

(19)



(11)

EP 3 736 447 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.11.2020 Patentblatt 2020/46

(51) Int Cl.:
F04D 27/00 (2006.01) F04D 19/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20170014.3**

(22) Anmeldetag: **17.04.2020**

(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

- **SCHWEIGHÖFER, Michael**
35641 Schöffengrund (DE)
- **SIEBEN, Daniel**
35440 Linden (DE)
- **STAMMLER, Herbert**
35396 Gießen (DE)
- **STOLL, Tobias**
35644 Hohenahr (DE)
- **WIELSCH, Pascal**
35390 Gießen (DE)
- **WIRTH, Adrian**
35619 Braunfels (DE)

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

(72) Erfinder:

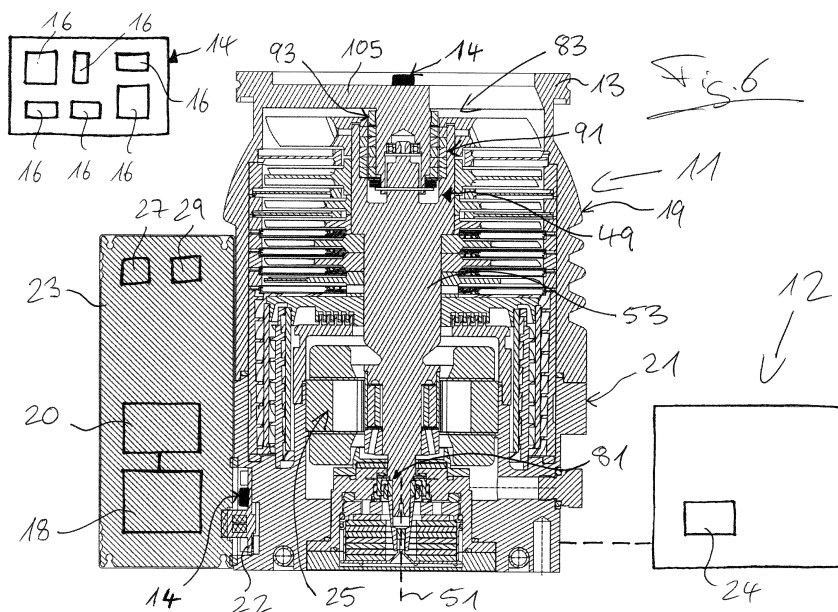
- **BÖTTCHER, Jochen**
35394 Gießen (DE)
- **DORSCHT, Viktor**
35581 Wetzlar (DE)
- **MEKOTA, Mirko**
35630 Ehringshausen (DE)

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

(54) **VAKUUMPUMPE UND VERFAHREN ZUM ÜBERWACHEN EINER VAKUUMPUMPE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe oder ein zumindest eine Vakuumpumpe umfassendes Vakuumsystem, wobei der Vakuumpumpe eine Inertialmess-einheit zugeordnet ist, die zumindest einen Inertialsensor umfasst, der dazu ausgebildet ist, Bewegungen der Va-

kuumpumpe und/oder die Orientierung der Vakuumpumpe zu erfassen und diesbezügliche Messdaten und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen bereitzustellen.



EP 3 736 447 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularvakuumpumpe. Außerdem betrifft die Erfindung ein Vakuumsystem mit zumindest einer Vakuumpumpe, insbesondere mit einer Turbomolekularvakuumpumpe. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Überwachen einer Vakuumpumpe oder eines zumindest eine Vakuumpumpe umfassenden Vakuumsystems.

[0002] Unter einem Vakuumsystem ist im Rahmen dieser Offenbarung beispielsweise eine Anordnung aus einer oder mehreren Vakuumpumpen und einer oder mehreren zu evakuierenden Vakuumkammern oder Rezipienten zu verstehen. Eine derartige Anordnung wird manchmal auch als Pumpstand bezeichnet.

[0003] Auf vielen technischen Gebieten und dabei auch auf dem Gebiet der Vakuumtechnik kommt der Zustandsüberwachung, d.h. dem Erfassen und Auswerten von Zustandsinformationen über die einzelnen Komponenten eines Vakuumsystems oder einer einzelnen Vakuumpumpe, in der Praxis eine immer größer werdende Bedeutung zu. Die mit einer Zustandsüberwachung verbundenen Ziele sind überaus vielfältig und reichen beispielsweise von einer Erhöhung der Lebensdauer einer Vakuumpumpe über eine Vereinfachung und Verbesserung von Wartung und Service von Vakuumpumpe und Vakuumsystem bis zu einer Verbesserung der Einsatzmöglichkeiten beim Betreiber und einer Erhöhung der Kundenfreundlichkeit durch Bereitstellen von Vakuumpumpe und Vakuumsystem betreffenden Informationen. Als Kunde ist in diesem Zusammenhang meist der Betreiber der Vakuumpumpe bzw. eines die Vakuumpumpe umfassenden Vakuumsystems zu verstehen, der die Vakuumpumpe vom Pumpenhersteller erwirbt. Vor diesem Hintergrund kann die Zustandsüberwachung auch im Hinblick auf mögliche Auseinandersetzungen zwischen Pumpenhersteller und -betreiber z.B. wegen Gewährleistungsansprüchen und bei Reklamationen eine wichtige Rolle spielen.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine möglichst einfache, zuverlässige und kostengünstige Möglichkeit für eine Zustandsüberwachung einer Vakuumpumpe oder eines zumindest eine Vakuumpumpe umfassenden Vakuumsystems zu schaffen.

[0005] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt jeweils durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche.

[0006] Bei der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe und bei dem erfindungsgemäßen Vakuumsystem, das zumindest eine Vakuumpumpe umfasst, ist erfindungsgemäß jeweils eine der Vakuumpumpe zugeordnete Inertialmesseinheit vorgesehen, die zumindest einen Inertialsensor umfasst, der dazu ausgebildet ist, Bewegungen der Vakuumpumpe und/oder die Orientierung der Vakuumpumpe zu erfassen und diesbezügliche Messdaten und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen bereitzustellen.

[0007] Bei einer Inertialmesseinheit, die im Fachgebiet

auch als IMU (IMU = Inertial Measurement Unit) bezeichnet wird, handelt es sich um eine räumliche Anordnung von mehreren Inertialsensoren. Ein Inertialsensor kann beispielsweise ein Beschleunigungssensor oder ein Drehratensensor sein. Ein Drehratensensor wird auch als Gyroskopsensor oder gyroskopischer Sensor bezeichnet. Derartige Inertialsensoren sind heutzutage massenhaft im Einsatz und in den unterschiedlichsten Ausgestaltungen und Qualitäten auf dem Markt erhältlich.

[0008] Ein Beschleunigungssensor liefert typischerweise lineare Beschleunigungswerte für eine translatorische Bewegung bezüglich einer Translationsachse. Ein Drehratensensor liefert typischerweise Winkelgeschwindigkeiten bezogen auf eine Rotationsachse. Durch zweimaliges Integrieren der Beschleunigungswerte eines Beschleunigungssensors können Weginformationen erhalten werden, also Informationen über den zurückgelegten Weg bezogen auf eine Referenzlage oder Referenzposition. Durch einmaliges Integrieren der Winkelgeschwindigkeiten eines Drehratensensors können Drehwinkelinformationen erhalten werden, also Informationen über einen jeweils zurückgelegten Drehwinkel bezogen auf eine Referenzlage oder Referenzorientierung. Aus diesem Grund werden Inertialsensoren typischerweise für Navigationsaufgaben eingesetzt, beispielweise für Drohen. Aber auch für andere Anwendungen, z.B. als Sensoren in Mobiltelefonen oder zur Messung von Vibrationen an Gebäuden und Maschinen, finden Inertialsensoren massenhafte Anwendung.

[0009] Am Markt erhältliche Inertialsensoren können derart ausgebildet sein, dass sie unmittelbar Beschleunigungs- bzw. Geschwindigkeitssignale (d.h. Roh-Messwerte oder Rohdaten) liefern, die folglich keiner weiteren Aufbereitung oder Verarbeitung bedürfen, um die jeweilige Beschleunigung oder Geschwindigkeit betreffende Informationen direkt von dem Inertialsensor selbst zu erhalten. Die erfindungsgemäß eingesetzte Inertialmesseinheit, die einen oder mehrere Inertialsensoren umfassen kann, kann folglich direkt ein oder mehrere Beschleunigungs- bzw. Geschwindigkeitssignale bereitstellen. Alternativ kann die Inertialmesseinheit aber auch derart ausgebildet und hierzu insbesondere mit entsprechender Elektronik ausgestattet sein, dass eine grundsätzlich beliebige Signalaufbereitung und -verarbeitung sowie Speicherung entweder der "Rohdaten" oder von daraus erhaltenen Informationen erfolgen kann.

[0010] Unter der "Lage" eines Gegenstandes, insbesondere einer Vakuumpumpe, ist im Rahmen dieser Offenbarung dessen Position und Orientierung in einem jeweiligen Koordinatensystem zu verstehen. Eine Translation des Gegenstandes ändert dessen Position, und eine Rotation des Gegenstandes ändert dessen Orientierung. Eine Bewegung des Gegenstandes kann ausschließlich Translationen bezüglich einer, zwei oder drei Translationsachsen oder ausschließlich Rotationen bezüglich einer, zwei oder drei Rotationsachsen oder sowohl Translationen als auch Rotationen insbesondere

bezüglich aller sechs möglicher Freiheitsgrade umfassen.

[0011] Unter "Bewegungen" eines Gegenstandes, insbesondere einer Vakuumpumpe, sind im Rahmen dieser Offenbarung unter anderem auch Vibrationen oder Schwingungen der Vakuumpumpe zu verstehen.

[0012] Die Bewegung eines Gegenstandes, insbesondere einer Vakuumpumpe, führt auch zu einer Schallemission in der Umgebung des Gegenstandes. Typischerweise führen Vibrationen oder Schwingungen auch zu unerwünscht emittierten Schallpegeln. Mit einem Schalldrucksensor oder einem Schallpegel-Frequenzsensor, insbesondere also einem Mikrofon, kann der resultierende Schalldruck oder Schallpegel oder das Schallspektrum des Gegenstands erfasst werden. Im Rahmen dieser Offenbarung gilt zur Vereinfachung der allgemeine Begriff "Inertialsensor" gleichbedeutend auch für Schalldruck- oder Schallpegelsensoren, auch wenn diese als spezielle Ausführung nicht jeweils erneut gesondert erwähnt werden.

[0013] Bei den Messdaten, die erfindungsgemäß von dem wenigstens einen Inertialsensor der der Vakuumpumpe zugeordneten, insbesondere in die Vakuumpumpe integrierten, Inertialmesseinheit bereitgestellt werden, kann es sich um Roh-Messdaten handeln, insbesondere also um von dem Inertialsensor unmittelbar erzeugte Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitssignale. Diese Roh-Messdaten können beispielsweise in der Vakuumpumpe abgespeichert und so beispielsweise für eine spätere Auswertung vorgehalten werden. Eine sofortige Signalverarbeitung, insbesondere in Echtzeit, ist hierbei also nicht erforderlich. Alternativ oder zusätzlich kann es sich bei den bereitgestellten Messdaten auch um aufbereitete Messdaten handeln, die - beispielsweise mittels einer zur Inertialmesseinheit gehörenden Elektronik - aus den direkt vom Inertialsensor gelieferten Signalen durch Aufbereitung oder Verarbeitung erhalten werden.

