des Strahls in den pumpaktiven Bereich in Relation zum aktiven Rotorscheibendurchmesser bzw. zu den effektiven Außen- und Innendurchmessern der Rotorscheaufeln unterliegt der Optimierung, da damit der erste Ablenkpunkt an einer dahinter liegenden Statorscheibe maßgeblich mitbestimmt wird. Dieser Ablenkpunkt sollte vorteilhaft innerhalb eines gedachten Ringzylinders in axialer Fortführung des von den Rotorscheaufeln überstrichenen Bereichs liegen, so dass ein optimales Weiterpumpen erfolgen kann. Zum Beispiel kann es vorgesehen sein, dass das aktive Pumpelement durch eine Turborotorscheibe mit mehreren über den Umfang der Turborotorscheibe verteilt angeordneten Rotorscheaufeln gebildet ist, wobei die Rotorscheaufeln eine radiale Erstreckung von einem radial inneren Ende zu einem radial äußeren Ende der Rotorscheaufeln aufweisen. Dabei kann bevorzugt der Strahl auf einen radialen Bereich der Rotorscheaufeln geführt sein, der vom radial inneren Ende und/oder vom radial äußeren Ende der Rotorscheaufeln um wenigstens ein Viertel der radialen Erstreckung beabstandet ist. Insbesondere kann der Strahl etwa radial mittig oder etwa bei einem Drittel der radialen Erstreckung gemessen vom radial äußeren Ende der Rotorscheaufeln auf diese geführt sein. Diese Merkmale dienen dazu, möglichst viele Teilchen des Strahls, insbesondere des zweiten Teilstrahls bzw. möglichst viele Schmutzpartikel, einfangen zu können.

[0041] In dieser Hinsicht ebenfalls vorteilhaft aber un-

abhängig hiervon kann es vorgesehen sein, dass das pumpaktive Element ein Rotorelement ist, wobei der Strahl derart in den pumpaktiven Bereich des Rotorelements geführt ist, dass an einem Eintrittspunkt des Strahls in den pumpaktiven Bereich der Strahl eine Richtung, insbesondere in Bezug auf einen Querschnitt senkrecht zur Rotorachse, aufweist, die nach außen, tangential oder nach innen gerichtet ist.

[0042] Bei weiteren Ausführungsformen ist vorgesehen, dass das aktive Pumpelement durch eine Turborotorscheibe mit mehreren über den Umfang der Turborotorscheibe verteilt angeordneten Rotorscheaufeln gebildet ist, wobei die Rotorscheaufeln einen Anstellwinkel in Bezug auf die Rotorachse aufweisen und wobei der Strahl beim Eintritt in den pumpaktiven Bereich flacher angestellt ist als die Rotorscheaufeln, entsprechend den Rotorscheaufeln angestellt ist oder steiler angestellt ist als die Rotorscheaufeln. Ein vorteilhafter Winkel unterliegt der Optimierung und ist abhängig von vielen Randbedingungen.

[0043] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Vakuumpumpe mehrstufig ausgebildet ist, der zweite Teilstrahl in eine Pumpstufe geführt ist und der erste Teilstrahl in eine Kammer geführt ist, die an einer weiteren, insbesondere in Pumprichtung vorgeschalteten, insbesondere in Pumprichtung ersten, Pumpstufe der Vakuumpumpe angeschlossen ist. Diese Ausführungsform erlaubt eine besonders kompakte Bauweise bei gleichzeitig hoher Güte des ersten Teilstrahls, indem dieselbe Vakuumpumpe einerseits den zweiten Teilstrahl einfängt und andererseits die Kammer evakuiert. Die Pumpstufe, in die der zweite Teilstrahl geführt ist, ist insbesondere in Pumprichtung der an die Kammer angeschlossenen, insbesondere ersten, Pumpstufe nachgeordnet und schließt sich insbesondere in Pumprichtung an einen Zwischenstufenbereich an, insbesondere durch den der Strahl hindurchgeleitet ist.

[0044] Die Vakuumpumpe kann zum Beispiel allgemein als Molekularpumpe ausgebildet sein, zum Beispiel als Turbomolekularpumpe und/oder Holweckpumpe. Grundsätzlich kann die Vakuumpumpe auch als Kryopumpe ausgebildet sein. Schließlich sind Kombinationen verschiedener Pumpentypen, beispielsweise in Form von unterschiedlichen Pumpstufen, vorteilhaft.

[0045] Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch eine Vakuumpumpe nach dem hierauf gerichteten, unabhängigen Anspruch. Die Vakuumpumpe umfasst wenigstens zwei, insbesondere in Reihe geschaltete, Pumpstufen, wobei, insbesondere in Pumprichtung, zwischen den Pumpstufen ein Zwischenstufenbereich angeordnet ist. Die Vakuumpumpe weist am Zwischenstufenbereich einen ersten Zwischenanschluss zum Eintritt eines Teilchenstrahls in den Zwischenstufenbereich und einen zweiten Zwischenanschluss zum Austritt eines Teilchenstrahls aus dem Zwischenstufenbereich auf. Die Zwischenanschlüsse sind in Umfangsrichtung voneinander getrennt und beabstandet. Die Trennung und beabstandete Anordnung der Zwischenanschlüsse verbes-

sert die Qualität des austretenden, ersten Teilstrahls und somit das Analyseergebnis.

[0046] Insbesondere können am Zwischenstufenbereich genau zwei Zwischenanschlüsse vorgesehen sein. Grundsätzlich sind aber auch mehr als zwei Zwischenanschlüsse am Zwischenstufenbereich möglich. Wenigstens einer der Zwischenanschlüsse, bevorzugt beide Zwischenanschlüsse, kann beispielsweise einen eigenen Flansch aufweisen.

[0047] Außerdem können grundsätzlich auch mehrere Zwischenstufenbereiche mit Durchleitung des Teilchenstrahls vorgesehen sein.

[0048] Die Zwischenanschlüsse sind in Umfangsrichtung voneinander getrennt und beabstandet, insbesondere wobei sich eine Gehäusewand in Umfangsrichtung zwischen den Zwischenanschlüssen erstreckt. Die Gehäusewand erstreckt sich bevorzugt in Umfangsrichtung über einen Winkelbereich von wenigstens 20°, insbesondere wenigstens 40°, in Bezug auf eine Zentral- und/oder Rotorachse.

[0049] Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Zwischenanschlüsse derart angeordnet sind, dass sich keine gerade Linie durch die Zwischenanschlüsse legen lässt. Die Zwischenanschlüsse sind demnach nicht "optisch durchsichtig" und man kann durch die Zwischenanschlüsse nicht "geradeaus durchgucken".

[0050] Allgemein können die Zwischenanschlüsse bevorzugt pfeilförmig angeordnet bzw. ausgerichtet sein, wobei die Pfeilrichtung bevorzugt im Wesentlichen in Pumprichtung der Vakuumpumpe zeigt.

[0051] Beispielsweise kann wenigstens einer der Zwischenanschlüsse eine Flanschebene aufweisen, die schräg in Bezug auf eine Rotorachse angeordnet ist. Ein Winkel zwischen der Flanschebene und der Rotorachse kann dabei bevorzugt im Bereich von 40° bis 60° liegen. Insbesondere können beide Zwischenanschlüsse schräg und insbesondere mit dem angegebenen Winkelbereich zur Rotorachse angeordnet sein.

[0052] Insbesondere ist ein Teilchenstrahl durch den Zwischenstufenbereich derart hindurchführbar, dass ein Teil des Strahls, nämlich ein erster Teilstrahl, wieder aus dem Zwischenstufenbereich austritt und dass ein anderer Teil des Strahls, nämlich ein zweiter Teilstrahl, in einen pumpaktiven Bereich der Vakuumpumpe geführt ist.

[0053] Die Vakuumpumpe umfasst gemäß einer Ausführungsform eine Umlenkeinrichtung für einen Teilchenstrahl im Zwischenstufenbereich, mittels derer der Strahl in wenigstens zwei Teilstrahlen aufteilbar ist und die dazu eingerichtet ist, dass ein erster Teilstrahl zum zweiten Zwischenanschluss, und insbesondere durch diesen hindurch zu einer Analysatoreinheit, geführt ist und ein zweiter Teilstrahl in eine dem Zwischenstufenbereich nachgeordnete Pumpstufe geführt ist.

[0054] Die Zwischenanschlüsse können mit Vorteil zumindest im Wesentlichen gegenüberliegend angeordnet sein, dabei bevorzugt nicht radial gegenüberliegend, sondern mit einer in Bezug auf einen Pumpenquerschnitt

außermittig verlaufenden Verbindungslinie.

[0055] Die Aufgabe wird auch gelöst durch ein Gasanalyseverfahren, insbesondere Massenspektrometrie- verfahren, nach dem hierauf gerichteten Anspruch. Insbesondere wird dieses Verfahren mit einem Vakuumsystem wie hierin offenbart und/oder mit einer Vakuumpumpe wie hierin offenbart durchgeführt. Dabei wird eine bzw. die Vakuumpumpe mit einem pumpaktiven Bereich, in dem ein Gas mittels eines aktiven Pumpelements förderbar ist, bereitgestellt, ein Strahl von zu analysierenden Teilchen erzeugt und der Strahl mittels einer Umlenkeinrichtung derart umgelenkt, dass unterschiedliche Bestandteile des Strahls unterschiedlich abgelenkt werden, sodass wenigstens ein erster und ein zweiter Teilstrahl ausgebildet werden, wobei der zweite Teilstrahl in den pumpaktiven Bereich der Vakuumpumpe geführt wird, und wobei der erste Teilstrahl nicht in den pumpaktiven Bereich der Vakuumpumpe geführt, sondern analysiert wird.

[0056] Es versteht sich, dass das erfindungsgemäße Vakuumsystem und seine Ausführungsformen durch die Merkmale der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe und des Gasanalyseverfahrens sowie ihrer Ausführungsformen einzeln und in Kombination zumindest sinngemäß vorteilhaft weitergebildet werden können, und umgekehrt.

[0057] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

- | | |
|--------------|--|
| Fig. 1 | eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe, |
| Fig. 2 | eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1, |
| Fig. 3 | einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A, |
| Fig. 4 | eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B, |
| Fig. 5 | eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C, |
| Fig. 6 bis 9 | schematisch verschiedene Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Vakuumsystems, |
| Fig. 10 | eine Vakuumpumpe im Querschnitt mit einer Umlenkeinrichtung, |
| Fig. 11 | eine mehrstufige Vakuumpumpe mit Zwischenanschlüssen, |

Fig. 12 bis 14 verschiedene Ausrichtungsmöglichkeiten für den Strahl in Bezug auf einen Rotor einer Turbomolekularpumpe.

