

(19)



(11)

EP 2 747 123 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.06.2014 Patentblatt 2014/26

(51) Int Cl.:
H01J 41/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13191365.9**

(22) Anmeldetag: **04.11.2013**

(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

(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum GmbH**
35614 Aßlar (DE)

(72) Erfinder: **Conrad, Armin**
35745 Herborn (DE)

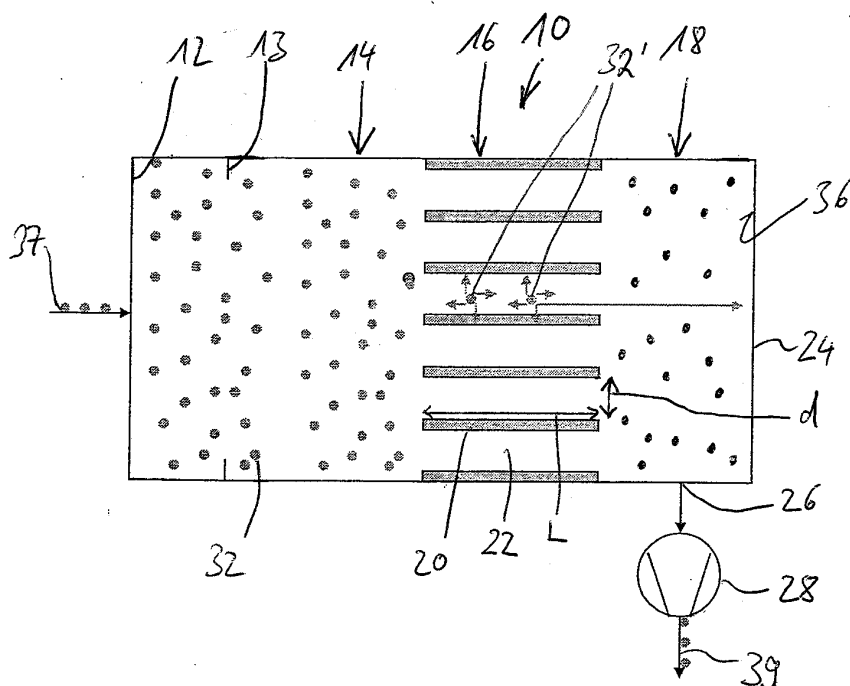
(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(30) Priorität: **17.12.2012 DE 102012223450**

(54) Ionisationspumpstufe

(57) Die Erfindung betrifft eine Ionisationspumpstufe, insbesondere für eine Vakuumpumpe, umfassend einen Einlass für in die Pumpstufe eintretendes Gas, einen mit dem Einlass gasleitend in Verbindung stehenden Ionisierungsabschnitt und eine Ionisierungseinrichtung zur Ionisierung des in den Ionisierungsabschnitt eingetretenen Gases, eine Beschleunigungseinrichtung zur Beschleunigung des in dem Ionisierungsabschnitt vorhan-

denen ionisierten Gases in Förderrichtung, und einen in Förderrichtung auf den Ionisierungsabschnitt folgenden und mit dem Ionisierungsabschnitt gasleitend in Verbindung stehenden Neutralisierungsabschnitt und eine Neutralisierungseinrichtung zur elektrischen Neutralisierung des in den Neutralisierungsabschnitt eintretenden ionisierten Gases.

Fig. 1**EP 2 747 123 A2**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Ionisationspumpstufe, insbesondere für eine Vakuumpumpe.

[0002] Es sind verschiedene Typen von Vakuumpumpen und Pumpstufen für Vakuumpumpen bekannt, die sich z.B. hinsichtlich ihres Saugvermögens und der erzeugbaren minimalen Vakuumdrücke unterscheiden. Beispielsweise stellen Turbomolekularpumpen, Kryopumpen, Ionengetterpumpen und Titansublimationspumpen gängige Vakuumpumpen dar. Bei den insbesondere im Hochvakuumbereich zur Erzeugung geringster Vakuumdrücke eingesetzten Turbomolekularpumpen sind das maximale Saugvermögen und dementsprechend der Ho-Faktor, welcher durch den Quotienten aus dem maximalen Saugvermögen und dem Eingangsleitwert der Pumpe gegeben ist, beschränkt. Zudem sind das Saugvermögen und damit der Ho-Faktor dieser Pumpen von der Molekülmasse der gepumpten Gase abhängig und nehmen mit abnehmender Molekülmasse ab, d.h. dass für leichte Gase nur ein geringeres Saugvermögen erreichbar ist. Ferner sind insbesondere diejenigen Vakuumpumpen, die sich zur Erzeugung eines hochreinen Vakuums eignen, komplex aufgebaut, so dass deren Herstellung entsprechend aufwendig ist.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Pumpstufe, vorzugsweise für eine Vakuumpumpe, anzugeben, welche insbesondere auch für leichte Gase ein hohes Saugvermögen und einen hohen Ho-Faktor aufweist und welche außerdem zuverlässig sowie verschleiß- und wartungsarm betrieben werden kann und mit geringem Aufwand herstellbar ist.

[0004] Die Aufgabe wird durch eine Pumpstufe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0005] Anspruch 1 beschreibt eine Ionisationspumpstufe, insbesondere für eine Vakuumpumpe, umfassend:

- einen Einlass für in die Pumpstufe eintretendes Gas,
- einen mit dem Einlass gasleitend in Verbindung stehenden Ionisierungsabschnitt und eine Ionisierungseinrichtung zur Ionisierung des in den Ionisierungsabschnitt eingetretenen Gases,
- eine Beschleunigungseinrichtung zur Beschleunigung des in dem Ionisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gases in Förderrichtung des Gases, und
- einen in Förderrichtung auf den Ionisierungsabschnitt folgenden und mit dem Ionisierungsabschnitt gasleitend in Verbindung stehenden Neutralisierungsabschnitt und eine Neutralisierungseinrichtung zur elektrischen Neutralisierung des in den Neutralisierungsabschnitt eintretenden ionisierten Gases.

[0006] Es hat sich herausgestellt, dass eine Pumpstufe mit dem vorstehend beschriebenen einfachen Aufbau insbesondere auch für leichte Gase eine effiziente Pumpwirkung erzielt, welche zu einem sehr hohen Saugvermögen der Pumpstufe führt, das das Vielfache des Saug-

vermögens einer Turbomolekularpumpe betragen kann, so dass ein dementsprechend hoher Ho-Faktor und eine hohe Leerlaufkompression der Pumpstufe erreicht wird.