[0014] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst die der Vakuumpumpe zugeordnete, bevorzugt in die Vakuumpumpe integrierte, Inertialmesseinheit folglich einen oder mehrere Inertialsensoren, die jeweils direkt ein Beschleunigungssignal oder ein Geschwindigkeitssignal liefern.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Überwachungsverfahren werden vor, während und/oder nach einem Betrieb der Vakuumpumpe oder des Vakuumsystems Bewegungen der Vakuumpumpe und/oder deren Orientierung und/oder Bewegungen des Vakuumsystems mittels der Inertialmesseinheit der Vakuumpumpe erfasst und diesbezügliche Messdaten und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen bereitgestellt. Wie bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe und dem erfindungsgemäßen Vakuumsystem erwähnt, kann es sich bei diesen Messdaten um Roh-Messdaten des Inertialsensors und/oder um aufbereitete Messdaten handeln.

[0016] Das erfindungsgemäße Überwachen umfasst

insbesondere das Erfassen oder Detektieren oder Erkennen von Zuständen oder Zustandsänderungen der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems sowie das Bereitstellen und/oder Speichern von diesbezüglichen Zustandsinformationen.

[0017] Erfindungsgemäß ist es möglich, aber nicht zwingend, die Messdaten während des Betriebs auszuwerten und als Reaktion auf diese Auswertung in den laufenden Betrieb der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems einzugreifen. So ist es erfindungsgemäß beispielsweise möglich, die Messdaten oder durch deren Auswertung erhaltene Informationen während des Betriebs der Vakuumpumpe lediglich zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt auszuwerten, beispielsweise in einem Servicefall oder bei einem regulären Wartungstermin.

[0018] Die Inertialmesseinheit kann erfindungsgemäß in die Vakuumpumpe integriert sein. Alternativ kann die Inertialmesseinheit in ein externes Zubehörteil integriert sein, das lösbar an der Pumpe anbringbar ist. Beispielsweise kann die Inertialmesseinheit in ein Elektronikgehäuse der Vakuumpumpe integriert sein, das außerhalb des eigentlichen Pumpengehäuses der Vakuumpumpe angeordnet und, insbesondere lösbar, mit der Vakuumpumpe verbunden ist. Die Aufbereitung oder Auswertung der Messdaten kann in dem erwähnten Zubehörteil, in dem Elektronikgehäuse oder in einer Antriebselektronik der Vakuumpumpe erfolgen. Die Antriebselektronik kann sich in dem erwähnten Elektronikgehäuse befinden. Sowohl als Zubehörteil wie auch als integrierte Lösung kann die Inertialmesseinheit mit Steckverbindern, kabelgebunden oder per Funkverbindung mit einer Anzeige-, Ausgabe-, Auswerte-, Datenweiterleitungs- oder sonstigen Datenverarbeitungseinheit verbunden sein.

[0019] Weitere mögliche Ausführungsformen der Erfindung, nämlich der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe und des erfindungsgemäßen Vakuumsystems sowie des erfindungsgemäßen Überwachungsverfahrens, sind nachstehend angegeben.

[0020] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der Vakuumpumpe eine mit der Inertialmesseinheit verbundene Steuereinrichtung zugeordnet, die dazu ausgebildet ist, die Messdaten der Inertialmesseinheit auszuwerten.

[0021] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der Vakuumpumpe eine Ausgabeeinrichtung zugeordnet, über welche die Messdaten der Inertialmesseinheit und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen ausgegeben oder abgerufen werden können. Bei dieser Ausgabeeinrichtung kann es sich beispielsweise um eine Datenschnittstelle der Vakuumpumpe oder um einen auch als Zubehörport bezeichneten Zubehöranschluss der Vakuumpumpe handeln. Die Ausgabe kann alternativ oder zusätzlich auch drahtlos erfolgen. Des Weiteren kann gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung vorgesehen sein, dass der Vakuumpumpe eine Speichereinrichtung zugeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, die Mess-

daten der Inertialmesseinheit und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen zu speichern.

[0022] Wie bereits im Zusammenhang mit der Inertialmesseinheit erwähnt, können die Steuereinrichtung und/oder die Speichereinrichtung in die Vakuumpumpe, in ein Elektronikgehäuse der Vakuumpumpe, in ein Zubehörteil der Vakuumpumpe oder in eine per Datenweiterleitung an einem ggf. ortsfremden Standort angebundene Datenspeicherungs- und -verarbeitungseinrichtung integriert sein. Die Erfindung kann sich folglich Infrastrukturen wie Edge-, Cloud- und/oder Fog-Computing zunutze machen.

[0023] Die Steuereinrichtung kann in die Inertialmesseinheit integriert sein. Alternativ ist es möglich, dass die Inertialmesseinheit einen Bestandteil der Steuereinrichtung bildet. Die Speichereinrichtung kann in die Steuereinrichtung oder in die Inertialmesseinheit integriert oder davon separat vorgesehen sein.

[0024] Die Inertialmesseinheit und/oder die Steuereinrichtung und/oder die Speichereinrichtung können in eine Antriebselektronik der Vakuumpumpe integriert sein.

[0025] Vorzugsweise umfasst die Inertialmesseinheit eine räumliche Anordnung mehrerer Inertialsensoren, wobei insbesondere die Inertialmesseinheit zwei oder drei Beschleunigungssensoren, denen jeweils eine von drei paarweise senkrecht zueinander verlaufenden Translationsachsen der Vakuumpumpe zugeordnet ist, und/oder zwei oder drei Drehratensensoren umfasst, denen jeweils eine von drei paarweise senkrecht zueinander verlaufenden Rotationsachsen der Vakuumpumpe zugeordnet ist.

[0026] Die Inertialmesseinheit kann beispielsweise als MEMS (MEMS = Mikro-Elektro-Mechanisches System) ausgebildet sein oder ein Bestandteil eines MEMS sein oder als optisches System ausgebildet sein.

[0027] Der Aufbau und die Funktionsweise derartiger Inertialmesseinheiten und auch anderer konkreter Ausgestaltungen von Inertialmesseinheiten bzw. IMUs sind - wie vorstehend bereits erwähnt - dem Fachmann vertraut, so dass hierauf nicht näher eingegangen zu werden braucht.

[0028] Erfindungsgemäß kann die Inertialmesseinheit grundsätzlich an einer beliebigen Stelle der Vakuumpumpe angebracht werden. In Abhängigkeit von der konkreten Ausgestaltung der Vakuumpumpe sowie in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung können sich eine oder bestimmte Stellen der Vakuumpumpe als besonders vorteilhaft für die Anordnung der Inertialmesseinheit erweisen. Eine mögliche Stelle zum Anordnen der Inertialmesseinheit ist erfindungsgemäß eine Vakuumdurchführung der Vakuumpumpe. Derartige Vakuumdurchführungen sind grundsätzlich bekannt. Eine Vakuumdurchführung einer Vakuumpumpe kann beispielsweise von einer Platine gebildet werden. Erfindungsgemäß kann die Inertialmesseinheit auf einer solchen, eine Vakuumdurchführung bildenden Platine angeordnet werden. Auf diese Weise können existierende Vakuumpumpen mit vergleichsweise geringem Aufwand und bei

relativ geringen Kosten mit einer Inertialmesseinheit nachgerüstet werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass für eine solche Anordnung der Inertialmesseinheit eine Serienfertigung von Vakuumpumpen nur relativ geringfügig geändert zu werden braucht.

[0029] Es ist aber durchaus auch möglich, die Inertialmesseinheit, oder einen beliebigen anderen Sensor (z. B. Temperatursensoren), auf einer eigenen, innerhalb der Pumpe befestigten Platine aufzubringen. Diese Platine kann dann mit einer anderen Platine oder einer Vakuumdurchführung oder einer Platine als Vakuumdurchführung verbunden werden, und zwar zum Beispiel mittels eines Kabels lösbar (z.B. mit einer Steckverbindung), eingeschränkt lösbar (z.B. mit einer Klemmschneidverbindung), oder unlösbar (z.B. gelötet).

[0030] Gemäß einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Überwachungsverfahrens ist vorgesehen, dass anhand der Messdaten eine oder mehrere Zustandsinformationen der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ermittelt werden. Die oder jede Zustandsinformation kann erfindungsgemäß über eine Ausgabereinrichtung der Vakuumpumpe ausgegeben und/oder in einer Speichereinrichtung der Vakuumpumpe gespeichert werden.

[0031] Eine Zustandsinformation kann beispielsweise lediglich eine "Momentaufnahme" der Vakuumpumpe oder eines oder mehrerer vorgegebener Bestandteile der Vakuumpumpe sein. Alternativ kann eine Zustandsinformation das zeitliche Verhalten oder die zeitliche Entwicklung der Vakuumpumpe bzw. eines jeweiligen Bestandteils widerspiegeln, insbesondere jeweils bezüglich eines oder mehrerer Parameter oder Signale der Vakuumpumpe bzw. der betreffenden Komponente. In diesem Fall stellt die Inertialmesseinheit die Messdaten wiederholt mit grundsätzlich beliebiger, vorgegebener oder vorgebar zeitlicher Auflösung bereit.

[0032] Gemäß einem möglichen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems die Orientierung der Vakuumpumpe im Raum und/oder die Orientierung der Vakuumpumpe relativ zu einer oder mehreren anderen Komponenten des Vakuumsystems ermittelt.

[0033] In diesem Zusammenhang kann die Steuereinrichtung der Vakuumpumpe dazu ausgebildet sein, in Abhängigkeit von der ermittelten Orientierung der Vakuumpumpe einen Betriebsstart der Vakuumpumpe entweder zu gestatten oder zu unterbinden. Die Vakuumpumpe kann also selbst feststellen, ob sie so orientiert ist, dass ein Betrieb unzulässig wäre, und es einem Benutzer unmöglich machen, versehentlich einen unzulässigen Betriebsstart zu veranlassen.

[0034] Alternativ oder zusätzlich kann die ermittelte Orientierung der Vakuumpumpe bei einer Auswertung eines Schwingungen der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems betreffenden Frequenzspektrums berücksichtigt werden. Hierbei kann der Umstand ausgenutzt werden, dass das Schwingungsverhalten einer Vakuumpumpe von der Orientierung der Pumpe im Raum

abhängig ist. Folglich kann das Schwingungsverhalten spezifisch in Abhängigkeit von der ermittelten Orientierung der Vakuumpumpe ausgewertet und bewertet werden.

[0035] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Orientierung der Vakuumpumpe lediglich bei besonderen, vorgegebenen Ereignissen gespeichert. Die ermittelte Orientierung wird hier also nicht aktiv in dem Sinne genutzt, dass in Abhängigkeit von der ermittelten Orientierung aktiv in den laufenden Betrieb der Pumpe eingegriffen wird, sondern das bloße Speichern der Informationen dient einer passiven Nutzung dieser Informationen. Ein Ereignis im Sinne dieses Ausführungsbeispiels kann beispielsweise ein Bestromen der Vakuumpumpe, ein Betriebsstart der Vakuumpumpe, ein Betriebsstart einer oder mehrerer vorgegebener Komponenten - mit Ausnahme der Vakuumpumpe selbst - eines die Vakuumpumpe umfassenden Vakuumsystems oder eine Veränderung der Einbaulage der Vakuumpumpe sein. Die gespeicherten Informationen können dann zu einem späteren Zeitpunkt, z.B. in einem Servicefall oder bei einer Reklamation, für eine Auswertung herangezogen werden.

[0036] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst die Vakuumpumpe einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors in Drehung versetzten Rotor, wobei als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems eine Unwucht des Rotors und/oder ein Schwingungszustand der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ermittelt wird.

[0037] Vorzugsweise wird während des Betriebs der Vakuumpumpe die Rotorunwucht und/oder der Schwingungszustand wiederholt ermittelt. Auf diese Weise kann das zeitliche Verhalten der Rotorunwucht bzw. des Schwingungszustandes, insbesondere also die zeitliche Entwicklung des Schwingungsverhaltens der Vakuumpumpe, zum Beispiel überwacht und aufgezeichnet, d.h. für eine spätere Auswertung gespeichert werden.