[0058] 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.

[0059] 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. 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.

[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, gebracht 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.

[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.

[0062] 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.

[0063] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann.

[0064] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0065] 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.

[0066] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0067] 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.

[0068] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. 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.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 163, 165 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.

[0072] 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.

[0073] 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. Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0074] 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.

[0075] 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 203 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.

[0076] 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, da 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.

[0077] 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.

[0078] 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.

[0079] 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.

[0080] Die nachfolgend beschriebenen Pumpen und Systeme sind stark schematisiert und vereinfacht dargestellt. Sie sind zwecks praktischer Umsetzung vorteilhaft mit einzelnen oder mehreren Merkmalen der vorstehend insbesondere anhand der Fig. 1 bis 5 beschriebenen Pumpe ausführbar.

[0081] In Fig. 6 ist ein Gasanalysesystem 20 gezeigt, welches eine Vakuumpumpe 22, eine Umlenkeinrichtung 24 für einen Teilchenstrahl 26 sowie eine Analysatoreinheit 28 umfasst. Die Umlenkeinrichtung 24 ist dazu eingerichtet, den Strahl 26 in wenigstens einen ersten Teilstrahl 30 und einen zweiten Teilstrahl 32 aufzuteilen, indem die Bestandteile der betreffenden Teilstrahlen durch die Umlenkeinrichtung 24 unterschiedlich stark abgelenkt werden.

[0082] Die Umlenkeinrichtung 24 ist hier lediglich durch einen Kreis angedeutet, der ein durch die Umlenkeinrichtung 24 erzeugtes Magnetfeld oder elektrisches Feld symbolisiert.

[0083] Die Moleküle des Strahls 26 vor Passage der Umlenkeinrichtung 24, also des gemeinsamen Strahls, haben eine bestimmte Geschwindigkeit und sind teilweise geladen. Im Feld der Umlenkeinrichtung 24 werden die Moleküle insbesondere in Abhängigkeit von ihrer Masse und ihrer Ladung (bei unterschiedlicher Geschwindigkeit auch abhängig von dieser) unterschiedlich stark abgelenkt. Ungeladene Moleküle werden nicht abgelenkt und fliegen geradeaus. Diese Moleküle bilden hier den zweiten Teilstrahl 32, der hier und im Folgenden gepunktet dargestellt ist.

[0084] Geladene Teilchen einer bestimmten Art werden entsprechend der gestrichelten Linie des ersten Teilstrahls 30 abgelenkt und sind zu der Analysatoreinheit 28 geführt. Diese Teilchen sind es, die durch die Analysatoreinheit 28 zu detektieren sind. Die Teilchen des zweiten Teilstrahls 32 bilden in diesem Zusammenhang Schmutzpartikel und sind im Bereich der Analysatoreinheit 28 nicht erwünscht.

[0085] Es versteht sich, dass typische Teilchenstrahlen 26 von Gasanalysesystemen meist mehr als zwei Bestandteile, also mehr als zwei verschiedene Molekülarten aufweisen. Folglich werden typischerweise nicht lediglich zwei diskrete Teilstrahlen 30, 32 ausgebildet,

sondern tatsächlich bildet sich ein ganzer Fächer von Teilstrahlen aus. Dieser Fächer enthält zum großen Teil Schmutzpartikel, also Teilstrahlen, die nicht zur Analysatoreinheit 28 geführt werden sollen. Das Ziel ist es, möglichst viele Schmutzpartikel und möglichst viele zweite Teilstrahlen, die Schmutzpartikel umfassen, in einen pumpaktiven Bereich 34 der Vakuumpumpe 22 zu führen. Hierdurch werden die Schmutzpartikel aktiv abgeführt und eine Kontamination des ersten Teilstrahls 30 sowie des Bereichs der Analysatoreinheit 28 wird reduziert.

[0086] Der pumpaktive Bereich 34 ist hier zumindest durch eine in Pumprichtung der Vakuumpumpe 22 erste Turborotorscheibe 36 gebildet und konkret durch deren über den Umfang verteilt angeordnete Rotorscheaufeln. Die Vakuumpumpe 22 umfasst beispielhaft mehrere Turborotorscheiben 36, allgemein Turbokstufen, sowie eine Holweckstufe 38.

[0087] Bei der Ausführungsform der Fig. 6 ist der zweite Teilstrahl 32 parallel zur Rotorachse 40 der Vakuumpumpe 22 und parallel zu deren Pumprichtung in den pumpaktiven Bereich 34 geführt. Bei der Ausführungsform der Fig. 7 ist der zweite Teilstrahl 32 hingegen schräg zur Rotorachse 40 in den pumpaktiven Bereich 34 geführt. In Fig. 7 ist zudem eine Blende 42 für den ersten Teilstrahl 30 angedeutet, die der Umlenkeinrichtung 24 nachgeschaltet ist und die Selektion der Teilstrahlen weiter verbessert.

[0088] Insbesondere mit Blick auf die Fig. 6 und 7 lässt sich außerdem eine nicht separat dargestellte, gleichwohl hiermit offenbarte erfindungsgemäße Ausführungsform eines Vakuumsystems beschreiben, bei der keine Umlenkeinrichtung vorgesehen ist und bei der keine Teilstrahlen ausgebildet werden. Dabei wird insbesondere der Strahl 26 in den pumpaktiven Bereich der Pumpstufe 36 geführt, wobei der Weg des Strahls 26 insbesondere demjenigen des zweiten Teilstrahls 32 bzw. dem gepunkteten Pfeil entspricht. Die Teilchen des in die Pumpstufe 36 geführten Strahls 26 bzw. 32 werden direkt von der Pumpstufe 36 eingefangen und vorteilhaft abgeführt, unabhängig davon, ob zuvor Teile des Strahls 26 umgelenkt wurden.

[0089] In Fig. 8 ist ein Gasanalysesystem 20 mit einer mehrstufigen Vakuumpumpe 22 dargestellt, wobei der Strahl 26 bzw. die Teilstrahlen 30 und 32 durch einen Zwischenstufenbereich 44 geführt sind. Dabei ist der zweite Teilstrahl 32 in einen pumpaktiven Bereich einer dem Zwischenstufenbereich 44 in Pumprichtung nachgeordneten Turborotorscheibe 36 geführt.

[0090] Der gemeinsame Strahl 26 ist in den Zwischenstufenbereich 44 durch einen ersten Zwischenanschluss 46 geführt. Der erste Teilstrahl 30 tritt aus dem Zwischenstufenbereich 44 durch einen zweiten Zwischenanschluss 48 aus.

[0091] Die Umlenkeinrichtung 24 ist im Zwischenstufenbereich 44 angeordnet bzw. wirksam und bewirkt dort die Aufteilung des gemeinsamen Strahls 26 in die Teilstrahlen 30, 32.

[0092] Bei der Ausführungsform der Fig. 8 ist der Zwischenanschluss 48 an eine Kammer 50 angeschlossen. In dieser Kammer 50 befindet sich die Analysatoreinheit 28 und der erste Teilstrahl 30 ist durch den Zwischenanschluss 48 zu der Analysatoreinheit 28 geführt. Die Kammer 50 ist zudem an einen Einlass 52 der Vakuumpumpe 22 angeschlossen, wobei in dieser Ausführungsform ein weiterer Satz von Turborotorscheiben 54 am Einlass 52 angeordnet ist und die Kammer 50 evakuiert.

[0093] Die Turborotorscheiben 36 und 54 sind auf einer gemeinsamen Rotorwelle 56 angeordnet, auf der sich in diesem Beispiel auch ein Holweckrotor der Holweck-pumpstufe 38 befindet.

[0094] Die Vakuumpumpe 22 wird in dieser Ausführungsform einerseits zur verbesserten Auftrennung der Teilstrahlen 30 und 32 eingesetzt, indem die Moleküle des zweiten Teilstrahls 32 aktiv abgeführt werden und somit der erste Teilstrahl 30 gewissermaßen gereinigt wird. Andererseits dient die Vakuumpumpe 22 gleichzeitig der Evakuierung der Kammer 50, in der sich die Analysatoreinheit 28 befindet. Hieraus ergibt sich eine äußerst kompakte Bauweise bei vorteilhafter Analysegenauigkeit.

[0095] Bei der gezeigten Ausführungsform sind zudem der gemeinsame Strahl 26 und der erste Teilstrahl 30 schräg in Bezug auf die Rotorachse bzw. die Rotorwelle 56 ausgerichtet. Aus Fig. 8 ergibt sich, dass dies ebenfalls der kompakten Bauweise zuträglich ist.

[0096] Allgemein und am Beispiel der Fig. 8 anschaulich nachvollziehbar gilt, dass der gemeinsame Teilchenstrahl 26 auch Moleküle umfassen kann, die stärker geladen sind und/oder leichter sind als diejenigen des ersten Teilstrahls 30. Allgemein kann der gemeinsame Strahl 26 also Moleküle umfassen, die noch stärker abgelenkt werden als der erste Teilstrahl 30. Ein hieraus resultierender, der Übersichtlichkeit halber in den Figuren nicht gezeigter, dritter Teilstrahl wird durch die Umlenkeinrichtung 24 also entgegen der Pumprichtung auf die in Pumprichtung letzte der Turborotorscheiben 54 geführt. Auch dieser dritte Teilstrahl ist damit auf einen pumpaktiven Bereich geführt, anders als der zweite Teilstrahl 32 allerdings nicht in Pumprichtung, sondern entgegen der Pumprichtung. Gleichwohl verleiht die betreffende Turborotorscheibe 54 bzw. deren Rotorscheaufeln den Molekülen des dritten Teilstrahls eine Vorzugsrichtung in Pumprichtung, sodass auch diese Moleküle aktiv abgeführt werden. Bei diesen Molekülen ist zwar dann eine Kollision mit den Molekülen des ersten Teilstrahls 30 möglich. Gleichwohl wird insgesamt die Wahrscheinlichkeit verringert, dass die Moleküle des dritten Teilstrahls durch den Zwischenanschluss 48 austreten bzw. zur Analysatoreinheit 28 gelangen. Auch in Bezug auf den dritten Teilstrahl wird somit das Analyseergebnis verbessert.