[0007] Die Pumpwirkung beruht auf der Ionisierung der aus der zu evakuierenden Vakuumkammer über den Einlass in den Ionisierungsabschnitt eintretenden Gasmoleküle. Die ionisierten Gasmoleküle werden durch die Beschleunigungseinrichtung in Förderrichtung beschleunigt und gelangen infolgedessen in den in Förderrichtung auf den Ionisierungsabschnitt folgenden Neutralisierungsabschnitt, wo sie elektrisch neutralisiert werden. Die elektrisch neutralen Gasmoleküle diffundieren nur mit einer geringen, durch die thermische Bewegung der Gasmoleküle vorgegebenen Wahrscheinlichkeit zurück in Richtung des Ionisierungsabschnitts, so dass die Gasmoleküle in dem Neutralisierungsabschnitt gesammelt werden und eine von dem Einlass zu dem Neutralisierungsabschnitt der Pumpstufe gerichtete Pumpwirkung geleistet wird. Die Pumpstufe erfüllt dabei die Funktion einer "Moleküldiode", da die Moleküle in eine Richtung, nämlich von dem Einlass zu dem Neutralisierungsabschnitt gefördert werden, aber nicht in umgekehrter Richtung.

[0008] Mit dem vorstehend beschriebenen Pumpprinzip lassen sich im Wesentlichen unabhängig von der Molekülmasse der geförderten Gase eine hohe Pumpleistung, d.h. insbesondere ein hohes Saugvermögen, ein hoher Ho-Faktor und eine hohe Leerlaufkompression erreichen.

[0009] Die Ionisationspumpstufe eignet sich dabei insbesondere als zu einer weiteren Pumpstufe wie z.B. einer Turbomolekularpumpstufe in Strömungsrichtung vorgeschaltete Pumpstufe bzw. als "Booster" für die weitere Pumpstufe, wobei insbesondere für leichte Gase eine Vervielfachung der Pumpleistung gegenüber einer reinen Turbomolekularpumpstufe erzielt wird.

[0010] Die Ionisationspumpstufe weist einen sehr einfachen Aufbau auf und ist dementsprechend kostengünstig und auf kleinem Bauraum realisierbar. Die Pumpstufe kann prinzipiell ohne rotierende und/oder sonstwie bewegliche Teile auskommen, wodurch Vibrationen, Geräuschentwicklungen und Kollisionen beweglicher Teile sowie damit einhergehende Beschädigungen vermieden werden. Die Ionisationspumpstufe erweist sich deshalb im Betrieb als sehr sicher, zuverlässig, verschleißarm und wartungsarm und weist eine hohe Lebensdauer auf. Außerdem kann auf eine Schmierung beweglicher bzw. rotierender Komponenten verzichtet werden, d.h. die Ionisationspumpstufe kann als trockene Pumpstufe ausgebildet sein, wodurch eine Verschmutzung des zu evakuierenden Volumens durch Schmierstoffe oder entsprechende Betriebsmittel vermieden wird und die erreichbare Reinheit des Vakuums verbessert wird.

[0011] Das Leistungsverhalten der Ionisationspumpstufe lässt sich durch entsprechende Einstellung der Ionisations- und Beschleunigungsparameter gezielt anpassen und kann somit für unterschiedliche Betriebsbedingungen und insbesondere verschiedene Bereiche

des Ein- und/oder Ausgangsdrucks der Pumpstufe optimiert werden. Durch Schalten mehrerer erfindungsgemäß ausgestalteter Ionisationspumpstufen gasfördernd in Serie oder parallel lässt sich in einfacher Weise eine modular aufgebaute Vakuumpumpe herstellen, die ein gewünschtes Pumpverhalten aufweist.

[0012] Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren beschreiben.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform ist der Neutralisierungsabschnitt durch den Ionisierungsabschnitt von dem Einlass zumindest annähernd vollständig getrennt. Dadurch wird zumindest weitestgehend verhindert, dass das in der Pumpstufe befindliche Gas von dem Neutralisierungsabschnitt an dem Ionisierungsabschnitt vorbei zurück zu dem Einlass gelangt. Stattdessen kann das Gas aus dem Neutralisierungsabschnitt bevorzugt nur durch den Ionisierungsabschnitt hindurch zurück zu dem Einlass gelangen. Da die Gasmoleküle auf dem Weg durch den Ionisierungsabschnitt mit hoher Wahrscheinlichkeit ionisiert und daraufhin wieder zurück zu dem Neutralisierungsabschnitt beschleunigt werden, wird eine Rückkehr der geförderten Gasmoleküle zu dem Einlass weitgehend vermieden. Dadurch werden ein hohes Saugvermögen und eine hohe Leerlaufkompression der Ionisationspumpstufe erreicht.

[0014] Um die beschriebene Trennung zu verwirklichen, kann sich der Ionisierungsabschnitt wenigstens an einer Stelle über zumindest annähernd den gesamten gasleitenden Querschnitt des durch die Ionisationspumpstufe gebildeten Förderraums für das Gas erstrecken, wobei der Einlass auf der einen Seite und der Neutralisierungsabschnitt auf der anderen Seite des Ionisierungsabschnitts angeordnet ist. Falls in der Pumpstufe dennoch ein Gasweg an dem Ionisierungsabschnitt vorbei zurück zu dem Einlass vorgesehen ist, beträgt die durch die gasleitende Geometrie dieses Gaswegs definierte Förderkapazität bzw. deren Gasleitwert bevorzugt höchstens 15%, ferner bevorzugt höchstens 5 % und ferner bevorzugt höchstens 1 % der durch die gasleitende Geometrie des Ionisierungsabschnitts gegebenen Förderkapazität des Ionisierungsabschnitts bzw. dessen Gasleitwert.

[0015] Die Ionisierungseinrichtung weist vorzugsweise wenigstens eine Ionisierungsstruktur zur Ionisierung des Gases auf, welche vorzugsweise in dem Ionisierungsabschnitt des Förderraums angeordnet ist oder diesen begrenzt. Die Ionisierungsstruktur kann mit einem elektrischen Gleichspannungspotential oder einem insbesondere hochfrequenten elektrischen Wechselspannungspotential beaufschlagbar sein. Die Struktur kann dazu mit einer entsprechenden elektrischen Strom- bzw. Spannungsquelle verbunden sein. Der Wert des Gleichspannungspotentials bzw. der Effektiv- oder Nennwert des Wechselspannungspotentials ist dabei vorzugsweise dazu angepasst, die zu pumpenden Gasmoleküle ein- oder mehrfach zu ionisieren, wobei es sich bei den Gasmolekülen vorzugsweise um Gasmoleküle aus der Grup-

pe handelt, die Wasserstoff (H_2), Sauerstoff (O_2), Stickstoff (N_2), Kohlenstoffmonoxid (CO) oder Kohlenstoffdioxid (CO_2)-Moleküle umfasst.