[0038] Hierbei kann beispielsweise zumindest ein Maß für eine zeitliche Änderung, insbesondere eine Änderungsrate, der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes berechnet werden. Insbesondere erfolgt dies bezogen auf einen jeweiligen, bei konstanter Betriebsdrehzahl des Rotors ermittelten Grundzustand der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes.

[0039] Die Ermittlung des Grundzustands kann bei einem oder mehreren einmaligen Ereignissen wie dem Herstellungs-Endtest, der Erst-Inbetriebnahme eines Vakuumsystems oder auch während der Abnahme oder dem ersten Produktionsstart eines Vakuumsystems in der Art erfolgen, dass dieser Grundzustand gespeichert und als dauerhafte Referenzbasis für die im weiteren Betrieb stattfindenden Erfassungen von Zustandsinformationen dienen kann.

[0040] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird bei Überschreiten eines relativen oder abso-

luten Grenzwertes eine Reaktion ausgelöst. Insbesondere wird ein Warnhinweis ausgegeben. Bei dem Grenzwert handelt es sich beispielsweise um einen Grenzwert für die Rotorunwucht und/oder für den Schwingungszustand oder um einen Grenzwert für eine zeitliche Änderung der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes. Beispielsweise können die Schwingungsamplituden über die Zeit ermittelt werden, und aus diesen Stützpunkten kann rechnerisch eine Ausgleichskurve abgeleitet werden, deren lokale Steigung ein Maß für die zeitliche Änderung des Schwingungsverhaltens darstellt, die einer Bewertung oder wiederum einer zeitlichen Betrachtung unterzogen werden kann. Weiterhin können die Stützpunkte unter Zuhilfenahme von statistischen Verfahren wie z.B. Trend- oder Verteilungsanalysen, Stabilitäts- oder auch Ausreißerbetrachtungen im Detail bewertet werden.

[0041] Alternativ oder zusätzlich wird gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel bei Annäherung an einen relativen oder absoluten Grenzwert für die Rotorunwucht und/oder für den Schwingungszustand oder bei Annäherung an einen relativen oder absoluten Grenzwert für eine zeitliche Änderung der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes ein Schätzwert für den nächsten Wartungstermin der Vakuumpumpe berechnet oder wird ein aktuell vorgesehenes Wartungsintervall angepasst.

[0042] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Maß für eine Nutzungsreserve der Vakuumpumpe berechnet, z.B. bezogen auf einen bei Auslieferung der Vakuumpumpe eingestellten Ausgangswert von 100%, von dem aus während des Betriebs der Vakuumpumpe rückwärts gezählt wird. Des Weiteren kann alternativ oder zusätzlich ein Empfehlungswert für eine Zeit bis zur nächsten Wartung der Vakuumpumpe berechnet und über eine Datenschnittstelle bereitgehalten oder über eine Ausgabeeinheit direkt ausgegeben werden. Dies erfolgt insbesondere unter Berücksichtigung des bisherigen Nutzungsprofils der Vakuumpumpe und somit individuell für jede einzelne Vakuumpumpe.

[0043] Bei der Ermittlung der Rotorunwucht und/oder des Schwingungsverhaltens kann die Auswertung der Messdaten der Inertialmesseinheit auf Bewegungen in radialer Richtung - bezogen auf die Drehachse des Rotors - beschränkt werden.

[0044] Das Ermitteln der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes stellt folglich ein mächtiges Diagnosetool dar, mit dem sich sowohl für den Betreiber als auch für den Hersteller der Vakuumpumpe vielfältige Möglichkeiten zur Überprüfung und Überwachung der Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit der Vakuumpumpe ergeben.

[0045] Eine Bewertung der ermittelten Rotorunwucht und/oder des ermittelten Schwingungsverhaltens kann erfindungsgemäß in dem Sinne erfolgen, dass dieser Parameter der Vakuumpumpe als ein Veränderungsindex bewertet wird. In diesem Zusammenhang kann dieser Parameter, also z.B. die Rotorunwucht, einen von vor-

zugsweise mehreren vordefinierten KPIs (KPI = Key Performance Indicator) bilden. Insbesondere kann der Parameter einen sogenannten Health-KPI bilden, der eine Beurteilung des momentanen Funktionszustandes der Vakuumpumpe erlaubt.

[0046] Erfindungsgemäß kann die Rotorunwucht durch die 1. Harmonische bewertet werden, die der Frequenz der Betriebsdrehzahl des Rotors entspricht. Auch die höheren Harmonischen können für diese Bewertung der Rotorunwucht herangezogen werden. Dies ist aber nicht zwingend erforderlich.

[0047] Bei der Auswertung der Messdaten können erfindungsgemäß Methoden aus dem Bereich der Fourier-Analyse zum Einsatz kommen, beispielsweise eine FFT (FFT = Fast Fourier Transform). Eine solche FFT kann beispielsweise auf der Basis eines digitalen Zeitsignals erstellt werden. Ferner können erfindungsgemäß bei der Auswertung der Messdaten spezielle Verfahren der digitalen Signalverarbeitung zum Einsatz kommen, beispielsweise ein Görtzel-Algorithmus oder eine andere Art von diskreter Fourier-Transformation. Ein Görtzel-Algorithmus erlaubt die Berechnung einzelner diskreter Spektralanteile des Frequenzspektrums. Auf diese Weise kann bei der Auswertung der Messdaten beispielsweise der sogenannte Laufpeak betrachtet werden.

[0048] Was die Signalverarbeitung bei der Auswertung der Messdaten anbetrifft, so ermöglicht die Erfindung eine vergleichsweise einfache Vorgehensweise, die insbesondere ohne ein nacheinander erfolgendes Durchstimmen von Frequenzen und ohne Verwendung sogenannter Frequenzfilter-Schaltkreise auskommt.

[0049] Die vorstehend genannten Möglichkeiten bei der Auswertung der Messdaten können miteinander kombiniert werden und sind nicht auf bestimmte Ursachen für Schwingungen der Vakuumpumpe beschränkt. Schwingungen der Vakuumpumpe können zum Beispiel durch eine Rotorunwucht, aber auch durch externe Quellen verursacht werden, beispielsweise durch andere Pumpen oder bewegliche Teile aufweisende Komponenten des jeweiligen Vakuumsystems, zu dem die mit der Inertialmesseinheit versehene Vakuumpumpe gehört.

[0050] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ein Schwingungszustand der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ermittelt werden. Insbesondere wird dabei ein Schwingungen der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems betreffendes Frequenzspektrum ermittelt.

[0051] Schwingungen der Vakuumpumpe während des Betriebs entstehen insbesondere dann, wenn die Vakuumpumpe einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors in Drehung versetzten Rotor umfasst. Wie bereits erwähnt, können Schwingungen der Vakuumpumpe aber auch andere, z.B. externe, aber auch andere interne Ursache haben. Die Erfindung ist folglich nicht auf solche Vakuumpumpen beschränkt, die einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors in Drehung versetzten Rotor umfassen. Sogenannte Scroll-

Vakuumpumpen beispielsweise besitzen keinen sich während des Betriebs drehenden Rotor, sondern eine oder mehrere andere bewegliche Komponenten, die eine sogenannte orbitierende Bewegung ausführen. Auch in Verbindung mit derartigen Vakuumpumpen kann die Erfindung zum Einsatz kommen.

[0052] Wie bereits erwähnt, kann erfindungsgemäß das Ermitteln eines Frequenzspektrums der Vakuumpumpe Methoden aus dem Bereich der Fourier-Analyse umfassen, beispielsweise eine sogenannte FFT (FFT = Fast Fourier Transform). Die Erfassung des Frequenzspektrums kann sich auf einzelne Frequenzen oder Frequenzbänder beschränken. Das Abspeichern eines ermittelten Frequenzspektrums kann sich auf die Speicherung bestimmter Punkte, Bereiche oder Abschnitte des Frequenzspektrums beschränken, beispielsweise dergestalt, dass lediglich eine bestimmte Anzahl der relativ höchsten Peaks abgespeichert wird.

[0053] Wenn als eine Zustandsinformation ein Schwingungszustand der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ermittelt wird, dann kann insbesondere vorgesehen sein, dass der Schwingungszustand während eines Hochlaufens der Vakuumpumpe ermittelt und insbesondere abgespeichert wird. Der Schwingungszustand wird also während einer anfänglichen Betriebsphase der Vakuumpumpe ermittelt, während der die Drehzahl des Rotors zunimmt. Insbesondere kann zusätzlich nach dem Hochlaufen bei mit Betriebsdrehzahl laufendem Rotor der Schwingungszustand ermittelt werden.

[0054] Vorzugsweise werden hierbei, also während eines Hochlaufens der Vakuumpumpe, Resonanzzustände der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ermittelt. Die Pumpe agiert hier als Anreger. Wie die Pumpe und das System auf die Anregung antwortet, gibt Aufschluss über vorliegende Resonanzen über ein breites Frequenzspektrum, insbesondere von 0 Hz bis zur Betriebsdrehzahl. Derartige Resonanzzustände betreffende Informationen können beispielsweise für eine Ausgabe an oder für den Abruf durch eine externe Einrichtung, z.B. eine Systemsteuerung des Vakuumsystems, bereitgestellt und auf diese Weise z.B. dem Betreiber des Vakuumsystems zur Verfügung gestellt werden.

[0055] Die vorgenannte Vorgehensweise zur Ermittlung von Resonanzzuständen kann nicht nur beim Hochlaufen einer Vakuumpumpe, sondern auch umgekehrt am Zyklus- oder Prozessende eines Vakuumsystems und damit beim Herunterlaufen oder dem Auslauf der Vakuumpumpe angewendet werden. Diese Methode benötigt ggf. zusätzliche Betriebszeit, zum Beispiel zusätzliche Messzeit nach dem oder zum vorgesehenen Prozessende für die Ermittlung des Schwingungszustands bei noch mit Betriebsdrehzahl laufendem Rotor, ggf. mit zumindest anteilig weiterhin aktivem Prozessgasfluss. Weiterhin ist ggf. das Belüften des Vakuumsystems verzögert, insbesondere aktiv geregelt, vorzunehmen, damit die Vakuumpumpe optimal entschleunigen kann, um eine bestmögliche Resonanzmessung zu erzielen.

[0056] Potentielle Vorteile der Messung im Auslauf ge-

genüber einer Ermittlung während des Hochlaufens der Vakuumpumpe sind zum Beispiel ein durch den statt mit Maximalleistung überhaupt nicht oder nur mit geringer Bremsleistung aktiven Antriebsmotor sich ergebendes geringeres potentiell elektromagnetisches und -mechanisches Störspektrum für die meist umständehalber räumlich nah angeordnete Inertialmesseinheit und ihre Signalleitungen.

[0057] Ein weiterer Vorteil ist, dass zum Zyklus- bzw. Prozessende die Ermittlung der Zustandsinformation während eines stabilen, thermisch eingeschwungenen Zustands der Vakuumpumpe und des Vakuumsystems stattfindet. Der vorhergehende Betriebsablauf findet typischerweise regelmäßig gleichartig statt und erzeugt damit eine langfristig stabile Vergleichsbasis der erfassten Betriebszustände. Ungewollte Einflüsse bzw. die Variabilität von unspezifischen, selten auftretenden Zuständen und ihre Auswirkungen auf die Zustandsinformation können deutlich reduziert werden. Beispielfhaft sei hier der "Kaltstart" eines Systems, also der erste Hochlauf der Vakuumpumpe und des Vakuumsystems zu Beginn eines Betriebstages oder auch der erste Betriebszyklus nach einer längeren Prozesspause genannt.