[0097] Grundsätzlich kann der dritte Teilstrahl auch auf eine Statorscheibe geführt sein, die der letzten der Turborotorscheiben 54 nachgeordnet ist. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass in den Figuren 6 bis 14 keine

Statorscheiben gezeigt sind, dass jedoch allgemein vorteilhaft eine solche einer jeweiligen Turborotorscheibe zugeordnet, insbesondere nachgeordnet, ist. Auch eine Statorscheibe als Scheibe, auf welche der dritte Teilstrahl trifft, ist grundsätzlich vorteilhaft in diesem Zusammenhang, wenngleich sie auch nicht aktiv wirkt. Denn ihre dem Zwischenstufenbereich 44 zugewandte Oberfläche gibt eine vorteilhafte Desorptionsrichtungsverteilung für ein daran haftendes Teilchen vor, wobei die Wahrscheinlichkeit für eine Desorption mit Bewegungskomponente in Pumprichtung hoch ist.

[0098] Wie bereits angedeutet, bilden sich zwischen dem ersten Teilstrahl 30 und dem zweiten Teilstrahl 32 einerseits sowie zwischen dem ersten Teilstrahl 30 und dem vorstehend beschriebenen dritten Teilstrahl in der Praxis zahlreiche weitere Teilstrahlen aus, die im Wesentlichen fächerartig ausgerichtet sind. Einige dieser Teilstrahlen landen auf passiven Bauteilen, insbesondere auf einer Gehäuseinnenwand. Diese Moleküle desorbieren von der Gehäuseinnenwand mit statistischer Richtungsverteilung, was allgemein ungünstig im Hinblick auf das Ziel ist, möglichst wenige Schmutzpartikel zu der Analysatoreinheit 28 gelangen zu lassen. Folglich gilt es, möglichst viele Teilstrahlen und möglichst viele Moleküle, die vom ersten Teilstrahl 30 verschieden sind, also möglichst viele Schmutzpartikel, zu einem pumpaktiven Bereich der Vakuumpumpe 22, insbesondere zu den Turborotorscheaufeln, zu führen.

[0099] Die Ausführungsform der Fig. 9 ist derjenigen der Fig. 8 insgesamt ähnlich, zeichnet sich aber dadurch aus, dass hier zwei Umlenkeinrichtungen 24 im Zwischenstufenbereich 44 vorgesehen sind, dies im Gegensatz zu der beispielhaft einzigen Umlenkeinrichtung 24 der Ausführungsform der Fig. 8.

[0100] Eine in Richtung des Strahls 26 erste Umlenkeinrichtung 24 trennt die Teilstrahlen 30 und 32 auf. Die nachgeordnete Umlenkeinrichtung 24 dient hingegen lediglich der weiteren Umlenkung bzw. weiteren Reinigung des ersten Teilstrahls 30. Grundsätzlich sind verschiedene Anordnungen von Umlenkeinrichtungen möglich.

[0101] Die Felder der zwei Umlenkeinrichtungen 24 der Ausführungsform der Fig. 9 durchdringen den Rotor der Vakuumpumpe 22 und dessen rotierende Teile in deutlich geringerem Maße, als das Feld der Umlenkeinrichtung 24 der Ausführungsform der Fig. 8. Es ergeben sich somit bei dieser Ausführungsform deutlich geringere Wirbelstromverluste und somit eine geringere Erwärmung des Rotors.

[0102] In Fig. 10 ist eine Vakuumpumpe 22, zum Beispiel diejenige der Ausführungsform der Fig. 8, im Querschnitt dargestellt, wobei die Schnittebene senkrecht zu einer Rotorwelle 56 ausgerichtet und insbesondere auf axialer Höhe eines Zwischenstufenbereichs 44 angeordnet ist. An dem Zwischenstufenbereich 44 sind ein erster Zwischenanschluss 46 und ein zweiter Zwischenanschluss 48 vorgesehen. Diese sind separat voneinander ausgeführt und in Umfangsrichtung in Bezug auf die Rotorwelle 56 beabstandet. In Umfangsrichtung zwischen

den Zwischenanschlüssen 46 und 48 erstreckt sich eine Gehäusewand 58 der Vakuumpumpe 22. Zwischen der Gehäusewand 58 und der Rotorwelle ist ein Umlenkeinrichtung 24 wirksam.

[0103] Die Zwischenanschlüsse 46 und 48 sind gegenüberliegend voneinander angeordnet, nämlich derart, dass eine Verbindungslinie außermittig an der Rotorwelle 56 vorbei verläuft.

[0104] Ein Strahl 26 ist durch eine hier durchgehend dargestellte Linie angedeutet. Denn aufgrund der gewählten Perspektive sind hier der erste Teilstrahl 30 und der zweite Teilstrahl 32 nicht separat sichtbar, sondern liegen übereinander. Es versteht sich aber, dass die hier gewählte Strahlausrichtung, mit Strahlebene parallel zur Rotorachse bzw. zur Rotorwelle 56, beispielhaft ist.

[0105] Der gemeinsame Strahl 26 tritt durch den ersten Zwischenanschluss in den Zwischenstufenbereich 44 ein und gelangt in den Wirkbereich der Umlenkeinrichtung 24. Dort wird der Strahl 26 in die Teilstrahlen 30, 32 aufgeteilt, wobei der erste Teilstrahl 30 durch den zweiten Zwischenanschluss 48 aus dem Zwischenstufenbereich 44 herausgeführt ist.

[0106] Der zweite Teilstrahl 32 ist auf den pumpaktiven Bereich der sichtbaren Turborotorscheibe 36, konkret auf den von den mehreren Rotorscheaufeln 60 überstrichenen Bereich geführt. Bevorzugt verläuft die Rotationsrichtung der Rotorwelle 56 bzw. der Turborotorscheibe 36 hier mit dem Uhrzeigersinn.

[0107] Fig. 11 zeigt eine Vakuumpumpe 22 mit Zwischenanschlüssen 46 und 48 an einem Zwischenstufenbereich 44. Ein jeweiliger Zwischenanschluss 46 umfasst einen Flansch 62 bzw. 64 zum dichten Anschluss der Zwischenanschlüsse 46, 48 an weitere Komponenten. Der Flansch 62 weist eine Flanschebene 66 auf, die schräg zur Rotorachse 40 verläuft. Auch der Flansch 64 weist eine Flanschebene 68 auf, die schräg zur Rotorachse 40 ausgerichtet ist.

[0108] Die Zwischenanschlüsse 46 und 48 sind derart angeordnet, dass sich keine gerade Linie durch die Zwischenanschlüsse legen lässt, dass die Zwischenanschlüsse also nicht optisch durchsichtig sind.

[0109] Die Zwischenanschlüsse 46 und 48 sind in dieser Ausführungsform pfeilförmig angeordnet. Typischerweise werden mögliche Winkel der Zwischenanschlüsse und/oder Flanschebenen in Bezug auf die Rotorachse mit denjenigen der Strahlen 26 und 30 korrelieren. Die Winkel der Zwischenanschlüsse und/oder Flanschebenen können aber auch in einem deutlich weiteren Winkelbereich liegen, da gegebenenfalls die eigentliche Umlenkung in der Umgebung der Anschlussebene erfolgen kann und damit eine weitgehend freie Winkelwahl möglich wird.

[0110] Die Vakuumpumpe 22 weist einen Einlass 52 auf. Dieser kann zum Beispiel an eine Kammer angeschlossen sein, zum Beispiel ebenfalls über einen Flansch. Dabei kann die Flanschebene zum Beispiel senkrecht zur Rotorachse 40 verlaufen oder ebenfalls schräg verlaufen. Zum Beispiel kann die Flanschebene

des Einlasses 52 auch parallel zu derjenigen des Flansches 64 ausgerichtet sein, sodass die Pumpe 22 mit den Anschlüssen 48 und 52 vorteilhaft an ein Kammergehäuse angeschlossen werden kann.

[0111] In Fig. 12 ist eine Rotorwelle 56 mit Rotorscheaufeln 60 einer Turborotorscheibe im Querschnitt dargestellt. Eine Drehrichtung ist entgegen dem Uhrzeigersinn angedeutet. Unterschiedlich ausgerichtete zweite Teilstrahlen 32 sind durch Pfeile angedeutet. Der Bezug auf zweite Teilstrahlen 32 ist hier und im Folgenden beispielhaft und zur erleichterten Anknüpfung an die vorstehend beschriebenen Beispiele mit Umlenkeinrichtung gewählt. Es versteht sich, dass die mit Bezug auf die Fig. 12 bis 14 veranschaulichten Möglichkeiten der Strahlausrichtung auch für einen Strahl im Allgemeinen Gültigkeit besitzen, unabhängig davon, ob dieser zuvor separiert und/oder umgelenkt wurde.

[0112] Ein Eintrittspunkt in den pumpaktiven Bereich ist in Fig. 12 jeweils durch das Pfeilende der gepunkteten Pfeile angedeutet. Dabei ist eine Rotorscheaufel 60 zwecks Illustration genau bei einer den Eintrittspunkten entsprechenden Drehstellung gezeigt. Der zweite Teilstrahl 32.1 ist derart in den pumpaktiven Bereich geführt, dass an dem Eintrittspunkt der Teilstrahl 32.1 eine Richtung aufweist, die nach innen gerichtet ist. Der zweite Teilstrahl 32.2 ist am Eintrittspunkt tangential in Bezug auf die Rotorwelle 56 ausgerichtet. Der Teilstrahl 32.3 ist am Eintrittspunkt nach außen gerichtet. Mit anderen Worten tritt der Teilstrahl 32.1 in den pumpaktiven Bereich ein, bevor er die Rotorwelle 56 bzw. einen zur Rotorachse nächsten Punkt passiert. Der Teilstrahl 32.3 hat hingegen vor Eintritt in den pumpaktiven Bereich die Rotorwelle 56 passiert. Der Teilstrahl 32.2 tritt in den pumpaktiven Bereich an dem Punkt ein, an dem er die Rotorwelle 56 passiert.

[0113] Fig. 13 illustriert weitere Ausrichtungsmöglichkeiten eines Strahls, insbesondere zweiten Teilstrahls, die eine andere Perspektive veranschaulichen und insofern unabhängig oder in Kombination mit den Ausrichtungen gemäß Fig. 12 anwendbar sind.