[0016] Bevorzugt umfasst die Ionisierungsstruktur eine Elektrode oder ist als Elektrode ausgebildet, wobei z.B. eine Heiß- oder Kaltkathode verwendet werden kann. Die Ionisierung kann dabei durch Kontakt der Gasmoleküle mit der vorzugsweise in dem Ionisierungsabschnitt angeordneten bzw. diesen begrenzenden Elektrode erfolgen. Die Ionisierungseinrichtung kann dazu eingerichtet sein, die Gasmoleküle positiv aufzuladen, d.h. dass die Gasmoleküle bei der Ionisierung ein oder mehrere Elektronen abgeben. Die Elektrode kann durch ihre Ausgestaltung an den Einsatzzweck und z.B. den Druckbereich angepasst sein, in dem die Ionisationspumpstufe eingesetzt werden soll.

[0017] Vorzugsweise wird durch die Ionisierungseinrichtung bei dem Betrieb der Pumpe ein durch den Quotienten aus der Anzahl der in dem Ionisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gasmoleküle zu der Gesamtzahl der in dem Ionisierungsabschnitt insgesamt vorhandenen Gasmoleküle gegebener Ionisationsgrad von wenigstens 1 %, bevorzugt wenigstens 3 %, ferner bevorzugt wenigstens 5 % und ferner bevorzugt wenigstens 10 % gewährleistet.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Beschleunigungseinrichtung eine Beschleunigungsstruktur auf, welche eine oder mehrere, insbesondere kanal- oder tunnelartige Öffnungen aufweisen kann, welche vorzugsweise eine Gitter- oder Tunnelstruktur der Beschleunigungsstruktur bilden und welche vorzugsweise parallel zueinander orientiert sind. Eine solche Struktur eignet sich besonders, um die in dem Ionisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gasmoleküle in Förderrichtung zu beschleunigen. Die Öffnungen bzw. Kanäle sind vorzugsweise lang gestreckt ausgebildet und weisen vorzugsweise eine Länge auf, die größer ist als die Breite und/oder Höhe der Öffnungen, wobei das Verhältnis zwischen der Länge einer Öffnung und deren Breite und/oder Höhe wenigstens 2, bevorzugt wenigstens 3 und ferner bevorzugt wenigstens 5 betragen kann. Durch eine größere Länge der Kanäle wird eine noch effektivere Beschleunigung in Förderrichtung erreicht, wodurch der Ho-Faktor und die Leerlaufkompression der Pumpstufe verbessert werden.

[0019] Vorzugsweise ist die Beschleunigungsstruktur in einem Beschleunigungsabschnitt angeordnet und/oder begrenzt den Beschleunigungsabschnitt, der in Förderrichtung zwischen dem Ionisierungsabschnitt und dem Neutralisierungsabschnitt angeordnet ist und den Ionisierungsabschnitt und den Neutralisierungsabschnitt gasleitend miteinander verbindet. Die ionisierten Gasmoleküle können dann den Beschleunigungsabschnitt durchfliegen, um aus dem Ionisierungsabschnitt in den Neutralisierungsabschnitt zu gelangen. Vorzugsweise verbinden eine oder mehrere wie vorstehend beschriebene, insbesondere tunnel- oder kanalartige Öffnungen der Beschleunigungsstruktur den Ionisierungs-

abschnitt und den Neutralisierungsabschnitt und werden von den Gasmolekülen durchflogen, wobei die Öffnungen bevorzugt in Förderrichtung orientiert sind. Dadurch lässt sich eine besonders effektive Beschleunigung in die gewünschte Richtung erzielen.

[0020] Bevorzugt ist der Neutralisierungsabschnitt durch den Beschleunigungsabschnitt zumindest annähernd vollständig von dem Einlass getrennt, und zwar insbesondere in der vorstehend in Bezug auf den Ionisierungsabschnitt beschriebenen Weise. Dadurch wird gewährleistet, dass das Gas aus dem Neutralisierungsabschnitt nur durch den Beschleunigungsabschnitt und vorzugsweise darauf folgend durch den Ionisierungsabschnitt hindurch zurück zum Einlass gelangen kann. Der Beschleunigungsabschnitt kann sich dabei ebenfalls über im Wesentlichen den gesamten Querschnitt des Förderraums der Pumpstufe erstrecken.

[0021] Vorzugsweise ist die Beschleunigungseinrichtung bzw. deren Beschleunigungsstruktur dazu ausgebildet, ein elektrisches Beschleunigungsfeld zur Beschleunigung der in dem Ionisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gasmoleküle zu erzeugen. Vorzugsweise ist die Beschleunigungsstruktur dazu mit einem elektrischen Beschleunigungspotential beaufschlagbar, wobei es sich um ein Gleichspannungspotential handeln kann. Die Struktur kann dazu mit einer elektrischen Strom- bzw. Spannungsquelle verbunden sein. Die Beschleunigungsstruktur kann eine Elektrode aufweisen oder als Elektrode ausgebildet sein, welche insbesondere eine wie vorstehend beschriebene Gitter- oder Tunnelstruktur besitzen kann.

[0022] Das elektrische Beschleunigungsfeld ist unter Berücksichtigung der Polarität der in dem Ionisierungsabschnitt erzeugten ionisierten Gasmoleküle so gerichtet, dass die Ionen in Förderrichtung beschleunigt werden. Vorzugsweise werden die in dem Ionisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gasmoleküle durch das elektrische Beschleunigungsfeld angezogen und in Richtung der Beschleunigungsstruktur beschleunigt und durchfliegen daraufhin die Öffnungen bzw. Kanäle der Beschleunigungsstruktur, um in den Neutralisierungsabschnitt zu gelangen. Entsprechend der bevorzugt positiven elektrischen Ladung der ionisierten Gasmoleküle liegt an der Beschleunigungsstruktur vorzugsweise ein negatives elektrisches Potential an, um ein anziehendes Beschleunigungsfeld zu erzeugen. Der Betrag des Beschleunigungspotentials kann dabei wenigstens 0,2 kV, bevorzugt wenigstens 0,7 kV, ferner bevorzugt wenigstens 1,9 kV und ferner bevorzugt wenigstens 17 kV betragen.