[0058] Zuletzt sei der organisatorische Vorteil genannt, eine möglichst aktuelle Zustandsinformation zum Ende eines ggf. längeren Betriebsablaufs bzw. einer Charge zu erhalten, die den Benutzer/Betreiber bestmöglich über die verbleibende Nutzungsreserve noch vor dem, möglicherweise später geplanten, potentiellen Start eines weiteren ggf. längeren Betriebsablaufs bzw. einer Charge informiert.

[0059] Alternativ oder zusätzlich kann erfindungsgemäß mithilfe der ermittelten Resonanzzustände die Betriebssicherheit und/oder die Lebensdauer der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems erhöht werden, indem von der Vakuumpumpe und/oder von dem Vakuumsystem zu einem vorgegebenen Zeitpunkt, insbesondere wenn sich die Drehzahl des Rotors derjenigen eines Resonanzzustandes nähert, ein Warnhinweis ausgegeben wird oder automatisch eine Anpassung der Drehzahl des Rotors vorgenommen wird. Hierdurch kann ein Betrieb der Vakuumpumpe in einem Resonanzzustand vermieden werden.

[0060] Das Ermitteln eines Schwingungszustandes der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems kann erfindungsgemäß alternativ oder zusätzlich auch dazu verwendet werden, die Drehzahl des Rotors der Vakuumpumpe automatisch zu verändern, wenn anhand des ermittelten Schwingungszustandes von einer Steuereinrichtung der Vakuumpumpe oder von einer Systemsteuerung des Vakuumsystems eine oder mehrere weitere Vakuumpumpen innerhalb des Vakuumsystems erkannt werden, die mit der zumindest näherungsweise gleichen Betriebsdrehzahl betrieben werden wie die Vakuumpumpe. Auf diese Weise können unerwünschte Schwebungszustände verhindert werden.

[0061] Die Ermittlung eines Schwingungszustandes der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems kann

außerdem gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung dazu verwendet werden, anhand des ermittelten Schwingungszustandes einen oder mehrere vorgegebene Parameter der Vakuumpumpe und/oder ein oder mehrere Signale eines oder mehrerer Sensoren der Vakuumpumpe zu überwachen. Diese Überwachung kann insbesondere hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens des oder der Parameter bzw. des oder der Signale erfolgen.

[0062] Vorzugsweise erfolgt eine derartige Überwachung bezogen auf einen in einer Anlernphase ermittelten Sollzustand der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems, wobei im Anschluss an diese Anlernphase von einer Steuereinrichtung der Vakuumpumpe überprüft wird, ob der oder die überwachten Parameter und/oder das oder die überwachten Signale dem Sollzustand entsprechen oder nicht. Wenn bei dieser Überprüfung eine Abweichung von dem Sollzustand - unter Berücksichtigung vorgegebener Toleranzen - erkannt wird, dann wird diese Veränderung des betreffenden Parameters bzw. Signals einer Auswertung und/oder Bewertung unterzogen, vorzugsweise unter Berücksichtigung vorgegebener Kriterien.

[0063] Das erwähnte Anlernen zur Ermittlung des Sollzustandes erfolgt vorzugsweise automatisch.

[0064] Ein solches Anlernen kann erfindungsgemäß auch ganz allgemein, also unabhängig von der Ermittlung eines Schwingungszustandes und auch unabhängig von einer darauf basierenden Überwachung, wie z. B. vorstehend erwähnt, erfolgen, um eine, insbesondere dauerhafte, Vergleichsbasis für jedwede mithilfe der Inertialmesseinheit durchgeführten Messungen bereitzustellen.

[0065] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung werden als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe und/oder des Vakuumsystems ein oder mehrere besondere Ereignisse ermittelt. Dabei können das oder die ermittelten Ereignisse, d.h. das oder die Ereignisse betreffende Informationen oder Daten, über eine Ausgabereinrichtung der Vakuumpumpe ausgegeben und/oder in einer Speichereinrichtung der Vakuumpumpe gespeichert werden.

[0066] Dabei kann vorgesehen sein, dass die permanent ermittelten Messdaten lediglich gepuffert und nur dann gespeichert werden, wenn ein Ereignis tatsächlich eintritt. Was als "Ereignis" gewertet wird, hängt von der jeweiligen Anwendung ab und kann durch bestimmte Kriterien vorgegeben werden. Dabei können vorgegebene Grenzwerte, z.B. für die als Parameter gemessene Schwingungsamplitude, verwendet werden, deren Überschreiten als Eintreten eines Ereignisses gewertet wird. Ein oder mehrere Grenzwerte können erfindungsgemäß beliebigen Parametern oder Signalen zugeordnet werden.

[0067] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung besteht darin, dass die Vakuumpumpe einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors in Drehung versetzten Rotor umfasst, und dass als ein besonderes Ereignis

während des Betriebs der Vakuumpumpe eine axiale Verlagerung des Rotors zwischen einer ersten axialen Position und einer zweiten axialen Position detektiert wird. Beispielsweise handelt es sich bei der ersten axialen Position um eine sogenannte Vorvakuum-Position des Rotors und bei der zweiten axialen Position um eine sogenannte Hochvakuum-Position.

[0068] Derartige Verlagerungen des Rotors, die auch als Sprünge bezeichnet werden, sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt. Dieses in der Praxis beobachtete Phänomen tritt insbesondere bei hybridgelagerten Rotoren von Turbomolekularvakuum pumpen auf. Dabei bedeutet Hybridlagerung, dass sich auf der Hochvakuumseite (HV-Seite) der Pumpe ein Magnetlager, insbesondere ein passives, repulsiv wirkendes Radiallager mit Permanentmagneten, zwischen dem Rotor und einem Stator der Pumpe befindet. Auf der Vorvakuumseite (W-Seite) dagegen ist der Rotor mittels eines Wälzlagers, insbesondere eines Kugellagers, gelagert. Das Lagerungskonzept identifiziert entsprechend das Magnetlager als Loslager mit radialer und das Wälzlager als Festlager mit radialer und axialer Lagerwirkung in Bezug zur Rotationsachse.

[0069] Die Ursache für einen "Rotorsprung" ist eine betriebsbedingte Erwärmung des Rotors und die daraus resultierende axiale Wärmeausdehnung des Rotors entlang seiner Rotationsachse, die an der Loslagerseite zu einer Änderung der axialen Relativposition zwischen einem rotorseitigen Magnetlagerpaket und einem statorseitigen Magnetlagerpaket des Magnetlagers zwischen Rotor und Stator führt. Diese Änderung führt zu einer Veränderung der bei einem Magnetlager systembedingten, unerwünscht auftretenden axialen Abstoßungskräfte des Magnetlagers, was zur Folge hat, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Rotor eine plötzliche Bewegung in Richtung der Hochvakuumseite ausführt. Diese Bewegung wird durch das technisch bedingt vorhandene axiale Umkehrspiel der Festlagerseite ermöglicht und begrenzt. Das Umkehrspiel setzt sich insbesondere aus dem Wälzlagerspiel, insbesondere der Lagerluft oder dem Betriebsspiel, und den Elastizitäten der weiteren angrenzenden Komponenten, insbesondere einer schwingungsisolierenden und/oder -dämpfenden Elastomer-Lagereinbettung, zusammen.

[0070] Bei einer Abkühlung des Rotors ist auch ein Sprung zurück auf die Vorvakuumseite möglich, insbesondere erfolgt dieser bei Abkühlung der Vakuumpumpe nach Außerbetriebnahme bzw. Stopp des Vakuumsystems. Auch die je nach Betriebszustand unterschiedliche Temperatur und damit Wärmeausdehnung der Statorkomponenten, die zwischen den Lagerstellen angeordnet sind, beeinflusst die axiale Verlagerung der Magnetlagerkomponenten der Loslagerseite, üblicherweise ist jedoch durch die geringeren Temperaturveränderungen im Betrieb dieser Einfluss geringer als der des Rotors. Durch die gemeinsame Erwärmung während des Betriebs kompensieren sich ggf. Teilbeträge der Ausdehnungen von Rotor- und Statorkomponenten, dies ist je-

doch stark von der Materialwahl, z.B. den jeweiligen Ausdehnungskoeffizienten, als auch von der Art der ggf. primär am Stator angeordneten Kühleinrichtungen abhängig.

[0071] Das Ereignis des Rotorsprungs lässt sich insbesondere als ein Vorzeichenwechsel der im Festlager getragenen axialen Lagerlast beschreiben. Diese Lagerlast setzt sich aus der je nach Raumorientierung bzw. Montageausrichtung der Vakuumpumpe unterschiedlich stark eingehenden Gewichtskraft des Rotors und der durch das Magnetlager verursachten axialen Abstoßungskraft zusammen. Die maximale axiale Abstoßungskraft des Magnetlagers bei Grenz-Betriebszuständen wie dem Betrieb der Vakuumpumpe mit einem Rotor bei Maximaltemperatur und sehr gut gekühltem Stator oder dem ersten, "durchgeköhlten" Start der Vakuumpumpe bei Minimaltemperaturen als anderem Extrem ist betragsmäßig gesehen meist größer als die absolute Gewichtskraft des Rotors. Rotor sprünge treten entsprechend unabhängig von der Raumorientierung der Pumpe während bestimmter Betriebsphasen, insbesondere nach einer kurzen Warmlaufphase oder nach Stillsetzung der Vakuumpumpe regelmäßig einmalig je Phase auf.

[0072] Während der Herstellung oder Wartung einer Vakuumpumpe kann die sogenannte "Einstellung" der Hybridlagerung derart erfolgen, dass bei einer Normtemperatur Wirkrichtung und Betrag der axialen Abstoßungskräfte mit Hilfe von mechanischen Kontroll- und Einstellmitteln oder-vorrichtungen auf einen für den späteren Betrieb der Vakuumpumpe optimal gewählten Wert verändert wird. Insbesondere geschieht dies durch die mechanische Variation des axialen Abstands von Los- und Festlager auf der Statorseite durch Hilfseinrichtungen wie die Zugabe von Beilagscheiben oder dem Verstellen von vorgespannten, selbsthemmenden Gewinde-Einstellelementen.

[0073] Durch eine Einstellung können verschiedene Ziele sichergestellt werden, insbesondere sollen in allen möglichen Betriebszuständen die maximalen axialen Lagerkräfte zur Erhöhung der Wälzlagerlebensdauer niedrig gehalten werden, weiterhin kann es auch ein Ziel sein, den notwendigen Rotorsprung sicher zu einem bestimmten Betriebszeitpunkt, z.B. während des Warmlaufens, durchzuführen. Deshalb spricht man in diesem Zusammenhang von einem "Springen" des zuvor "vorvakuumseitig laufenden" Rotors, der anschließend "hochvakuumseitig läuft", oder entsprechend umgekehrt.

[0074] Da derartige Rotorsprünge jeweils eine (kurzzeitige) Bewegung der Vakuumpumpe zur Folge haben, kann ein solches Ereignis mittels der erfindungsgemäßen Inertialmesseinheit detektiert werden. Beispielsweise bei einer späteren Auswertung kann z.B. geprüft werden, zu welchem Anteil an den gesamten Betriebsstunden der Pumpe der Rotor vorvakuumseitig gestanden ist und zu welchem Anteil der Rotor sich in der Hochvakuumposition befunden hat. Der Abgleich der Rotortemperatur und einzelner oder mehrerer Pumpenkörper-Tem-

peraturen kann dazu dienen, die im jeweiligen Zustand vorherrschenden, durch die axialen Abstoßungskräfte des Magnetlagers verursachten Lagerlasten zu ermitteln, die als zusätzliche Komponente zu den üblichen statischen und dynamischen Lagerlasten des Wälzlagers hinzukommen. Auch der Punkt des Rotorsprungs kann so bewertet werden, insbesondere kann eine Meldung generiert werden, falls eine Wartung zur Neueinstellung bzw. Revision der Lagereinstellung notwendig wird.