[0114] In Fig. 13 sind mehrere Rotorscheaufeln 60 vereinfacht in einer Reihe dargestellt, wobei eine Rotationsrichtung durch einen Pfeil angedeutet ist und in der Bildebene nach rechts verläuft. Die Rotorscheaufeln 60 weisen einen Anstellwinkel 69 in Bezug auf die Rotorachse 40 auf.

[0115] Die zweiten Teilstrahlen 32 können unterschiedlich in Bezug auf die Rotorachse angeordnet sein. So ist beispielsweise der Teilstrahl 32.4 parallel zur Rotorachse ausgerichtet und allgemein steiler als der Anstellwinkel der Rotorscheaufeln ausgerichtet. Der zweite Teilstrahl 32.5 entspricht in seiner Richtung den Rotorscheaufeln 60, ist also entsprechend angestellt. Der zweite Teilstrahl 32.6 ist hingegen flacher als die Rotorscheaufeln 46 angestellt. Nicht dargestellt, aber ebenfalls möglich ist eine mitläufige Strahlausrichtung, also eine Strahlausrichtung mit einer Richtungskomponente in Drehrichtung.

[0116] In Fig. 14, die einen Querschnitt des Rotors bzw. der Rotorwelle 56 andeutet, ist eine radiale Erstreckung 70 einer Rotorscheufel 60 gezeigt, welche sich im Betrieb um die Rotorachse dreht, die in Fig. 14 senkrecht zur Bildebene verläuft. Die Rotorscheufel 60 erstreckt sich von einem radial inneren Ende, welches durch einen Rotorkern, eine Rotorwelle 56 und/oder einen Schaufelgrund definiert ist, zu einem radial äußeren Ende. Die radiale Erstreckung 70 bildet einen pumpaktiven Bereich der Rotorscheufel 60 bzw. eines Turborotors. Vorteilhafterweise kann der zweite Teilstrahl 32 auf einen radialen Bereich 72 der Rotorscheufeln 60 geführt sein, der vom radial inneren Ende und/oder vom radial äußeren Ende der Rotorscheufeln um wenigstens ein Viertel der radialen Erstreckung beabstandet ist. Insbesondere kann der zweite Teilstrahl 32 etwa radial mittig oder etwa bei einem Drittel der radialen Erstreckung gemessen vom radial äußeren Ende der Rotorscheufeln 60 auf diese geführt sein.

[0117] Es ist somit anschaulich nachvollziehbar, dass durch die Erfindung insbesondere die Schmutzpartikel bzw. solche Moleküle, die nicht der Analysatoreinheit zugeführt werden sollen, vorteilhaft abgeführt werden. Allgemein ermöglicht die erfindungsgemäße Strahlausrichtung eine besonders hohe Einfangwahrscheinlichkeit für die Teilchen des Strahls, der in den pumpaktiven Bereich geführt ist, insbesondere des zweiten Teilstrahls, und insbesondere für solche Teilchen, die nicht zum ersten Teilstrahl gehören. Dabei kommt insbesondere das zumindest im Wesentlichen ganze Saugvermögen der Pumpstufe, insbesondere Turborotorscheibe, zum Tragen, in deren pumpaktiven Bereich der Strahl geführt ist. Der pumpaktive Bereich ist vorteilhaft nah an der Umlenkeinrichtung und somit an dem Ort angeordnet, an dem die Teilstrahlen separiert werden. Somit sind Leitwertverluste zwischen diesem Ort und dem pumpaktiven Bereich klein. Im Stand der Technik mussten teilweise zusätzliche Ablenkungen der Schmutzpartikel auf dem Weg in die Vakuumpumpe in Kauf genommen werden, womit allgemein Leitwertverluste einhergehen. Im Ergebnis ist es also durch die Erfindung möglich, einen besonders großen Teil von Schmutzpartikeln besonders wirksam abzuführen und so insbesondere die Analysegenauigkeit zu verbessern.

Bezugszeichenliste

[0118]

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
 5 139 Kühlmittelanschluss
 141 Unterseite
 143 Schraube
 145 Lagerdeckel
 147 Befestigungsbohrung
 10 148 Kühlmittelleitung
 149 Rotor
 151 Rotationsachse
 153 Rotorwelle
 155 Rotorscheibe
 15 157 Statorscheibe
 159 Abstandsring
 161 Rotornabe
 163 Holweck-Rotorhülse
 165 Holweck-Rotorhülse
 20 167 Holweck-Statorhülse
 169 Holweck-Statorhülse
 171 Holweck-Spalt
 173 Holweck-Spalt
 175 Holweck-Spalt
 25 179 Verbindungskanal
 181 Wälzlager
 183 Permanentmagnetlager
 185 Spritzmutter
 187 Scheibe
 30 189 Einsatz
 191 rotorseitige Lagerhälfte
 193 statorseitige Lagerhälfte
 195 Ringmagnet
 197 Ringmagnet
 35 199 Lagerspalt
 201 Trägerabschnitt
 203 Trägerabschnitt
 205 radiale Strebe
 207 Deckelelement
 40 209 Stützring
 211 Befestigungsring
 213 Tellerfeder
 215 Not- bzw. Fanglager
 217 Motorstator
 45 219 Zwischenraum
 221 Wandung
 223 Labyrinthdichtung
 20 Gasanalysesystem
 22 Vakuumpumpe
 50 24 Umlenkeinrichtung
 26 Teilchenstrahl
 28 Analysatoreinheit
 30 erster Teilstrahl
 32 zweiter Teilstrahl
 55 34 pumpaktiver Bereich
 36 Turborotorscheiben
 38 Holweckstufe
 40 Rotorachse

42 Blende
 44 Zwischenstufenbereich
 46 erster Zwischenanschluss
 48 zweiter Zwischenanschluss
 50 Kammer
 52 Einlass
 54 Turborotorscheiben
 56 Rotorwelle
 58 Gehäusewand
 60 Rotorschaukel
 62 Flansch
 64 Flansch
 66 Flanschebene
 68 Flanschebene
 69 Anstellwinkel
 70 radiale Erstreckung
 72 Radialbereich

Patentansprüche

1. Vakuumsystem (20), insbesondere Massenspektrometriesystem, umfassend:

eine Vakuumpumpe (22) mit einem pumpaktiven Bereich (34), in dem ein Gas mittels eines aktiven Pumpelements (36) förderbar ist, eine Einrichtung zum Erzeugen eines Strahls (26, 32) von Teilchen, wobei der Strahl (26, 32) in den pumpaktiven Bereich (34) geführt ist.

2. Vakuumsystem (20) nach Anspruch 1, umfassend eine Umlenkeinrichtung (24), mittels derer der Strahl (26) derart umlenkbar ist, dass unterschiedliche Bestandteile des Strahls (26) unterschiedlich abgelenkt werden, sodass wenigstens ein erster und ein zweiter Teilstrahl (30, 32) ausbildbar sind, wobei der zweite Teilstrahl (32) in den pumpaktiven Bereich (34) geführt ist, und/oder wobei der Strahl, insbesondere der zweite Teilstrahl (32), zumindest mit einer Richtungskomponente in Pumprichtung in den pumpaktiven Bereich (34) geführt ist.

3. Vakuumsystem (20) nach Anspruch 2, wobei der erste Teilstrahl (30) nicht in den pumpaktiven Bereich (34) und/oder wobei der erste Teilstrahl (30) zu einem Bereich außerhalb der Vakuumpumpe (22) geführt ist.

4. Vakuumsystem (20) nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Pumprichtung und/oder eine Rotorachse (40) des aktiven Pumpelements (36) und/oder der Vakuumpumpe (22) schräg in Bezug auf eine Richtung des Strahls (26), insbesondere vor Passage einer Umlenkeinrichtung (24), ausgerichtet ist, insbesondere wobei ein Winkel zwischen einer

Pumprichtung und/oder einer Rotorachse des aktiven Pumpelements und/oder der Vakuumpumpe und einer Richtung des Strahls (26) im Bereich von 40° bis 60° liegt.

5. Vakuumsystem (20) nach wenigstens einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei eine Pumprichtung und/oder eine Rotorachse (40) des aktiven Pumpelements (36) und/oder der Vakuumpumpe (22) schräg in Bezug auf eine Richtung des ersten und/oder des zweiten Teilstrahls (30, 32) nach Passage der Umlenkeinrichtung (24) ausgerichtet ist.

6. Vakuumsystem (20) nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Vakuumpumpe (22) wenigstens zwei Pumpstufen (36, 54) aufweist, wobei zwischen den Pumpstufen (36, 54) ein Zwischenstufenbereich (44) angeordnet ist, wobei der Strahl durch den Zwischenstufenbereich (44) geführt ist und/oder in eine Pumpstufe (36) geführt ist, die in Pumprichtung stromabwärts des Zwischenstufenbereichs (44) angeordnet ist, insbesondere wobei ein erster Teilstrahl (32) nach Passage des Zwischenstufenbereichs (44) aus der Vakuumpumpe (22) herausgeführt ist.

7. Vakuumsystem (20) nach Anspruch 6, wobei die Vakuumpumpe (22) am Zwischenstufenbereich (44) einen ersten Zwischenanschluss (46) zum Eintritt des Strahls (26) in den Zwischenstufenbereich (44) und/oder einen zweiten Zwischenanschluss (48) zum Austritt eines ersten Teilstrahls (30) aus dem Zwischenstufenbereich (44) aufweist.

8. Vakuumsystem (20) nach Anspruch 7, wobei die Zwischenanschlüsse (46, 48) zumindest im Wesentlichen gegenüberliegend voneinander angeordnet sind und/oder wobei die Zwischenanschlüsse (46, 48) separat voneinander ausgebildet und/oder in Umfangsrichtung beabstandet angeordnet sind.

9. Vakuumsystem (20) nach Anspruch 2 und wenigstens einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Umlenkeinrichtung (24) im oder am Zwischenstufenbereich (44) wirksam und/oder angeordnet ist.

10. Vakuumsystem (20) nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Strahl (26, 32) außermittig in Bezug auf eine Rotorachse (40) der Vakuumpumpe (22) ausgerichtet ist und/oder an einem, insbesondere nicht pumpaktiven, Rotorkern vorbeigeführt ist.

11. Vakuumsystem (20) nach wenigstens einem der vor-

stehenden Ansprüche,
wobei der Strahl (26, 32) in einer die Pumpwirkung unterstützenden Richtung in den pumpaktiven Bereich (34) geführt ist, insbesondere gegenläufig zu einer Drehrichtung einer Turborotorscheibe (36).

5

der erste Teilstrahl (30) nicht in den pumpaktiven Bereich (34) der Vakuumpumpe (22) geführt, sondern analysiert wird.