[0023] Die Neutralisierungseinrichtung dient der Neutralisierung der in dem Neutralisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gasmoleküle. Vorzugsweise weist die Neutralisierungseinrichtung eine in dem Neutralisierungsabschnitt angeordnete und/oder den Neutralisierungsabschnitt begrenzende Neutralisierungsstruktur auf. Die Neutralisierungsstruktur ist vorzugsweise mit einem neutralen elektrischen Potential, insbesondere ei-

nem Massepotential, beaufschlagbar und kann dazu mit einem Masseanschluss verbunden sein, welcher ein neutrales elektrisches Potential bereitstellt. Die aus dem Ionisierungsabschnitt in den Neutralisierungsabschnitt geförderten ionisierten Gasmoleküle kommen zur elektrischen Neutralisierung vorzugsweise mit der Neutralisierungsstruktur in Kontakt.

[0024] Die Neutralisierungsstruktur kann durch eine Elektrode gebildet sein und kann eine beliebige Form und Geometrie aufweisen, welche vorzugsweise so ausgebildet ist, dass die aus dem Ionisierungsabschnitt in den Neutralisierungsabschnitt geförderten ionisierten Gasmoleküle mit hoher Wahrscheinlichkeit mit der Neutralisierungsstruktur in Kontakt kommen. In einem besonders einfachen Fall ist die Neutralisierungsstruktur zumindest teilweise durch eine Wand der Ionisationspumpe gebildet, die den Neutralisierungsabschnitt begrenzt.

[0025] Prinzipiell ist es möglich, dass die Neutralisierungsstruktur zumindest bereichsweise durch ein die geförderten Gasmoleküle adsorbierendes Material wie z.B. ein Gettermaterial gebildet ist.

[0026] Im Rahmen der Erfindung ist es allerdings nicht notwendig, die geförderten Gasmoleküle in dem Neutralisierungsabschnitt durch ein Gettermaterial einzufangen, da das auf der elektrischen Neutralisierung beruhende Pumpprinzip auch ohne ein solches Gettermaterial eine leistungsstarke Pumpwirkung gewährleistet. Auf den Einsatz eines Gettermaterials in dem Neutralisierungsabschnitt zum Einfangen der Moleküle kann somit prinzipiell verzichtet und der damit einhergehende Aufwand vermieden werden.

[0027] Dementsprechend kann die Oberfläche der Neutralisierungsstruktur zumindest bereichsweise aus einem Material bestehen, an dem zu fördernde Gasmoleküle nicht oder nur zu einem geringen Grad bzw. mit einer geringen Wahrscheinlichkeit adsorbiert werden. Die in dem Neutralisierungsabschnitt vorhandenen Moleküle, die mit diesen Bereichen der Oberfläche in Kontakt kommen, werden dann nicht adsorbiert, sondern werden von dem Material mit hoher Wahrscheinlichkeit reflektiert und verbleiben somit im gasförmigen Zustand. Die zu fördernden Gasmoleküle können insbesondere aus der Gruppe ausgewählt sein, die Wasserstoff (H_2), Sauerstoff (O_2), Stickstoff (N_2), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenstoffdioxid (CO_2)-Moleküle umfasst.

[0028] Das Material kann so gewählt sein, dass die zu fördernden Gasmoleküle in Bezug auf das Material eine relativ geringe Adsorptionsenergie, d.h. eine bei einer hypothetischen Adsorption aus dem freien gasförmigen Zustand frei werdende Adsorptionsenergie (E_{ad}) von z.B. weniger als 1 eV, bevorzugt weniger als 0,5 eV und ferner bevorzugt weniger als 0,25 eV aufweisen. Die Haftwahrscheinlichkeit (so) der zu fördernden Gasmoleküle in Bezug auf das jeweilige Material bei Raumtemperatur kann weniger als 5 %, bevorzugt weniger als 1 % und ferner bevorzugt weniger als 0,1 % betragen. Beispielhafte Materialien für die Oberfläche der Neutralisierungsstruktur

sind metallische Materialien wie beispielsweise Stahl, insbesondere Edelstahl, Aluminium oder Legierungen, die Stahl, Edelstahl und/oder Aluminium enthalten.

[0029] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform besitzt die Pumpstufe bzw. ein durch die Pumpstufe gebildeter Förderraum für das Gas eine zylindrische Grundform. Eine solche Form eignet sich besonders zur Herstellung einer kompakten und gleichzeitig leistungsstarken Pumpstufe. Ferner ist eine solche Form in baulicher Hinsicht besonders günstig, wenn die Ionisationspumpstufe mit weiteren Pumpstufen derselben Art oder einer anderen, insbesondere herkömmlichen Art wie z.B. einer Turbomolekularpumpstufe kombiniert wird. Vorzugsweise folgen der Ionisierungsabschnitt und der Neutralisierungsabschnitt in axialer Richtung oder in radialer Richtung aufeinander. Wenn die Pumpstufe wie vorstehend beschrieben einen Beschleunigungsabschnitt umfasst, durch den die Gasmoleküle hindurch gefördert werden, ist es bevorzugt, wenn der Ionisierungsabschnitt, der Beschleunigungsabschnitt und der Neutralisierungsabschnitt in dieser Reihenfolge in axialer Richtung oder in radialer Richtung aufeinander folgen.

[0030] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist die Pumpstufe einen durch den Quotienten aus dem Saugvermögen und der Leerlaufkompression definierten Ho-Faktor von wenigstens 30 %, bevorzugt wenigstens 50 %, besonders bevorzugt wenigstens 70 % und höchst bevorzugt wenigstens 90 % auf. Eine solche Pumpstufe eignet sich besonders zur Erzeugung eines hochreinen Vakuums auch bei hohen Gaslasten.

[0031] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist ein in Förderrichtung auf den Neutralisierungsabschnitt folgender und mit diesem gasleitend verbundener Auslass zur Abführung des Gases aus dem Neutralisierungsabschnitt vorgesehen. Der Auslass der Ionisationspumpstufe kann gasleitend mit einer weiteren Pumpstufe verbunden sein. Beispielsweise kann der Auslass der Ionisationspumpstufe mit dem Auslass der weiteren Pumpstufe verbunden sein, wenn die beiden Pumpstufen gasfördernd parallel geschaltet sind. In diesem Fall können auch die beiden Einlässe der Pumpstufen miteinander verbunden sein. Ebenso kann der Auslass der Ionisationspumpstufe mit dem Einlass der weiteren Pumpstufe verbunden sein, so dass die beiden Pumpstufen gasfördernd in Serie geschaltet sind.