[0075] Alternativ oder zusätzlich kann erfindungsgemäß als ein besonderes Ereignis eine Bewegung der Vakuumpumpe als Ganzes detektiert werden. Diese Bewegung kann beispielsweise hinsichtlich Richtung und Betrag von Translationen und/oder Rotationen der Vakuumpumpe analysiert werden. Eine Analyse der Bewegung der Vakuumpumpe kann beispielsweise während des Betriebs der Vakuumpumpe in mobilen oder sogenannten semi-mobilen Vakuumsystemen erfolgen.

[0076] Aufgrund der gyroskopischen Kräfte spielt die Geschwindigkeit von Drehratenänderungen, die nicht koaxial bezogen auf die Drehachse des Rotors der Vakuumpumpe stattfinden, eine entscheidende Rolle bei der radialen Lagerlast eines drehenden Systems wie einer Vakuumpumpe. Die Analyse der Drehrate kann daher dafür genutzt werden, Informationen und/oder Warnungen über die zulässige Geschwindigkeit der Drehratenänderung im Betrieb der Vakuumpumpe zu geben. Die zulässigen Belastungen und damit Änderungsgeschwindigkeiten können dabei drehrichtungsabhängig unterschiedlich hoch definiert sein. Eine Information kann sowohl je Raumachse oder auch als berechneter, resultierender Vergleichswert ausgegeben werden.

[0077] Bei Vakuumpumpen mit berührungsloser Magnetlagerung ist typischerweise die Aufzehrung des radialen und des ggf. auch vorhandenen axialen Lagerspalts die limitierende Größe zur Definition der zulässigen Drehratenänderungen als auch der Translationsgeschwindigkeitsänderungen. Vor allem bei Vakuumpumpen mit Hybridlagerung ist eine direkte Messung des Fanglagerspalts während des Betriebs kaum möglich. Eine richtungsabhängige Überwachung der Bewegungsänderungen sowohl rotatorisch wie translatorisch ermöglicht eine Zustandsinformation, in welchem Belastungsbereich sich die Magnetlagerung befindet und ob ausreichend Sicherheitsreserve zu den Warn- oder Fehlerschwellen hin besteht.

[0078] Weitere mögliche besondere Ereignisse, die erfindungsgemäß ermittelt werden können, sind Änderungen der Einbaulage der Vakuumpumpe, sogenannte "Schocks", bei denen es sich um Ereignisse handelt, die jeweils zu einer kurzfristigen Überschreitung eines vorgegebenen Beschleunigungsgrenzwertes führen. Derartige Schocks können beispielsweise durch Schläge von im Vakuumsystem eingesetzten Ventilen, bzw. Schiebern, durch Schläge gegen die Vakuumpumpe oder durch andere mechanische Einwirkungen auf das Vakuumsystem oder auf die Vakuumpumpe, beispielsweise

durch Stürze der Vakuumpumpe oder des Vakuumsystems, erfolgen.

[0079] Erfindungsgemäß kann die Nutzung der Messdaten und/oder der daraus erhaltenen Informationen auf vielfältige Art und Weise erfolgen. Beispielsweise können die Daten/Informationen ausschließlich in der Vakuumpumpe gespeichert werden, und zwar derart, dass ausschließlich der Hersteller der Vakuumpumpe einen Zugriff auf diese Daten/Informationen hat.

[0080] Alternativ können die Daten/Informationen dem Betreiber der Vakuumpumpe oder eines die Vakuumpumpe umfassenden Vakuumsystems zur Verfügung gestellt werden. Wie an anderer Stelle bereits erwähnt, handelt es sich bei diesem Betreiber in der Praxis häufig um einen Kunden des Herstellers der Vakuumpumpe.

[0081] Generell kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass die Messdaten und/oder die durch Auswerten dieser Messdaten erhaltenen Informationen ausschließlich bei Vorliegen einer Autorisierung ausgegeben oder abgerufen werden können. Dies kann insbesondere über eine Schnittstelle der Vakuumpumpe oder einen Zubehöranschluss der Vakuumpumpe erfolgen. Die erforderliche Autorisierung kann beispielsweise durch den Hersteller der Vakuumpumpe erfolgen. Manchen Betreibern der Vakuumpumpe kann folglich ein Zugriff auf die Daten/Informationen gewährt, anderen Betreibern verwehrt werden.

[0082] Alternativ oder zusätzlich können die Daten/Informationen an eine Systemsteuerung eines die Vakuumpumpe umfassenden Vakuumsystems ausgegeben und/oder von dieser Systemsteuerung abgerufen werden. Der Zugriff auf die Daten/Informationen muss hierbei folglich nicht direkt über die Vakuumpumpe, sondern kann über die Systemsteuerung erfolgen, in welche die Vakuumpumpe insbesondere über ihre Steuereinrichtung integriert ist.

[0083] 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 Schnittnlinie A-A,

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

Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittnlinie C-C, und

Fig. 6 ein mögliches Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe als Bestandteil eines erfindungsgemäßen Vakuumsystems.

[0084] 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.

[0085] Der Einlassflansch 113 bildet bei der Ausrichtung der Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 das obere Ende des Gehäuses 119 der Vakuumpumpe 111. Das Gehäuse 119 umfasst ein Unterteil 121, an welchem seitlich ein Elektronikgehäuse 123 angeordnet ist. In dem Elektronikgehäuse 123 sind elektrische und/oder elektronische Komponenten der Vakuumpumpe 111 untergebracht, z. B. zum Betreiben eines in der Vakuumpumpe angeordneten Elektromotors 125 (vgl. auch Fig. 3).

[0086] 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.

[0087] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0088] Am Gehäuse 119 der Turbomolekularpumpe 111 ist ein Fluteinlass 133, insbesondere in Form eines Flutventils, vorgesehen, über den die Vakuumpumpe 111 geflutet werden kann. Im Bereich des Unterteils 121 ist ferner noch ein Sperrgasanschluss 135, der auch als Spülgasanschluss bezeichnet wird, angeordnet, über welchen Spülgas zum Schutz des Elektromotors 125 (siehe z.B. Fig. 3) vor dem von der Pumpe geförderten Gas in den Motorraum 137, in welchem der Elektromotor 125 in der Vakuumpumpe 111 untergebracht ist, eingelassen werden kann. Im Unterteil 121 sind ferner noch zwei Kühlmittelanschlüsse 139 angeordnet, wobei einer der Kühlmittelanschlüsse als Einlass und der andere Kühlmittelanschluss als Auslass für Kühlmittel vorgesehen ist, das zu Kühlzwecken in die Vakuumpumpe geleitet werden kann. Andere existierende Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0089] Die untere Seite 141 der Vakuumpumpe kann als Standfläche dienen, sodass die Vakuumpumpe 111 auf der Unterseite 141 stehend betrieben werden kann. Die Vakuumpumpe 111 kann aber auch über den Einlassflansch 113 an einem Rezipienten befestigt werden und somit gewissermaßen hängend betrieben werden. Außerdem kann die Vakuumpumpe 111 so gestaltet sein, dass sie auch in Betrieb genommen werden kann,

wenn sie auf andere Weise ausgerichtet ist als in Fig. 1 gezeigt ist. Es lassen sich auch Ausführungsformen der Vakuumpumpe realisieren, bei der die Unterseite 141 nicht nach unten, sondern zur Seite gewandt oder nach oben gerichtet angeordnet werden kann. Grundsätzlich sind dabei beliebige Winkel möglich.

[0090] Andere existierende Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0091] 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.

[0092] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann. Dies ist bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0093] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0094] 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.

[0095] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0096] 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.

[0097] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0098] 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 coaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Stator-

hülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls coaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0099] 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.

[0100] 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.

[0101] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 167, 169 weisen jeweils mehrere spiralförmig um die Rotationsachse 151 herum in axialer Richtung verlaufende Holweck-Nuten auf, während die gegenüberliegenden Mantelflächen der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 glatt ausgebildet sind und das Gas zum Betrieb der Vakuumpumpe 111 in den Holweck-Nuten vorantreiben.

[0102] 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.

[0103] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumpumpen (nicht dargestellt) kann anstelle einer Spritzmutter eine Spritzschraube vorgesehen sein. Da somit unterschiedliche Ausführungen möglich sind, wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff "Spritzspitze" verwendet.

[0104] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0105] 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.

[0106] Das Permanentmagnetlager 183 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 191 und eine statorseitige Lagerhälfte 193, welche jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinander gestapelten permanentmagnetischen Ringen 195, 197 umfassen. Die Ringmagnete 195, 197 liegen einander unter Ausbildung eines radialen Lagerspalts 199 gegenüber, wobei die rotorseitigen Ringmagnete 195 radial außen und die statorseitigen Ringmagnete 197 radial innen angeordnet sind. Das in dem Lagerspalt 199 vorhandene magnetische Feld ruft magnetische Abstoßungskräfte zwischen den Ringmagneten 195, 197 hervor, welche eine radiale Lagerung der Rotorwelle 153 bewirken. Die rotorseitigen Ringmagnete 195 sind von einem Trägerabschnitt 201 der Rotorwelle 153 getragen, welcher die Ringmagnete 195 radial außenseitig umgibt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind von einem statorseitigen Trägerabschnitt 203 getragen, welcher sich durch die Ringmagnete 197 hindurch erstreckt und an radialen Streben 205 des Gehäuses 119 aufgehängt ist. Parallel zu der Rotationsachse 151 sind die rotorseitigen Ringmagnete 195 durch ein mit dem Trägerabschnitt 201 gekoppeltes Deckelelement 207 festgelegt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind parallel zu der Rotationsachse 151 in der einen Richtung durch einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 209 sowie einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 211 festgelegt. Zwischen dem Befestigungsring 211 und den Ringmagneten 197 kann außerdem eine Tellerfeder 213 vorgesehen sein.

[0107] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not- bzw. Fanglager 215 vorgesehen, welches im normalen Betrieb der Vakuumpumpe 111 ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors 149 relativ zu dem Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor 149 zu bilden, damit eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert wird. Das Fanglager 215 ist als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet und bildet mit dem Rotor 149 und/oder dem Stator einen radialen Spalt, welcher bewirkt, dass das Fanglager 215 im normalen Pumpbetrieb außer Eingriff ist. Die radiale Auslenkung, bei der das Fanglager 215 in Eingriff ge-

langt, 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.

[0108] 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.

[0109] 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.

[0110] 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.

[0111] Fig. 6 basiert auf der Darstellung der Fig. 3 und zeigt die erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe, die im Folgenden auch einfach als Turbomolekularpumpe oder als Turbopumpe bezeichnet wird, in einem Querschnitt durch die erfindungsgemäße Turbopumpe, der dem Querschnitt der Fig. 3 entspricht.

[0112] Wie in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 gezeigt, kann die Erfindung folglich in Verbindung mit einer Turbomolekularpumpe Verwendung finden, wie sie zuvor anhand der Fig. 1 bis 5 beschrieben wurde.

[0113] Die erfindungsgemäße Turbopumpe 11 besitzt folglich einen Rotor 49 mit einer Welle 53, die im Betrieb mittels eines Elektromotors 25 um eine Rotationsachse 51 in Drehung versetzt wird.

[0114] Der Rotor 49 ist mit einer Hybridlagerung versehen. Auf der VV-Seite (in Fig. 6 unten) ist für den Rotor 49 ein Wälzlager 81 vorgesehen. Auf der HV-Seite (in Fig. 6 oben) ist der Rotor 49 durch ein Permanentmagnetlager 83 gelagert, das eine rotorseitige Lagerhälfte 91

und eine statorseitige Lagerhälfte 93 aufweist.