12. Vakuumsystem (20) nach wenigstens einem der Ansprüche 2 bis 11,
wobei die Vakuumpumpe (22) mehrstufig ausgebildet ist, der zweite Teilstrahl (32) in eine Pumpstufe (36) geführt ist und der erste Teilstrahl (30) in eine Kammer (50) geführt ist, die an einer weiteren Pumpstufe (54) der Vakuumpumpe (22) angeschlossen ist.

10

15

13. Vakuumpumpe (22), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe, umfassend wenigstens zwei Pumpstufen (36, 54), wobei zwischen den Pumpstufen (36, 54) ein Zwischenstufenbereich (44) angeordnet ist,
wobei die Vakuumpumpe (22) am Zwischenstufenbereich (44) einen ersten Zwischenanschluss (46) zum Eintritt eines Teilchenstrahls (26) in den Zwischenstufenbereich (44) und einen zweiten Zwischenanschluss (48) zum Austritt eines Teilchenstrahls (30) aus dem Zwischenstufenbereich (44) aufweist,
wobei die Zwischenanschlüsse (46, 48) in Umfangsrichtung voneinander getrennt und beabstandet sind,
insbesondere wobei am Zwischenstufenbereich (44) genau zwei Zwischenanschlüsse (46, 48) vorgesehen sind.

20

25

30

14. Vakuumpumpe (22) nach Anspruch 13,
wobei die Zwischenanschlüsse (46, 48) derart angeordnet sind, dass sich keine gerade Linie durch die Zwischenanschlüsse legen lässt.

35

15. Gasanalyseverfahren, insbesondere Massenspektrometrieverfahren, insbesondere durchgeführt mit einem Vakuumsystem (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 und/oder mit einer Vakuumpumpe (22) nach Anspruch 13 oder 14, bei dem
eine Vakuumpumpe (22), insbesondere die Vakuumpumpe nach Anspruch 13 oder 14, mit einem pumpaktiven Bereich (34), in dem ein Gas mittels eines aktiven Pumpelements (36) förderbar ist, bereitgestellt wird,
ein Strahl (26) von zu analysierenden Teilchen erzeugt wird und
der Strahl (26) mittels einer Umlenkeinrichtung (24) derart umgelenkt wird, dass unterschiedliche Bestandteile des Strahls (26) unterschiedlich abgelenkt werden, sodass wenigstens ein erster und ein zweiter Teilstrahl (32) ausgebildet werden, wobei der zweite Teilstrahl (32) in den pumpaktiven Bereich (34) der Vakuumpumpe (22) geführt wird, und wobei