[0032] Die Ionisationspumpstufe kann einen Eingangsflansch und/oder Ausgangsflansch umfassen, welcher den Eingang bzw. Ausgang der Ionisationspumpstufe bildet, wobei die Pumpstufe über den jeweiligen Flansch beispielsweise mit einer Vakuumkammer bzw. einem Rezipienten und/oder einer weiteren Pumpstufe verbindbar ist.

[0033] Weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Vakuumpumpe, welche zumindest eine erfindungsgemäße Ionisationspumpstufe gemäß der vorliegenden Beschreibung umfasst. Die in der vorliegenden Beschreibung in Bezug auf die Ionisationspumpstufe beschriebenen

vorteilhaften Ausführungsformen und Vorteile stellen bei entsprechender Anwendung vorteilhafte Ausführungsformen und Vorteile der Vakuumpumpe dar.

[0034] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Vakuumpumpe mehrere wie hierin beschriebene Ionisationspumpstufen auf. Die Ionisationspumpstufen sind dabei in Bezug auf die geförderte Gasströmung vorzugsweise in Serie oder parallel geschaltet. Auf diese Weise lässt sich eine äußerst leistungsstarke Vakuumpumpe schaffen, deren Leistungscharakteristik durch eine entsprechende Kombination und Zusammenschaltung der Ionisationspumpstufen flexibel an die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden kann.

[0035] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform folgt auf die wenigstens eine Ionisationspumpstufe in Förderrichtung wenigstens eine weitere Pumpstufe, welche mit der Ionisationspumpstufe vorzugsweise gasfördernd in Serie geschaltet ist, wobei die weitere Pumpstufe in Bezug auf die Ionisationspumpstufe als Vorpumpstufe dienen kann. Besonders bevorzugt ist die weitere Pumpstufe als turbomolekulare Pumpstufe ausgebildet. Es hat sich gezeigt, dass durch die Kombination der Ionisationspumpstufe mit einer nachgeschalteten turbomolekularen Pumpstufe eine Vakuumpumpe mit ausgezeichneten Pumpeigenschaften und insbesondere einem gegenüber einer reinen Turbomolekularpumpstufe erheblich erhöhten Saugvermögen und einer erhöhten Leerlaufkompression geschaffen werden kann, und zwar im Wesentlichen unabhängig von der Molekülmasse der geförderten Gasmoleküle.

[0036] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand einer vorteilhaften Ausführungsform unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Vakuumpumpe mit einer erfindungsgemäßen Ionisationspumpstufe gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Strömungsmodells der Ionisationspumpstufe von Fig. 1, und

Fig. 3 beispielhafte Kennlinien von zwei Vakuumpumpen gemäß jeweils einer Ausführungsform der Erfindung.

[0037] Fig. 1 zeigt eine Vakuumpumpe mit einer Ionisationspumpstufe 10 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0038] Die Ionisationspumpstufe 10 umfasst einen Einlass 12, durch den das Gas aus einem zu evakuierenden Volumen in den Förderraum der Ionisationspumpstufe 10 eintreten kann. In Fig. 1 sind mehrere Gasmoleküle beispielhaft und übertrieben groß dargestellt und mit dem Bezugszeichen 32 bzw. 32' versehen. Unter einem Gasmolekül 32, 32' ist prinzipiell auch ein einzelnes Gasatom zu verstehen. Dementsprechend ist unter

einem ionisierten Gasmolekül 32, 32' sowohl ein ionisiertes, d.h. ein einfach oder mehrfach elektrisch geladenes, Gasmolekül aus mehreren Atomen als auch ein ionisiertes Gasatom zu verstehen.

[0039] Auf den Einlass 12 in Förderrichtung folgend ist eine Blende 13 vorgesehen, mit der der Querschnitt des Förderraums und dadurch die Menge des in die auf die Blende 13 folgenden Abschnitte des Förderraums der Pumpstufe 10, d.h. in den Ionisierungsabschnitt 14, den Beschleunigungsabschnitt 16 und den Neutralisierungsabschnitt 18, eintretenden Gases reguliert werden kann.

[0040] In Förderrichtung auf die Blende 13 folgt der Ionisierungsabschnitt 14, welcher so angeordnet ist, dass die darin vorhandenen Gasmoleküle 32, 32' durch eine entsprechende, in Fig. 1 nicht dargestellte Ionisierungseinrichtung ionisiert werden, wobei die Gasmoleküle 32, 32' vorliegend positiv geladen werden, d.h. bei der Ionisierung Elektronen abgeben. Die Ionisierungseinrichtung kann beispielsweise eine in dem Ionisierungsabschnitt 14 angeordnete bzw. diesen begrenzende Elektrode umfassen, die mit einem elektrischen Gleich- oder Wechsellspannungspotential beaufschlagbar ist.

[0041] In Förderrichtung auf den Ionisierungsabschnitt 14 folgend ist der Beschleunigungsabschnitt 16 vorgesehen. In dem Beschleunigungsabschnitt 16 ist eine Beschleunigungsstruktur 20 angeordnet. Die Struktur 20 ist durch eine gitterförmige Elektrode gebildet, die eine der elektrischen Ladung der ionisierten Gasmoleküle 32, 32' entgegengesetzt polarisierte, d.h. vorliegend negative elektrische Ladung aufweist, so dass die ionisierten Gasmoleküle 32, 32' von der Beschleunigungsstruktur 20 angezogen und in Förderrichtung beschleunigt werden.

[0042] Die Beschleunigungsstruktur 20 weist kanalförmige Öffnungen 22 auf, die parallel zueinander in Förderrichtung verlaufen und die ein relativ großes Aspektverhältnis, d.h. Verhältnis von Länge L zum Querschnittsdurchmesser d, aufweisen. Die Kanäle 22 verbinden den Ionisierungsabschnitt 14 gasleitend mit dem in Förderrichtung auf den Beschleunigungsabschnitt 16 folgenden Neutralisierungsabschnitt 18, so dass die ionisierten Gasmoleküle 32, 32' durch den Beschleunigungsabschnitt 16 hindurch in den Neutralisierungsabschnitt 18 gelangen, wie in Fig. 1 am Beispiel zweier ionisierter Gasmoleküle 32' beispielhaft angedeutet ist.