[0115] Die Vakuumpumpe 11 besitzt ein äußeres Gehäuse 19, das mit einem Unterteil 21 verbunden ist. Auf der HV-Seite, also am Pumpeneinlass, besitzt das Gehäuse 19 im Bereich eines Einlassflansches 13 einen sogenannten Stern, der mehrere radiale Streben 105 umfasst, die im Zentrum, also auf der Rotationsachse 51, zusammenlaufen.

[0116] An der Außenseite des Gehäuses 19 und des Unterteils 21 ist ein Elektronikgehäuse 23 lösbar angebracht. In dem Elektronikgehäuse 23 befindet sich unter anderem eine Steuer- und Antriebselektronik (nicht dargestellt) für die Vakuumpumpe 11, insbesondere für den Elektromotor 25, aber auch für mögliche andere Komponenten (nicht dargestellt) der Vakuumpumpe 11 wie beispielsweise Sensoren etc.

[0117] Das Elektronikgehäuse 23 ist über elektrische Steckkontakte verbunden, wobei die pumpenseitigen Kontakte an einer als Vakuumdurchführung dienenden Platine 22 im Bereich des Unterteils 21 der Vakuumpumpe 11 ausgebildet sind.

[0118] In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist die erfindungsgemäße Vakuumpumpe 11 ein Bestandteil eines Vakuumsystems 12, was hier lediglich schematisch durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist. Das Vakuumsystem 12 kann beispielsweise einen Pumpstand bilden, der eine mittels der Vakuumpumpe 11 zu evakuierende Vakuumkammer sowie eine der Vakuumpumpe 11 zugeordnete Vorpumpe (nicht dargestellt) umfasst.

[0119] Grundsätzlich kann das Vakuumsystem 12 beliebig komplex aufgebaut sein und beispielsweise eine oder mehrere Vakuumkammern und zusätzlich zu der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe eine oder mehrere weitere Vakuumpumpen umfassen, die in erfindungsgemäßer Weise ausgebildet sein können oder nicht. Das Vakuumsystem 12 kann mobil oder semi-mobil ausgeführt sein.

[0120] Das Vakuumsystem 12 besitzt eine Systemsteuerung 24, über die alle Bestandteile und Komponenten des Vakuumsystems 12 angesteuert werden können und die einen Austausch von Steuersignalen und von Daten ermöglicht.

[0121] Mit der Systemsteuerung 24 kann die erfindungsgemäße Vakuumpumpe 11 beispielsweise über eine Datenschnittstelle 29 verbunden sein, die am Elektronikgehäuse 23 der Vakuumpumpe 11 ausgebildet ist. Wie Fig. 6 zeigt, ist an diesem Elektronikgehäuse 23 außerdem ein Zubehörport 27 vorgesehen.

[0122] Die erfindungsgemäße Vakuumpumpe 11 ist zur Durchführung eines oder mehrerer Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Überwachungsverfahrens ausgebildet. Ebenso ist das erfindungsgemäße Vakuumsystem 12 zur Durchführung eines oder mehrerer Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Überwachungsverfahrens ausgebildet.

[0123] Erfindungsgemäß ist die Vakuumpumpe 11 mit einer Inertialmesseinheit 14 versehen, die fest an einem

Bestandteil der Pumpe 11 angebracht ist. Um zu veranschaulichen, dass es im Rahmen der Erfindung möglich ist, eine Inertialmesseinheit 14 an unterschiedlichen Stellen der Vakuumpumpe 11 anzuordnen, sind in Fig. 6 rein beispielhaft zwei unterschiedliche Anbringungsorte dargestellt.

[0124] Gemäß einer möglichen erfindungsgemäßen Ausgestaltung ist die Inertialmesseinheit 14 an dem vorstehend erwähnten, mehrere radiale Streben 105 umfassenden Stern am Pumpeneinlass angeordnet, und zwar zentrisch bezüglich der Rotationsachse 51. Alternativ kann auch eine exzentrische Anordnung der Inertialmesseinheit 14 am Stern der Vakuumpumpe 11 vorgesehen sein.

[0125] Gemäß einem anderen erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel ist die Inertialmesseinheit 14 an der erwähnten Platine 22 angebracht, die eine Vakuumdurchführung am Unterteil 21 der Pumpe 11 bildet.

[0126] Grundsätzlich ist es erfindungsgemäß möglich, mehr als eine Inertialmesseinheit 14 an der Vakuumpumpe 11 anzuordnen.

[0127] Wie die vergrößerte, schematische Darstellung oben links in Fig. 6 zeigt, umfasst die Inertialmesseinheit 14 mehrere - in diesem Beispiel sechs - Inertialsensoren 16. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind - wie bereits als Beispiel im Einleitungsteil erwähnt - drei Beschleunigungssensoren sowie drei Drehratensensoren vorgesehen, um auf diese Weise alle sechs möglichen Freiheitsgrade von Bewegungen der Vakuumpumpe 11 abzudecken.

[0128] Was mögliche Anwendungen der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe 11 sowie des erfindungsgemäßen Vakuumsystems 12 und insbesondere mögliche Überwachungsverfahren anbetrifft, die mit der vorstehend anhand von Fig. 6 beschriebenen erfindungsgemäßen Vakuumpumpe 11 bzw. des beschriebenen Vakuumsystems 12 durchgeführt werden können, wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den Einleitungsteil verwiesen.

[0129] Die Erfindung schafft somit eine einfache, zuverlässige und kostengünstige Möglichkeit für eine Zustandsüberwachung von Vakuumpumpen und Vakuumsystemen auf der Grundlage von Messdaten einer der Vakuumpumpe zugeordneten Inertialmesseinheit.

Bezugszeichenliste

[0130]

111, 11 Turbomolekularpumpe
113, 13 Einlassflansch
115 Pumpeneinlass
117 Pumpenauslass
119, 19 Gehäuse
121, 21 Unterteil
123, 23 Elektronikgehäuse
125, 25 Elektromotor
127, 27 Zubehöranschluss

129, 29
131
133
135
5 137
139
141
143
145
10 147
148
149, 49
151, 51
153, 53
15 155
157
159
161
163
20 165
167
169
171
173
25 175
179
181, 81
183, 83
185
30 187
189
191, 91
193, 93
195
35 197
199
201
203
205, 105
40 207
209
211
213
215
45 217
219
221
223
12
50 14
16
18
20
22
55 24

Datenschnittstelle
Stromversorgungsanschluss
Fluteinlass
Sperrgasanschluss
Motorraum
Kühlmittelanschluss
Unterseite
Schraube
Lagerdeckel
Befestigungsbohrung
Kühlmittelleitung
Rotor
Rotationsachse
Rotorwelle
Rotorscheibe
Statorscheibe
Abstandsring
Rotornabe
Holweck-Rotorhülse
Holweck-Rotorhülse
Holweck-Statorhülse
Holweck-Statorhülse
Holweck-Spalt
Holweck-Spalt
Holweck-Spalt
Verbindungskanal
Wälzlager
Permanentmagnetlager
Spritzmutter
Scheibe
Einsatz
rotorseitige Lagerhälfte
statorseitige Lagerhälfte
Ringmagnet
Ringmagnet
Lagerspalt
Trägerabschnitt
Trägerabschnitt
radiale Strebe
Deckelelement
Stützring
Befestigungsring
Tellerfeder
Not- bzw. Fanglager
Motorstator
Zwischenraum
Wandung
Labyrinthdichtung
Vakuumsystem
Inertialmesseinheit
Inertialsensor
Steuereinrichtung
Speichereinrichtung
Vakuumdurchführung, Platine
Systemsteuerung des Vakuumsystems

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (11), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe, oder Vakuumsystem (12) mit zumindest einer Vakuumpumpe (11), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe, mit einer der Vakuumpumpe (11) zugeordneten Inertialmesseinheit (14), die zumindest einen Inertialsensor (16), insbesondere einen Beschleunigungssensor oder Drehratensensor, umfasst, der dazu ausgebildet ist, Bewegungen der Vakuumpumpe (11) und/oder die Orientierung der Vakuumpumpe (11) zu erfassen und diesbezügliche Messdaten, insbesondere als Roh-Messdaten und/oder als aufbereitete Messdaten, und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen bereitzustellen.
 2. Vakuumpumpe (11) nach Anspruch 1, wobei der Vakuumpumpe (11) eine mit der Inertialmesseinheit (14) verbundene Steuereinrichtung (18) zugeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, die Messdaten der Inertialmesseinheit (14) auszuwerten, und/oder wobei der Vakuumpumpe (11) eine Ausgabeeinrichtung zugeordnet ist, insbesondere eine Schnittstelle (29) oder ein Zubehöranschluss (27), über welche die Messdaten der Inertialmesseinheit (14) und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen ausgegeben oder abgerufen werden können, und/oder wobei der Vakuumpumpe (11) eine Speichereinrichtung (20) zugeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, die Messdaten der Inertialmesseinheit (14) und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen zu speichern.
 3. Vakuumpumpe (11) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Inertialmesseinheit (14) eine räumliche Anordnung mehrerer Inertialsensoren (16) umfasst, wobei insbesondere die Inertialmesseinheit (14) zwei oder drei Beschleunigungssensoren, denen jeweils eine von drei paarweise senkrecht zueinander verlaufenden Translationsachsen der Vakuumpumpe (11) zugeordnet ist, und/oder zwei oder drei Drehratensensoren umfasst, denen jeweils eine von drei paarweise senkrecht zueinander verlaufenden Rotationsachsen der Vakuumpumpe (11) zugeordnet ist.
 4. Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Inertialmesseinheit (14) als MEMS (mikro-elektro-mechanisches System) ausgebildet ist oder ein Bestandteil eines MEMS ist oder als optisches System ausgebildet ist,
5. Verfahren zum Überwachen einer Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, oder zum Überwachen eines Vakuumsystems (12), das zumindest eine Vakuumpumpe (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst, wobei vor, während und/oder nach einem Betrieb der Vakuumpumpe (11) oder des Vakuumsystems (12) Bewegungen der Vakuumpumpe (11) und/oder deren Orientierung und/oder Bewegungen des Vakuumsystems (12) mittels der Inertialmesseinheit (14) der Vakuumpumpe (11) erfasst und diesbezügliche Messdaten, insbesondere als Roh-Messdaten des Inertialsensors (16) und/oder als aufbereitete Messdaten, und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen bereitgestellt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei anhand der Messdaten eine oder mehrere Zustandsinformationen der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) ermittelt werden, insbesondere wobei die oder jede Zustandsinformation über eine Ausgabeeinrichtung (27, 29) der Vakuumpumpe (11) ausgegeben und/oder in einer Speichereinrichtung (20) der Vakuumpumpe (11) gespeichert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) die Orientierung der Vakuumpumpe (11) im Raum und/oder relativ zu einer oder mehreren anderen Komponenten des Vakuumsystems (12) ermittelt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Steuereinrichtung (18) der Vakuumpumpe (11) dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von der ermittelten Orientierung der Vakuumpumpe (11) einen Betriebsstart der Vakuumpumpe (11) entweder zu gestatten oder zu unterbinden, und/oder wobei die ermittelte Orientierung der Vakuumpumpe (11) bei einer Auswertung eines Schwingungen der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) betreffenden Frequenzspektrums berücksichtigt wird, und/oder wobei die Orientierung der Vakuumpumpe (11)

und/oder wobei die Inertialmesseinheit (14) in eine Vakuumdurchführung (22) der Vakuumpumpe (11) integriert ist, wobei insbesondere die Inertialmesseinheit (14) auf einer die Vakuumdurchführung (22) bildenden Platine angeordnet ist.

lediglich bei besonderen, vorgegeben Ereignissen gespeichert wird, insbesondere bei einem Bestromen der Vakuumpumpe (11), bei einem Betriebsstart der Vakuumpumpe (11), bei einem Betriebsstart von vorgegebenen Komponenten - mit Ausnahme der Vakuumpumpe (11) - eines die Vakuumpumpe (11) umfassenden Vakuumsystems (12), und/oder bei einer Veränderung der Einbaulage der Vakuumpumpe (11).