40

45

50

55

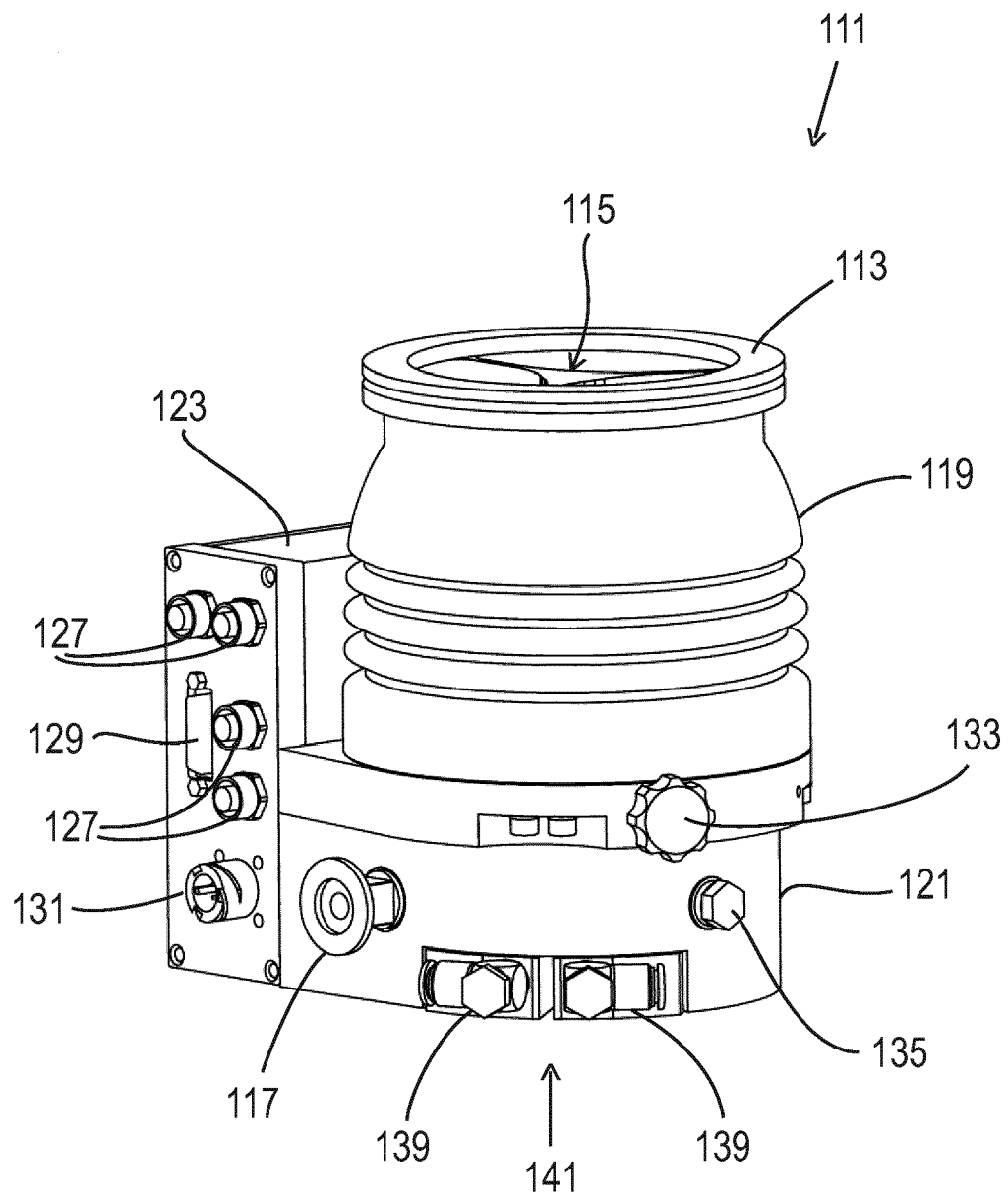


Fig. 1

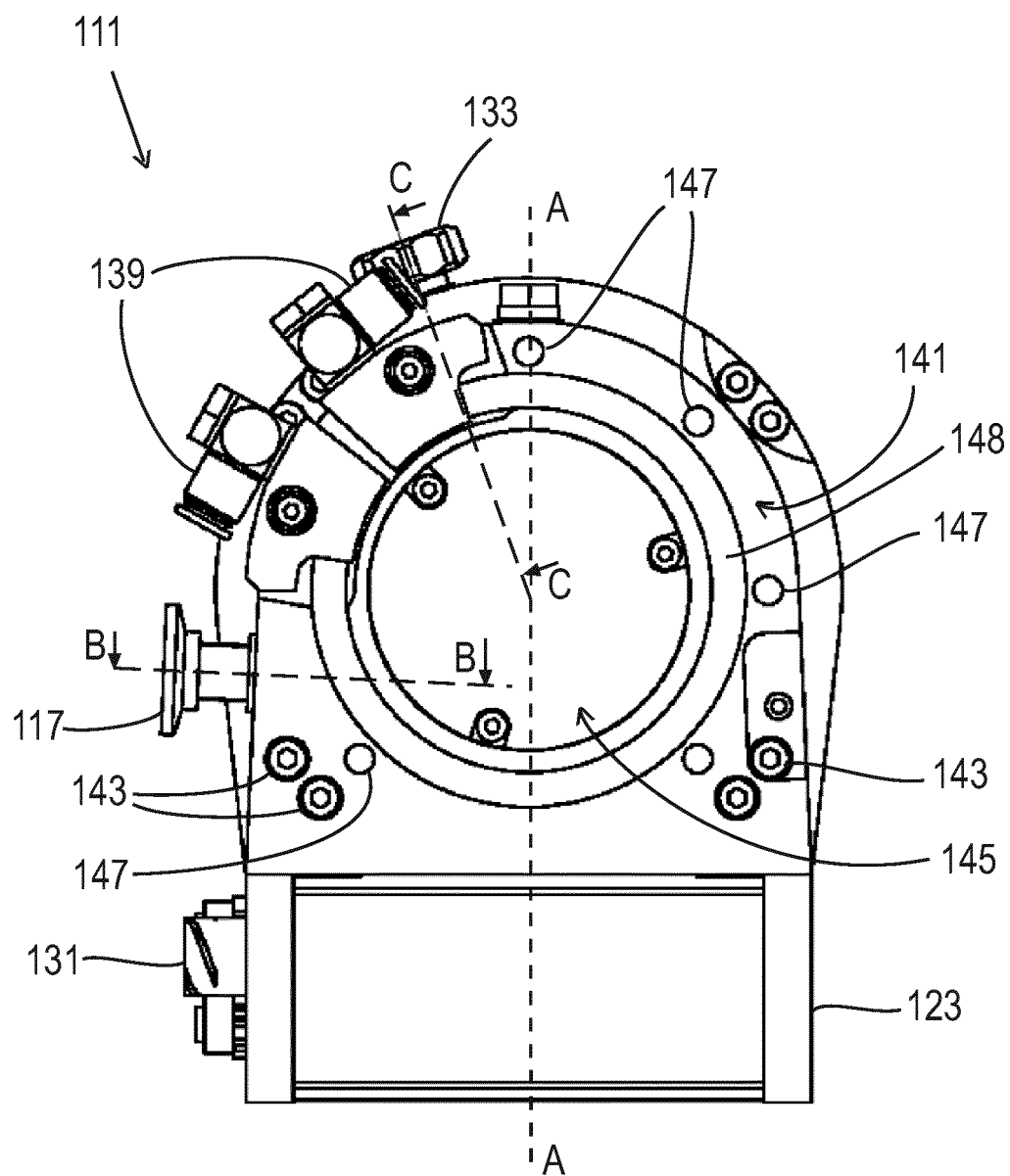


Fig. 2

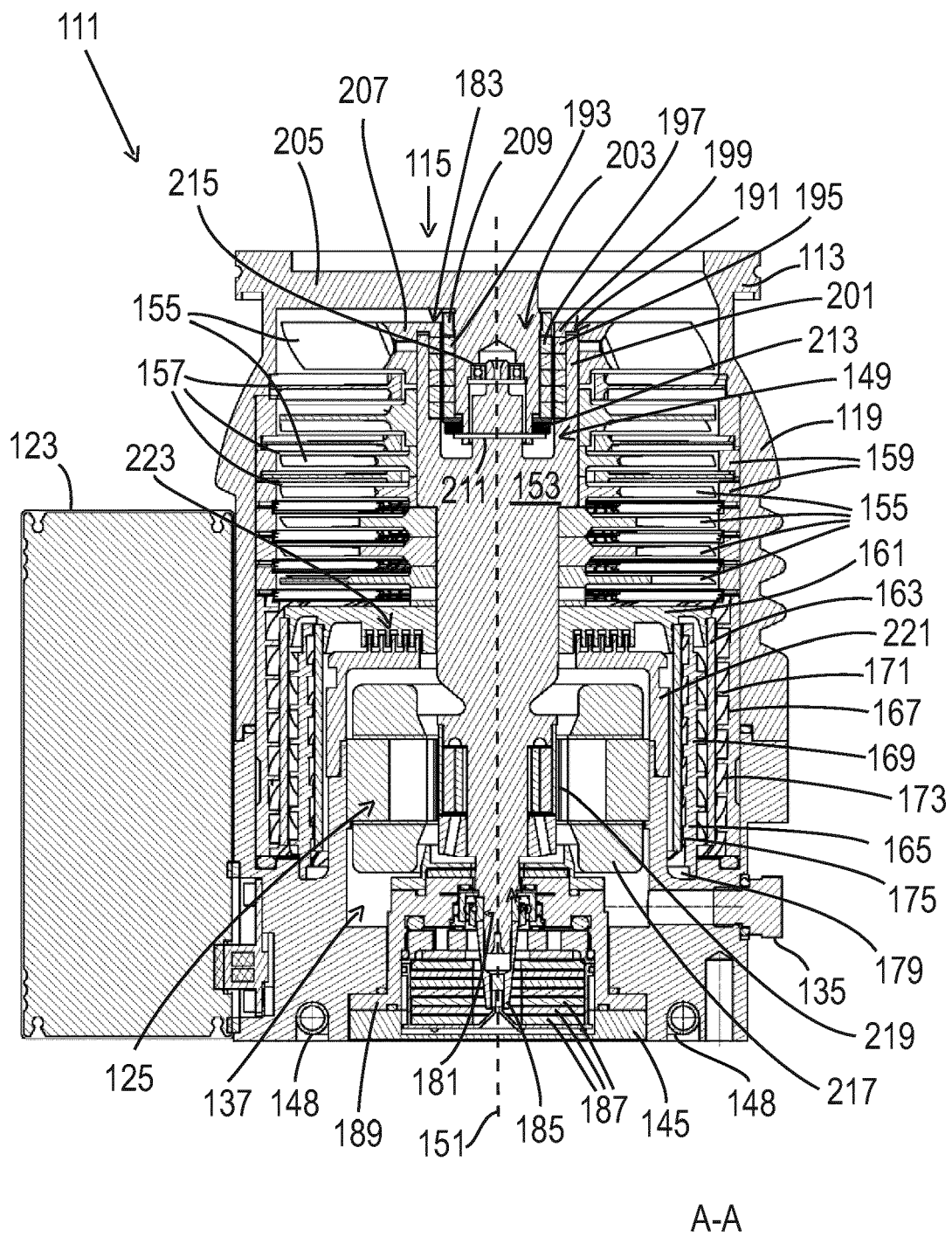


Fig. 3

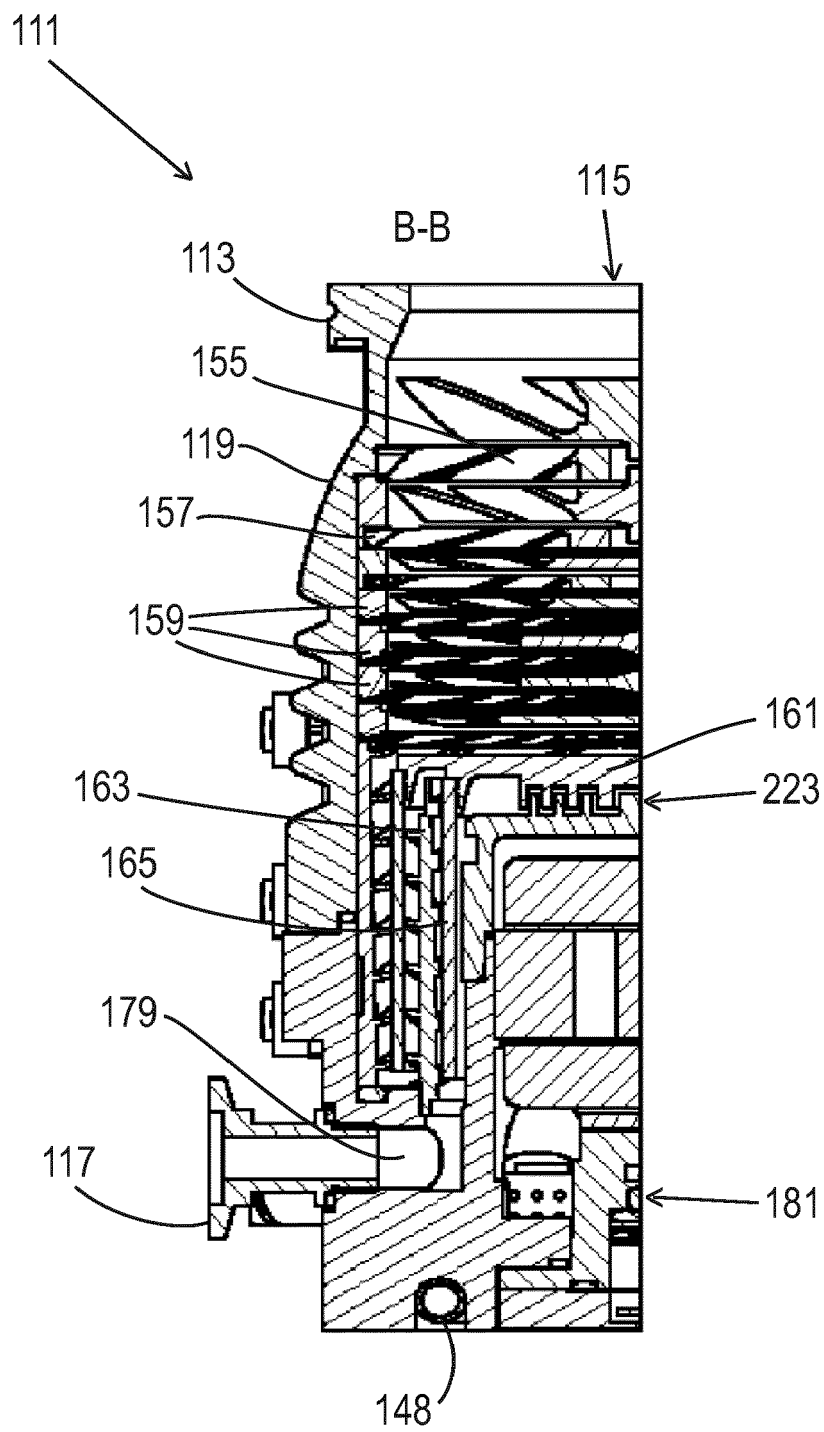