[0043] Die den Neutralisierungsabschnitt 18 umgebende Wand 24 der Pumpstufe 10 und deren die Förderkammer begrenzende Oberfläche 36 ist mit einem elektrisch neutralen Potential beaufschlagt. Wenn die in den Neutralisierungsabschnitt 18 eintretenden Gasmoleküle 32, 32' mit der Oberfläche 36 in Kontakt treten, werden diese elektrisch neutralisiert, d.h. sie nehmen zuvor abgegebene Elektronen wieder auf. Im Bereich der Oberfläche 36 kann die Wand 24 zumindest teilweise ein Material aufweisen, welches die geförderten Gasmoleküle 32, 32' zwar elektrisch neutralisiert, jedoch nicht oder nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit adsorbiert.

[0044] Während die in dem Ionisierungsabschnitt 14 vorhandenen ionisierten Gasmoleküle 32, 32' in Richtung des Neutralisierungsabschnitts 18 beschleunigt werden, wird die Bewegung der in dem Neutralisierungsabschnitt 18 vorhandenen neutralisierten Gasmoleküle 32, 32' im Wesentlichen durch deren thermische Bewegung bestimmt und ist folglich im Wesentlichen ungerichtet. Die thermisch bedingte Rückdiffusion von neutralisierten Gasmolekülen 32, 32' in Richtung des Ionisierungsabschnitts 14 ist somit deutlich geringer als die elektrisch beschleunigte Förderung von Gasmolekülen 32, 32' aus dem Ionisierungsabschnitt 14 in den Neutralisierungsabschnitt 18, so dass sich eine effiziente Pumpwirkung ergibt.

[0045] In Förderrichtung auf den Neutralisierungsabschnitt 18 folgend ist ein mit dem Neutralisierungsabschnitt 18 gasleitend verbundener Auslass 26 angeordnet, welcher gasleitend mit dem Einlass einer weiteren, der Ionisationspumpstufe 10 nachgeschalteten Pumpstufe 28 verbunden ist. Insbesondere wenn es sich bei der Pumpstufe 28 um eine turbomolekulare Pumpstufe handelt, wird auf diese Weise eine ausgesprochen leistungsstarke Vakuumpumpe geschaffen. Die Förderwirkung der gesamten Vakuumpumpe ist in Fig. 1 durch Pfeile 37, 39 veranschaulicht.

[0046] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Strömungsmodells der Ionisationsvakuumpumpstufe 10 von Fig. 1, anhand dessen nachfolgend die Pumpwirkung und die Leistungseigenschaften dieser Pumpstufe 10 erläutert sind.

[0047] Die Pfeile in Fig. 2 geben die Strömungsrichtung des Gases an. Das über den Einlass 12 der Pumpstufe 10 eintretende, abzupumpende Gas weist einen Eingangsdruck p_1 auf. Dieser Druck p_1 führt zu einem Gasstrom Q durch den Einlass 12 und die Blende 13 (Fig. 1), welcher von einem Eingangsleitwert L_B abhängt, der durch Veränderung des Öffnungsquerschnitts der Blende 13 variiert werden kann, wobei das durch den Einlass 12 und die Blende 13 eintretende Gas einen Zwischendruck p_1' aufweist.

[0048] Die durch den vorstehend beschriebenen Ionisations-, Beschleunigungs- und Neutralisierungsmechanismus geleistete Pumpwirkung ist in Fig. 2 durch eine idealisierte Ionisationspumpstufe 38 dargestellt, welche einen Ionisierungsgasstrom Q_i zu dem Neutralisierungsabschnitt der Pumpstufe 10 fördert und das Gas dabei auf den Ausgangsdruck p_2 verdichtet. Die Rückdiffusion von dem Neutralisierungsabschnitt zurück zu dem Einlass bzw. zu dem Ionisierungsabschnitt ist in Fig. 2 durch den Rückstromleitwert L_r modelliert, welcher zu einem Rückdiffusions-Gasstrom Q_r führt. Im stationären Betrieb der Pumpstufe 10 entspricht der durch den Auslass der Pumpe abgeführte Gasstrom Q_{aus} dem eingehenden Gasstrom Q der Pumpstufe 10.

[0049] Der durch den Einlass 12 und die Blende 13 eintretende Gasstrom Q steht mit dem Eingangsdruck p_1 , dem Zwischendruck p_2 und dem Eingangsleitwert L_B gemäß der Gleichung $Q = (p_1 - p_2) \cdot L_B$ in Zusammen-

hang. Ein von dem Ionisierungsgrad i des Ionisierungsabschnitts ($i = 0 \dots 100 \%$) abhängiger Anteil $Q_i(i)$ des Gasstroms Q wird wie vorstehend beschrieben ionisiert, zur Beschleunigungsstruktur hin beschleunigt, durchfliegt die Beschleunigungsstruktur und wird in dem Neutralisierungsabschnitt wieder neutralisiert. Die Rückdiffusion der elektrisch neutralen Gasmoleküle unterliegt nicht mehr den elektrischen, sondern thermischen Bewegungsgesetzen und ergibt sich zu $Q_r = (p_2 - (1 - i) \cdot p_1') \cdot L_r$.

[0050] Ausgehend von den vorstehenden Strömungsgleichungen lassen sich das maximale Saugvermögen S_0 und die Leerlaufkompression k_0 der Pumpstufe 10 bestimmen, wobei sich aus dem Saugvermögen S_0 und dem Eingangsleitwert L_B der Ho-Faktor H_0 gemäß der Gleichung $H_0 = S_0/L_B$ mit $H_0 < 100 \%$ ergibt.

[0051] Der Ho-Faktor lässt sich ausgehend von dem vorstehend beschriebenen Modell berechnen zu $H_0 = (k_0 - 1)/(k_0 + g)$, wobei g eine pumpstufenspezifische Konstante ist, deren Wert z.B. 2 sein kann und k_0 die Leerlaufkompression der Pumpstufe 10 angibt. Die Leerlaufkompression k_0 lässt sich gemäß der Gleichung $k_0 = 1 + i/(i-1) \cdot a \cdot 22,4 \cdot (U/V)^{1/2}$ bestimmen. Dabei ist a ein Geometriefaktor, welcher von der Länge der Kanäle 22 (siehe Fig. 1) abhängt und ungefähr gleich 1 ist. Der Faktor a nimmt dabei für größere Längen L der Kanäle 22 (Fig. 1) zu, so dass eine größere Länge L der Kanäle 22 zu einer größeren Leerlaufkompression k_0 und zu einem größeren Ho-Faktor H_0 führt. U bezeichnet den Betrag der an der Beschleunigungsstruktur anliegenden Beschleunigungsspannung bzw. des Beschleunigungspotentials, welcher abhängig von dem Ionisierungsgrad i gewählt werden kann.