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Vakuumpumpe (11) einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors (25) in Drehung versetzten Rotor (49) umfasst, und wobei als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) eine Unwucht des Rotors (49) und/oder ein Schwingungszustand der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) ermittelt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei während des Betriebs der Vakuumpumpe (11) die Rotorunwucht und/oder der Schwingungszustand wiederholt ermittelt werden und
- zumindest ein Maß für eine zeitliche Änderung, insbesondere eine Änderungsrate, der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes berechnet wird, insbesondere bezogen auf einen jeweiligen, bei konstanter Betriebsdrehzahl des Rotors (49) ermittelten Grundzustand der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes,
 - bei Überschreiten eines relativen oder absoluten Grenzwertes für die Rotorunwucht und/oder den Schwingungszustand oder für eine zeitliche Änderung der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes eine Reaktion ausgelöst, insbesondere ein Warnhinweis ausgegeben, wird, oder
 - bei Annäherung an einen relativen oder absoluten Grenzwert für die Rotorunwucht und/oder den Schwingungszustand oder für eine zeitliche Änderung der Rotorunwucht und/oder des Schwingungszustandes ein Schätzwert für den nächsten Wartungstermin der Vakuumpumpe (11) berechnet oder ein aktuell vorgesehenes Wartungsintervall angepasst wird,
 - ein Maß für eine Nutzungsreserve der Vakuumpumpe (11) berechnet wird, und/oder
 - ein Empfehlungswert für eine Zeit bis zur nächsten Wartung der Vakuumpumpe (11) berechnet und ausgegeben wird, insbesondere unter Berücksichtigung des bisherigen Nutzungsprofils der Vakuumpumpe (11).

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10,

wobei als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) ein Schwingungszustand der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) ermittelt wird, insbesondere wobei ein Schwingungen der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) betreffendes Frequenzspektrum ermittelt wird, insbesondere wobei die Vakuumpumpe (11) einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors (25) in Drehung versetzten Rotor (49) umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

wobei der Schwingungszustand während eines Hochlaufens der Vakuumpumpe (11), also bei zunehmender Drehzahl eines Rotors (49) der Vakuumpumpe (11), insbesondere außerdem nach dem Hochlaufen bei mit der Betriebsdrehzahl laufendem Rotor, und/oder während eines Herunterlaufens oder Auslaufs der Vakuumpumpe (11), also bei abnehmender Drehzahl eines Rotors (49) der Vakuumpumpe (11), ermittelt, und insbesondere abgespeichert, wird, insbesondere wobei hierbei Resonanzzustände der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) ermittelt werden, insbesondere wobei diese Resonanzzustände betreffende Informationen für eine Ausgabe an oder für den Abruf durch eine externe Einrichtung, insbesondere eine Systemsteuerung (24) des Vakuumsystems (12), bereitgestellt werden und/oder wobei von der Vakuumpumpe (11) und/oder von dem Vakuumsystem (12) ein Warnhinweis ausgegeben oder automatisch eine Anpassung der Drehzahl des Rotors (49) vorgenommen wird, um einen Betrieb der Vakuumpumpe (11) in einem Resonanzzustand zu vermeiden, und/oder wobei die Drehzahl des Rotors (49) automatisch verändert wird, wenn anhand des ermittelten Schwingungszustandes von einer Steuereinrichtung (18) der Vakuumpumpe (11) oder von einer Systemsteuerung (24) des Vakuumsystems (12) eine oder mehrere weitere Vakuumpumpen erkannt werden, die mit der zumindest näherungsweise gleichen Betriebsdrehzahl betrieben werden wie die Vakuumpumpe (11), um Schwebungszustände zu verhindern, und/oder wobei anhand des ermittelten Schwingungszustandes ein oder mehrere vorgegebene Parameter der Vakuumpumpe (11) und/oder die Signale eines oder mehrerer Sensoren der Vakuumpumpe (11), insbesondere hinsichtlich ihres zeitlichen Verhalten, überwacht werden, insbesondere bezogen auf einen in einer, insbesondere automatischen, Anlernphase ermittelten Sollzustand der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12), wobei im

Anschluss an die Anlernphase von einer Steuereinrichtung (18) der Vakuumpumpe (11) überprüft wird, ob der oder die überwachten Parameter und/oder das oder die überwachten Signale dem Sollzustand entsprechen oder nicht, und bei einer bei dieser Überprüfung erkannten Abweichung von dem Sollzustand diese Veränderung des betreffenden Parameters oder Signals einer Auswertung und/oder Bewertung insbesondere hinsichtlich vorgegebener Kriterien, unterzogen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12,

wobei als eine Zustandsinformation der Vakuumpumpe (11) und/oder des Vakuumsystems (12) ein oder mehrere besondere Ereignisse ermittelt werden, insbesondere wobei das oder die Ereignisse über eine Ausgabereinrichtung (27, 29) der Vakuumpumpe (11) ausgegeben und/oder in einer Speichereinrichtung (20) der Vakuumpumpe (11) gespeichert werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13,

wobei die Vakuumpumpe (11) einen während des Betriebs mittels eines Antriebsmotors (25) in Drehung versetzten Rotor (49) umfasst und als ein besonderes Ereignis während des Betriebs der Vakuumpumpe (11) eine axiale Verlagerung des Rotors (49) zwischen einer ersten axialen Position, insbesondere einer Vorvakuum-Position, und einer zweiten axialen Position, insbesondere einer Hochvakuum-Position, detektiert wird, und/oder wobei als ein besonderes Ereignis eine Bewegung der Vakuumpumpe (11) als Ganzes detektiert wird, insbesondere wobei diese Bewegung hinsichtlich Richtung und Betrag von Translationen und/oder Rotationen der Vakuumpumpe analysiert wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 14,

wobei die Messdaten und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen ausschließlich bei Vorliegen einer Autorisierung ausgegeben oder abgerufen werden können, insbesondere über eine Schnittstelle (29) oder einen Zubehöranschluss (27) der Vakuumpumpe (11), und/oder wobei die Messdaten und/oder durch Auswerten dieser Messdaten erhaltene Informationen an eine Systemsteuerung (24) eines die Vakuumpumpe (11) umfassenden Vakuumsystems (12) ausgegeben und/oder von dieser Systemsteuerung (24) abgerufen werden, insbesondere über eine Schnittstelle (29) oder einen Zubehöranschluss (27) der Vakuumpumpe (11).