Fig. 4

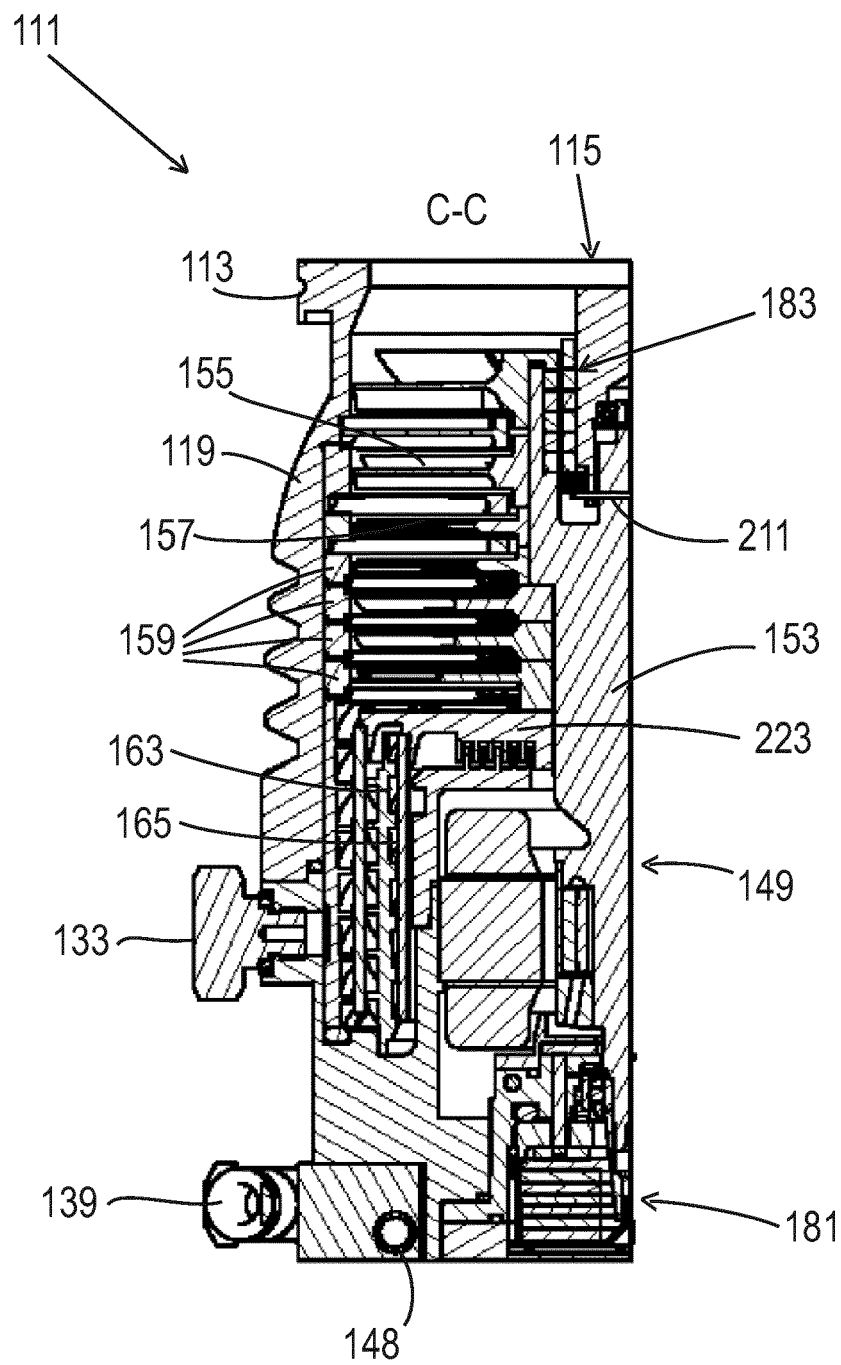
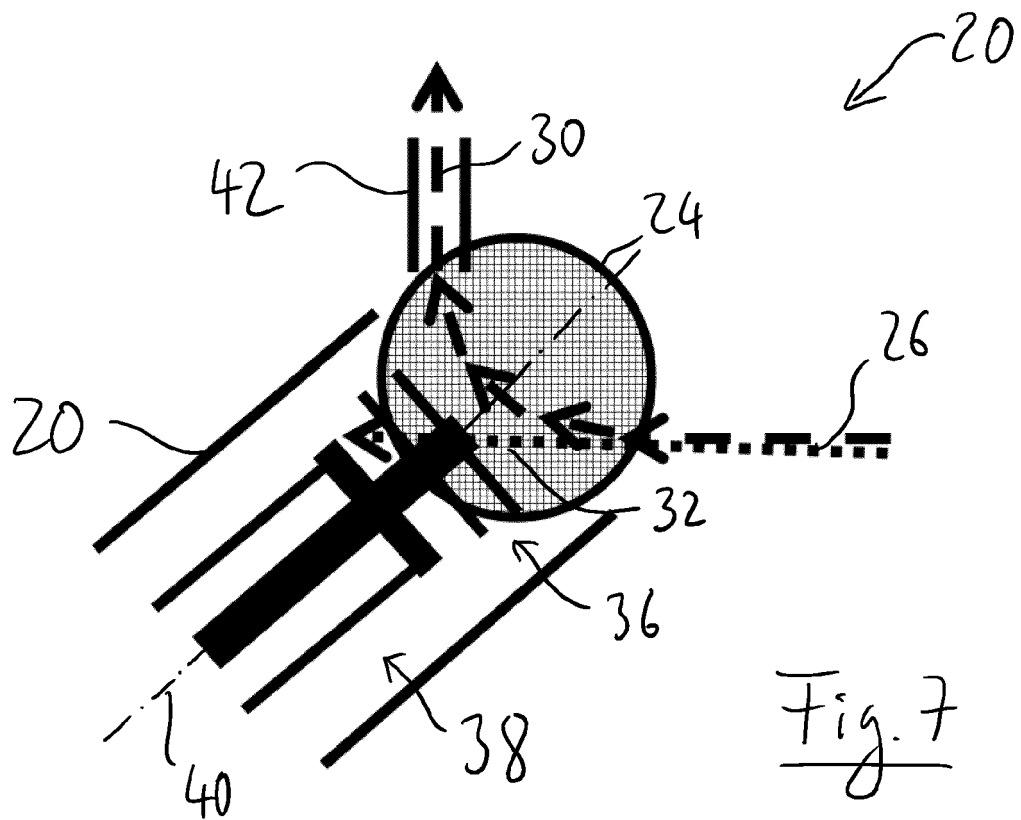
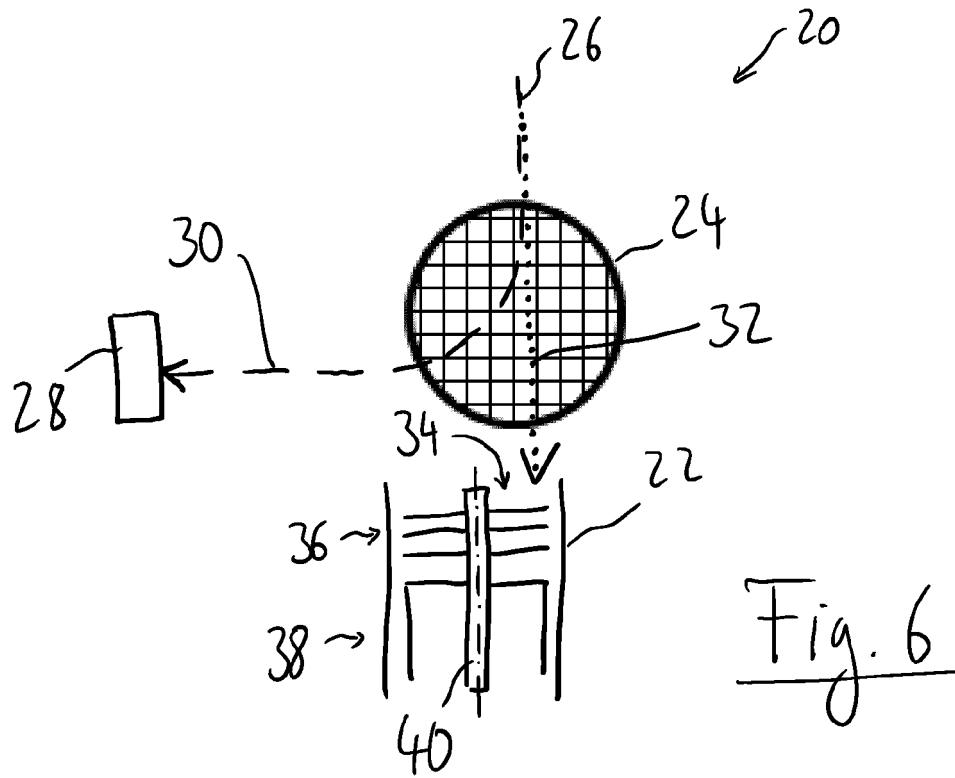
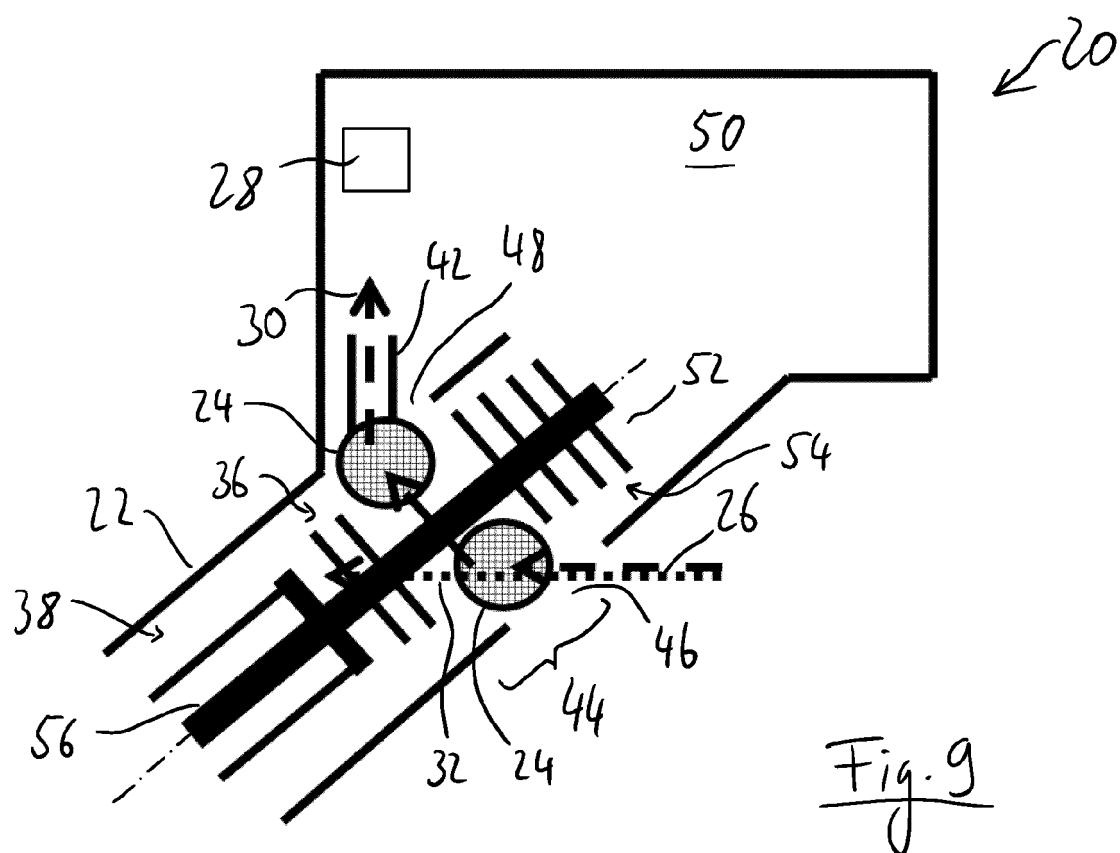
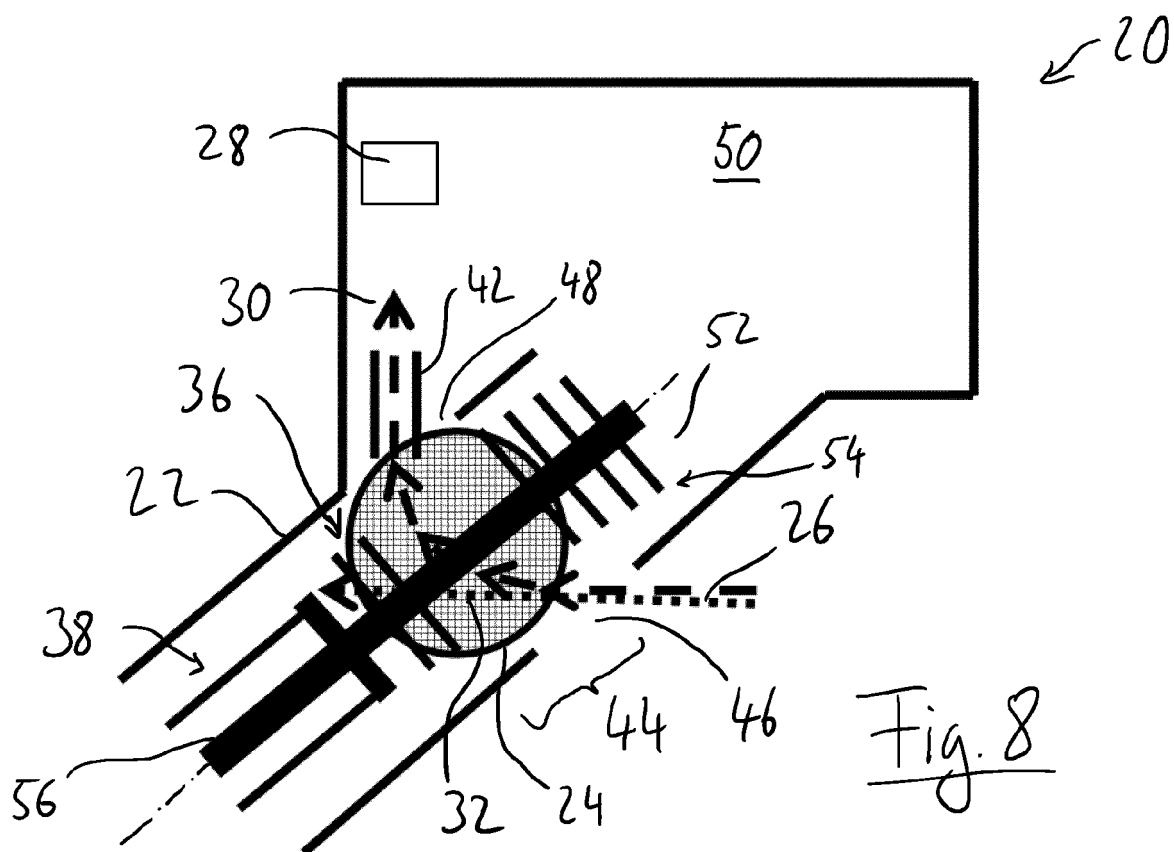