[0052] Ein hoher Ho-Faktor ist dabei insbesondere bei hohen Beschleunigungsspannungen U und hohen Ionisierungsgraden i erzielbar. Die Ionisationspumpstufe 10 kann so ausgebildet sein, dass eine Leerlaufkompression $k_0 > 30$ und gleichzeitig ein Ho-Faktor $H_0 > 90 \%$ erreicht werden. Beispielsweise kann bei einer Beschleunigungsspannung U von 17 kV / 1,9 kV / 0,7 kV oder 0,2 kV und einem Ionisierungsgrad i von 1% / 3% / 5% bzw. 10 % ein Ho-Faktor $H_0 > 90 \%$ erreicht werden. Vorteilhafterweise wird ein Ionisierungsgrad von mindestens 3 % realisiert, um auch bei moderaten Beschleunigungsspannungen U einen Ho-Faktor $> 90 \%$ erreichen zu können.

[0053] Der Ho-Faktor der gesamten in Fig. 1 gezeigten Vakuumpumpe, d.h. der unter Berücksichtigung der weiteren Pumpstufe 28 ermittelte effektive Ho-Faktor H_{0eff} , hängt von der Saugleistung der weiteren Pumpstufe 28 sowie von dem Eingangsleitwert und dementsprechend von der Einlass- bzw. Flanschgröße der weiteren Pumpstufe 28 im Vergleich zu dem Eingangsleitwert und dementsprechend der Einlass- bzw. Flanschgröße der Ionisationspumpstufe 10 ab, wobei mit einer größeren Flanschgröße der weiteren Pumpstufe 28 ein größerer effektiver Ho-Faktor H_{0eff} erzielt wird.

[0054] Fig. 3 zeigt zum Vergleich zwei beispielhafte Kennlinien 40, 42, die jeweils den effektiven Ho-Faktor

H_{0eff} einer beispielhaften Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 in Abhängigkeit von der relativen Molekülmasse m der mit der Pumpe geförderten Gasmoleküle angeben, wobei in beiden Fällen von einer Beschleunigungsspannung U von 2 kV und einem Ionisierungsgrad i von 10 % der für beide Pumpen gleich ausgestalteten Ionisationspumpstufe 10 ausgegangen wird. Bei beiden Pumpen ist die weitere Pumpstufe 28 (Fig. 1) jeweils durch eine turbomolekulare Pumpstufe gebildet. Die Kennlinie 40 beschreibt eine Pumpe mit einer größeren Turbomolekularpumpstufe 28, bei der die Flanschgröße der Turbomolekularpumpstufe 28 der Flanschgröße der Ionisationspumpstufe 10 entspricht. Die Kennlinie 42 beschreibt eine Pumpe mit einer kleineren Turbomolekularpumpstufe 28, bei der die Flanschgröße der Turbomolekularpumpstufe 28 um eine Größe geringer ist als die Flanschgröße der Ionisationspumpstufe 10.

[0055] Wie anhand der Kennlinien 40, 42 in Fig. 3 ersichtlich, wird mit beiden Pumpen insbesondere auch bei geringen Molekülmassen m ein sehr hoher effektiver Ho-Faktor H_{0eff} erzielt, wobei der effektive Ho-Faktor H_{0eff} insbesondere bei der Pumpe mit der größeren Turbomolekularpumpstufe (Kennlinie 40) über einen weiten Bereich der Molekülmasse m größer als 90 % ist.

Bezugszeichenliste

[0056]

10	Ionisationspumpstufe
12	Einlass
14	Ionisierungsabschnitt
16	Beschleunigungsabschnitt
18	Neutralisierungsabschnitt
20	Beschleunigungsstruktur
22	kanalförmige Öffnung
24	Wand
26	Auslass
28	weitere Pumpstufe
30	Gasmolekül
32, 32'	Oberfläche der Wand
36	Pfeil
37, 39	idealisierte Ionisationspumpstufe
40, 42	Kennlinie
45	Querschnittsdurchmesser
H_{0eff}	effektiver Ho-Faktor
L	Länge
L_B	Eingangsleitwert
L_r	Rückströmungsleitwert
50	Molekülmasse
p_1	Ansaugdruck
p_1'	Zwischendruck
p_2	Ausgangsdruck
Q	Gasstrom
55	Q_r Rückgasstrom
	Q_i Ionengasstrom