Fig. 5





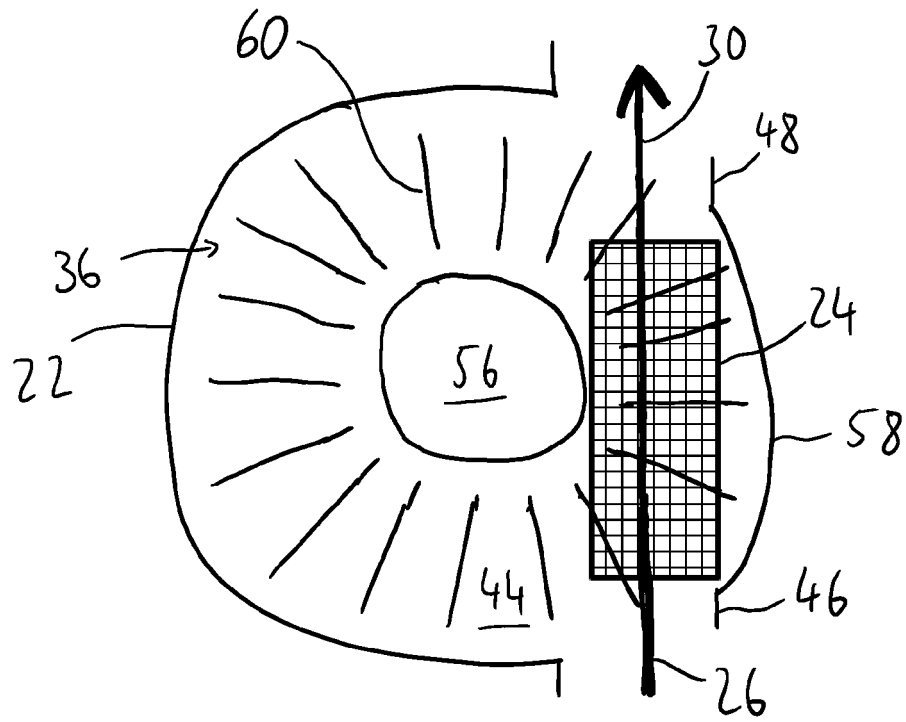


Fig. 10

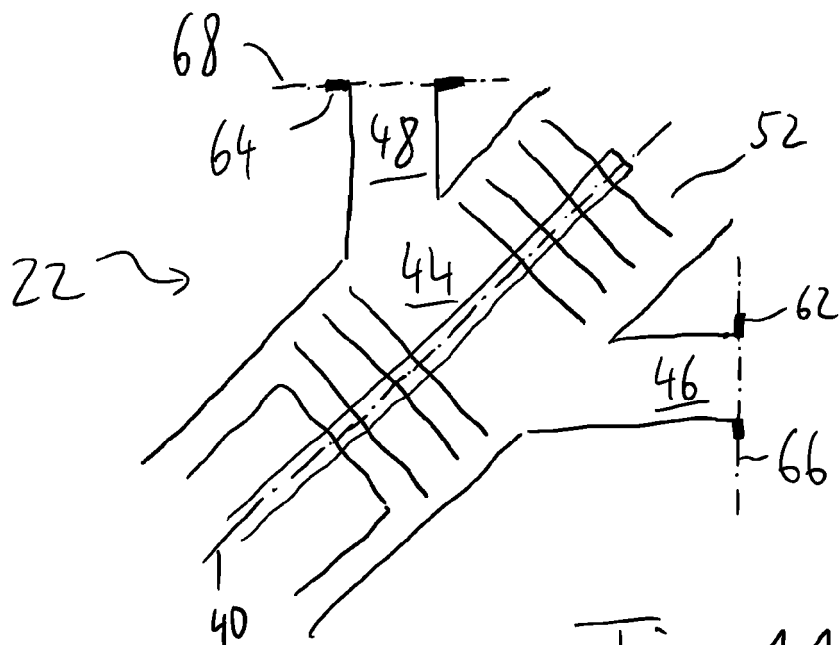


Fig. 11

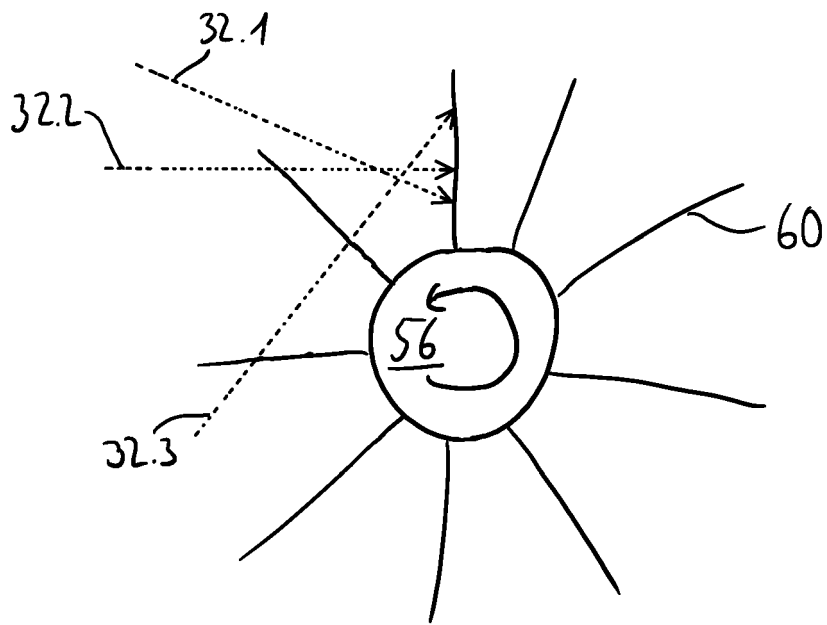


Fig. 12

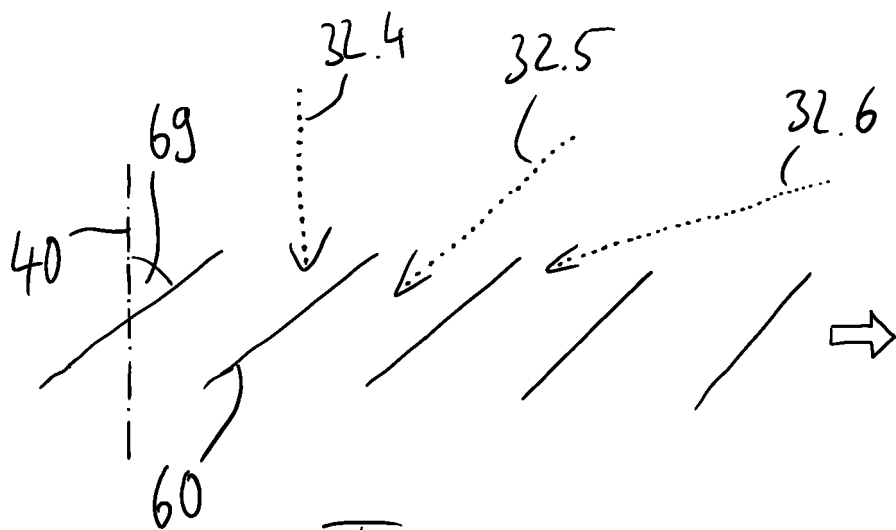


Fig. 13

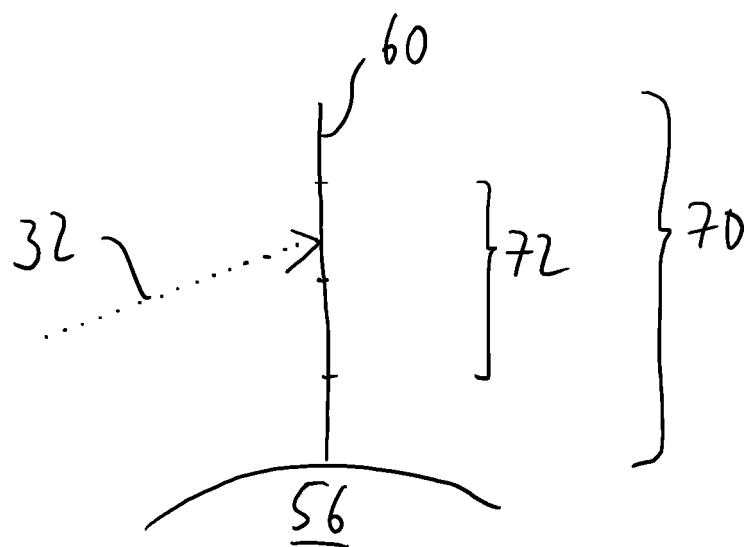


Fig. 14