Patentansprüche

1. Ionisationspumpstufe (10), insbesondere für eine Vakuumpumpe, umfassend:
 - einen Einlass (12) für in die Pumpstufe (10) eintretendes Gas,
 - einen mit dem Einlass (12) gasleitend in Verbindung stehenden Ionisierungsabschnitt (14) und eine Ionisierungseinrichtung zur Ionisierung des in den Ionisierungsabschnitt (14) eingetretenen Gases,
 - eine Beschleunigungseinrichtung (20) zur Beschleunigung des in dem Ionisierungsabschnitt vorhandenen ionisierten Gases in Förderrichtung des Gases, und
 - einen in Förderrichtung auf den Ionisierungsabschnitt (14) folgenden und mit dem Ionisierungsabschnitt (14) gasleitend in Verbindung stehenden Neutralisierungsabschnitt (18) und eine Neutralisierungseinrichtung (24) zur elektrischen Neutralisierung des in den Neutralisierungsabschnitt (18) eintretenden ionisierten Gases.
2. Ionisationspumpstufe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neutralisierungsabschnitt (18) durch den Ionisierungsabschnitt (14) zumindest annähernd vollständig von dem Einlass (12) getrennt ist.
3. Ionisationspumpstufe nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ionisierungseinrichtung eine Ionisierungsstruktur zur Ionisierung des Gases umfasst, wobei die Ionisierungsstruktur vorzugsweise mit einem elektrischen Gleichspannungspotential oder einem insbesondere hochfrequenten elektrischen Wechselspannungspotential beaufschlagbar ist.
4. Ionisationspumpstufe nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigungseinrichtung eine Beschleunigungsstruktur (20) aufweist, welche vorzugsweise eine oder mehrere, insbesondere kanal- oder tunnelartige Öffnungen (22) aufweist.
5. Ionisationspumpstufe nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigungsstruktur (20) in einem Beschleunigungsabschnitt (16) angeordnet ist und/oder einen Beschleunigungsabschnitt (16) begrenzt, der in Förderrichtung zwischen dem Ionisierungsabschnitt (14) und dem Neutralisierungsabschnitt (18) angeordnet ist und den Ionisierungsabschnitt (14) und den Neutralisierungsabschnitt (18) gasleitend miteinander verbindet.
6. Ionisationspumpstufe nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigungsstruktur (20) zur Erzeugung eines elektrischen Beschleunigungsfelds ausgebildet ist und insbesondere mit einem elektrischen Beschleunigungspotential beaufschlagbar ist.
7. Ionisationspumpstufe nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Neutralisierungseinrichtung eine in dem Neutralisierungsabschnitt (18) angeordnete und/oder den Neutralisierungsabschnitt (18) begrenzende Neutralisierungsstruktur (24) aufweist, wobei die Neutralisierungsstruktur (24) vorzugsweise mit einem neutralen elektrischen Potential, insbesondere einem Massepotential, beaufschlagbar ist.
8. Ionisationspumpstufe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche (36) der Neutralisierungsstruktur (24) zumindest bereichsweise aus einem Material besteht, an dem zu fördernde Gasmoleküle (32, 32') nicht oder nur zu einem geringen Grad adsorbiert werden, wobei die zu fördernden Gasmoleküle (32, 32') insbesondere aus der Gruppe ausgewählt sind, die H₂, O₂, N₂, CO und CO₂-Moleküle umfasst.
9. Ionisationspumpstufe nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpstufe (10) eine zylindrische Grundform besitzt, wobei vorzugsweise der Ionisierungsabschnitt (14) und der Neutralisierungsabschnitt (18) in axialer oder in radialer Richtung aufeinander folgen.
10. Ionisationspumpstufe nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpstufe (10) einen durch den Quotienten aus dem Saugvermögen und der Leerlaufkompression definierten Ho-Faktor von wenigstens 30 %, bevorzugt wenigstens 50 %, besonders bevorzugt wenigstens 70 % und höchst bevorzugt wenigstens 90 % aufweist.
11. Ionisationspumpstufe nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein in Förderrichtung auf den Neutralisierungsabschnitt (18) folgender und mit dem Neutralisierungsabschnitt (18) gasleitend verbundener Auslass (26) zur Abführung des Gases aus dem Neutralisierungsabschnitt (18) vorgesehen ist.
12. Vakuumpumpe, umfassend zumindest eine Ionisationspumpstufe (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche.

13. Vakuumpumpe nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Vakuumpumpe mehrere Ionisationspumpstufen
(10) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 umfasst,
wobei vorzugsweise mehrere Ionisationspumpstu- 5
fen (10) in Bezug auf die geförderte Gasströmung in
Serie oder parallel geschaltet sind.
14. Vakuumpumpe nach Anspruch 12 oder 13,
dadurch gekennzeichnet, dass 10
auf die wenigstens eine Ionisationspumpstufe (10)
in Förderrichtung folgend wenigstens eine weitere,
insbesondere turbomolekulare, Pumpstufe (28) vor-
gesehen ist. 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

Fig. 1

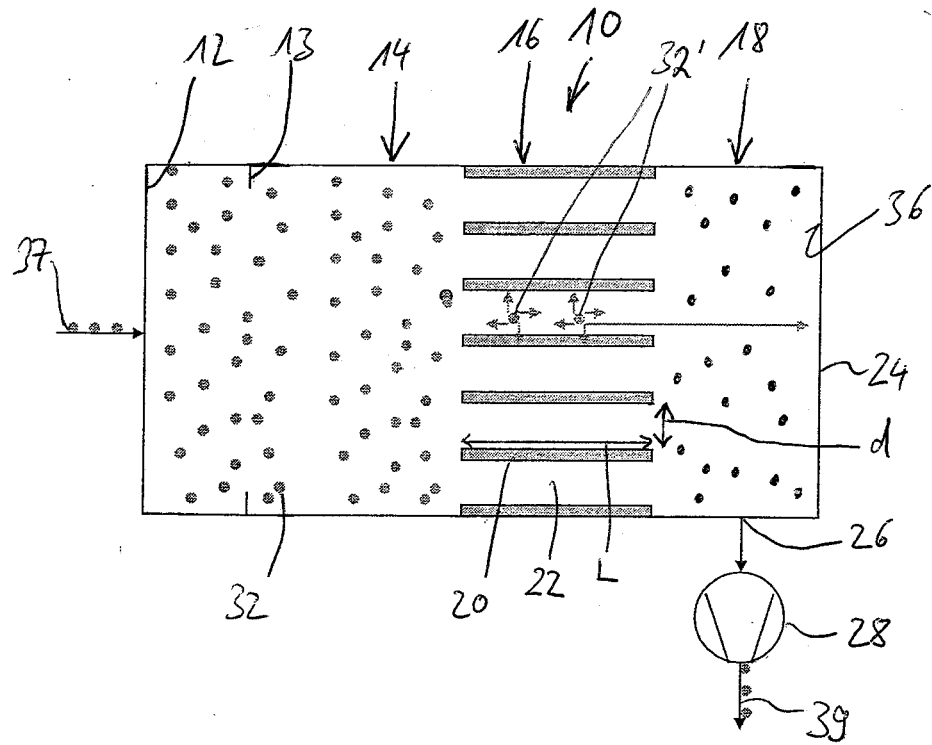


Fig. 2

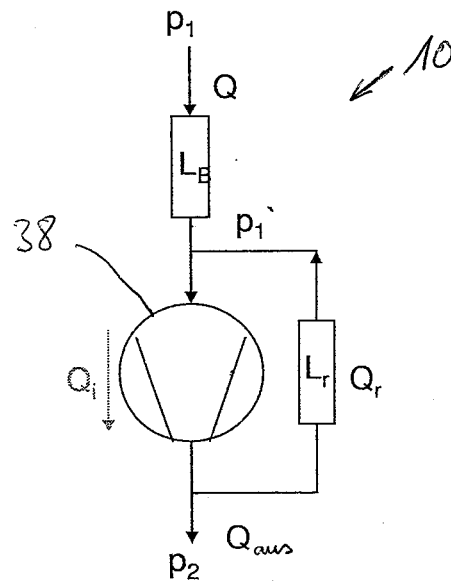


Fig. 3