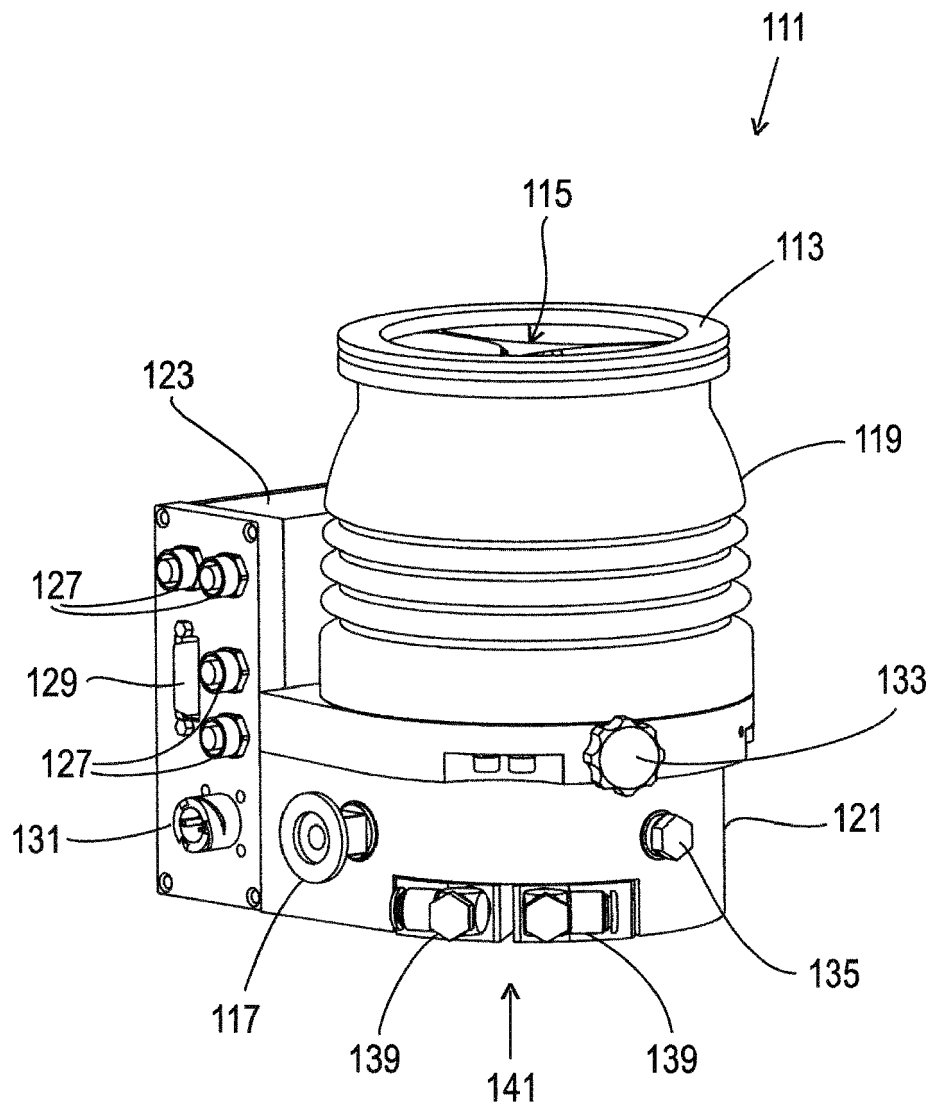


Fig. 1

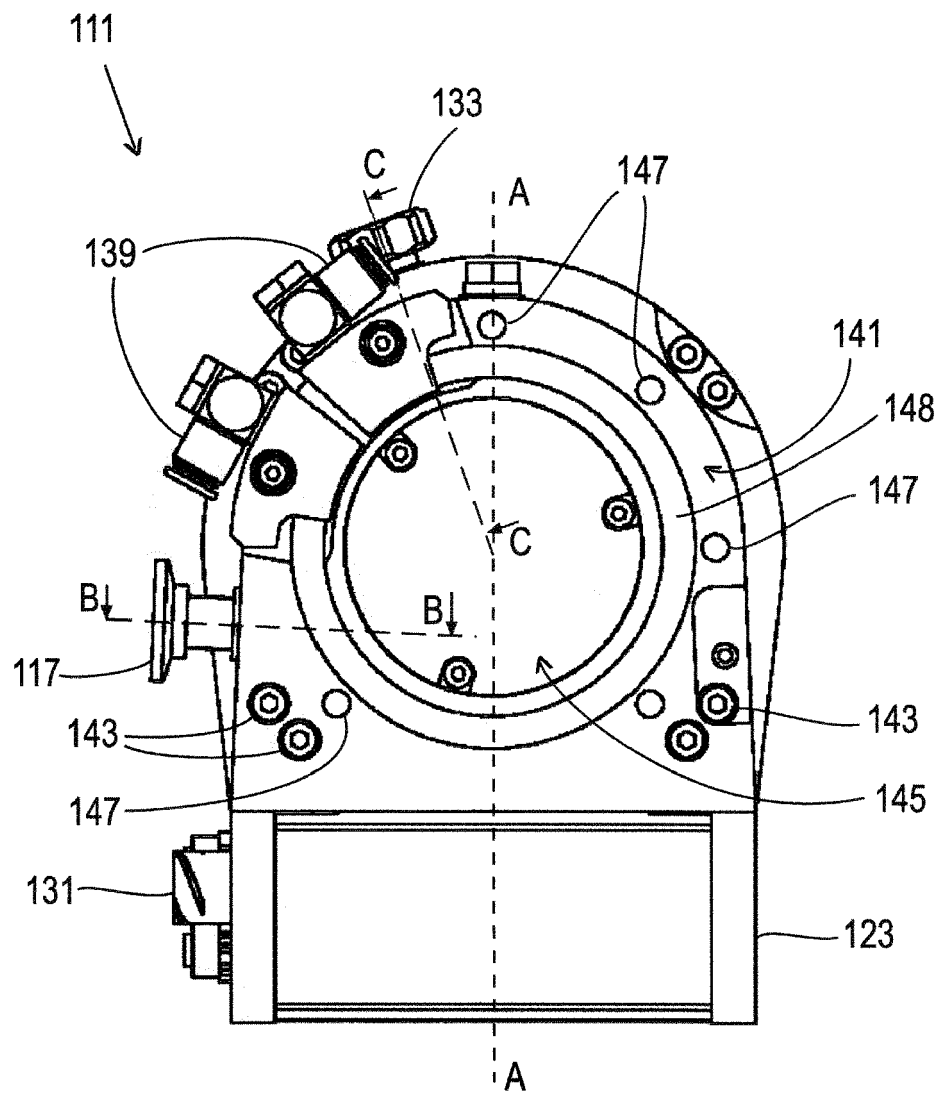


Fig. 2

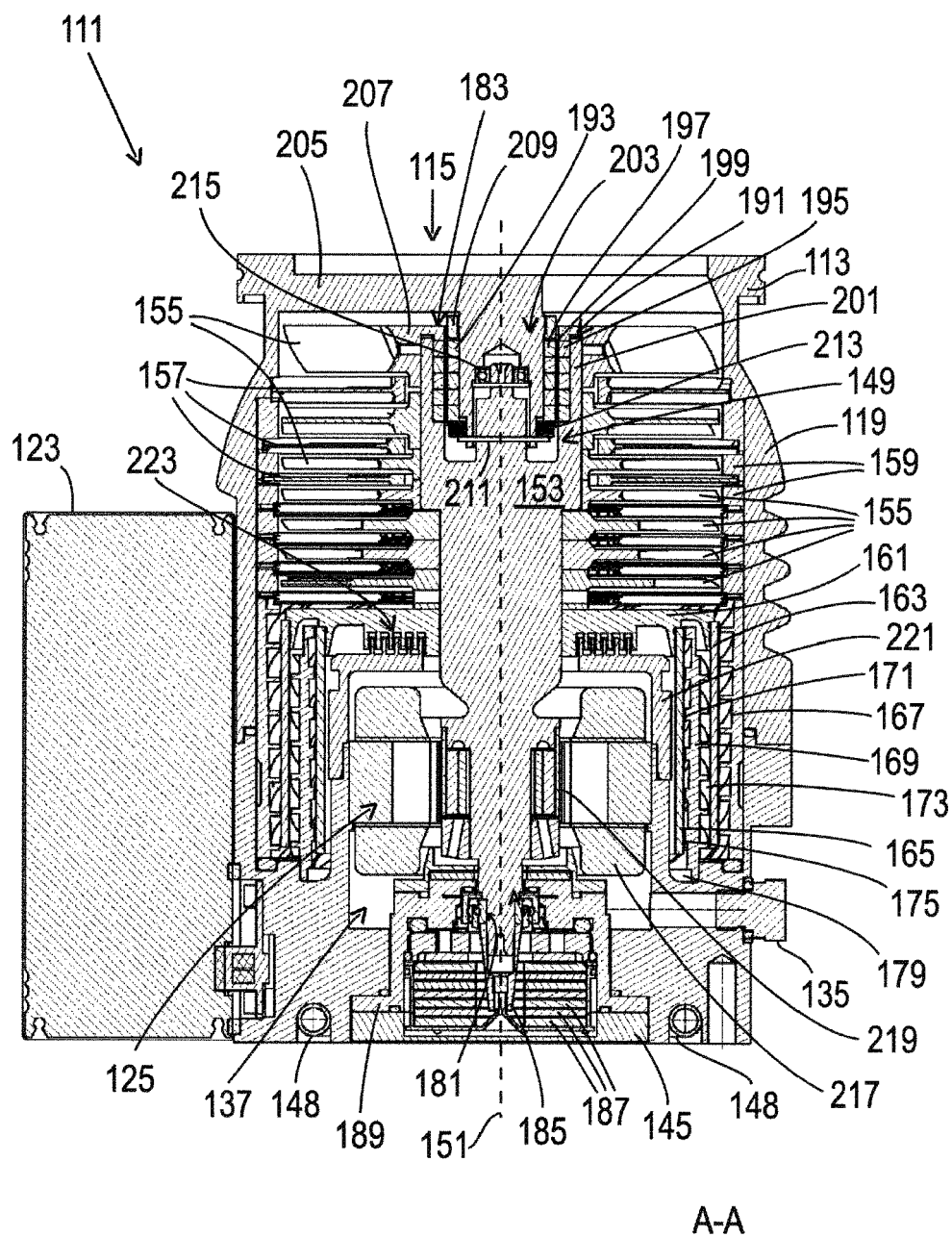


Fig. 3

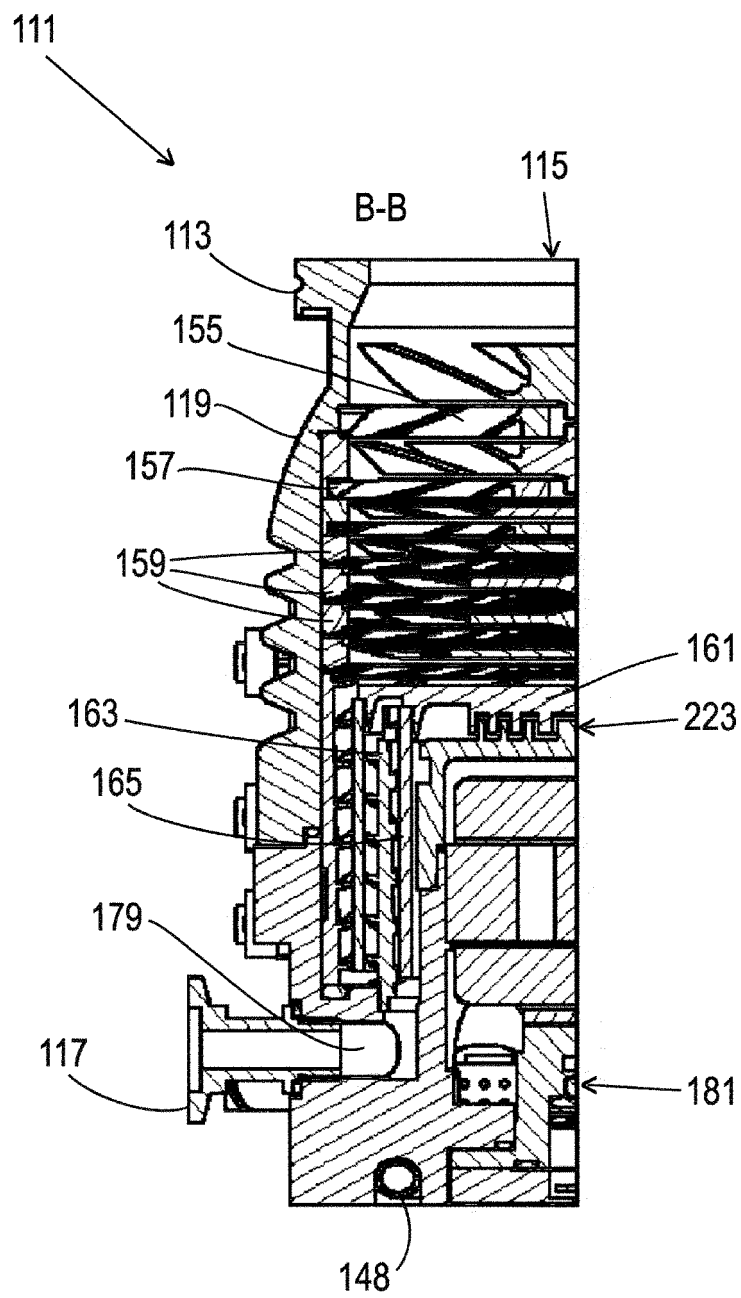


Fig. 4

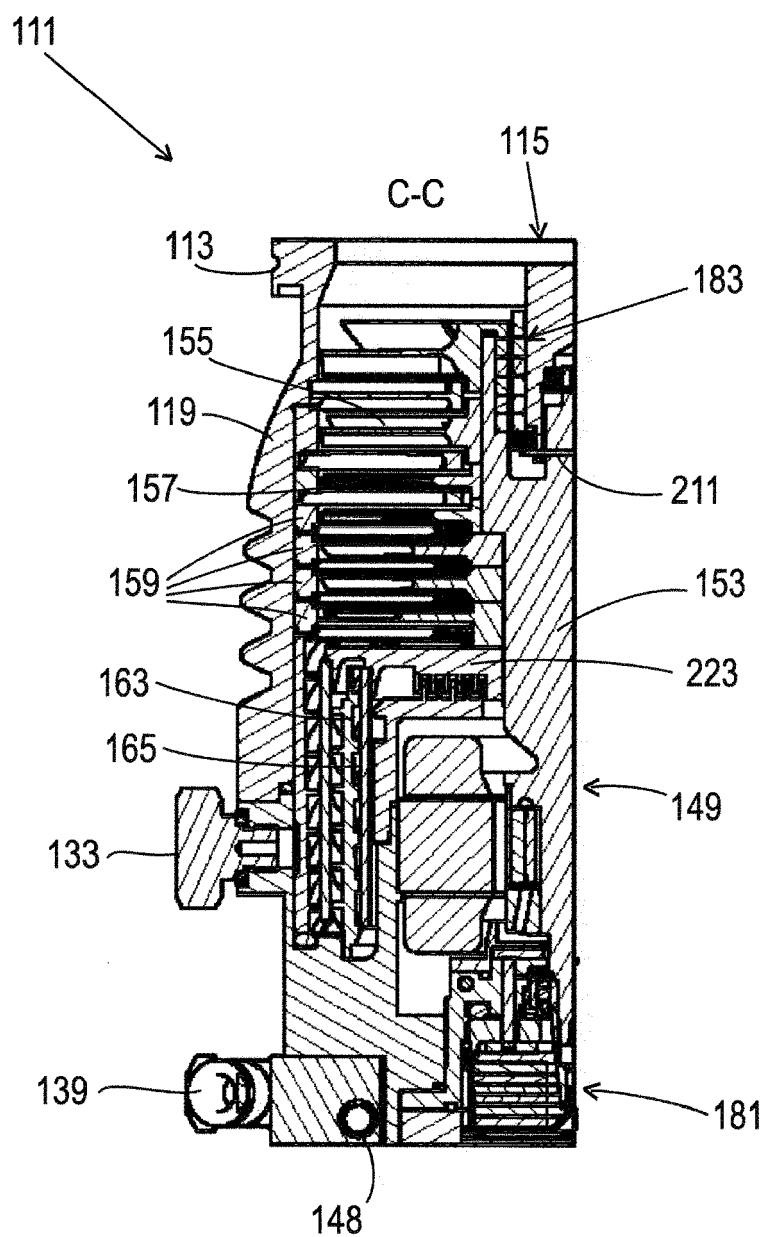
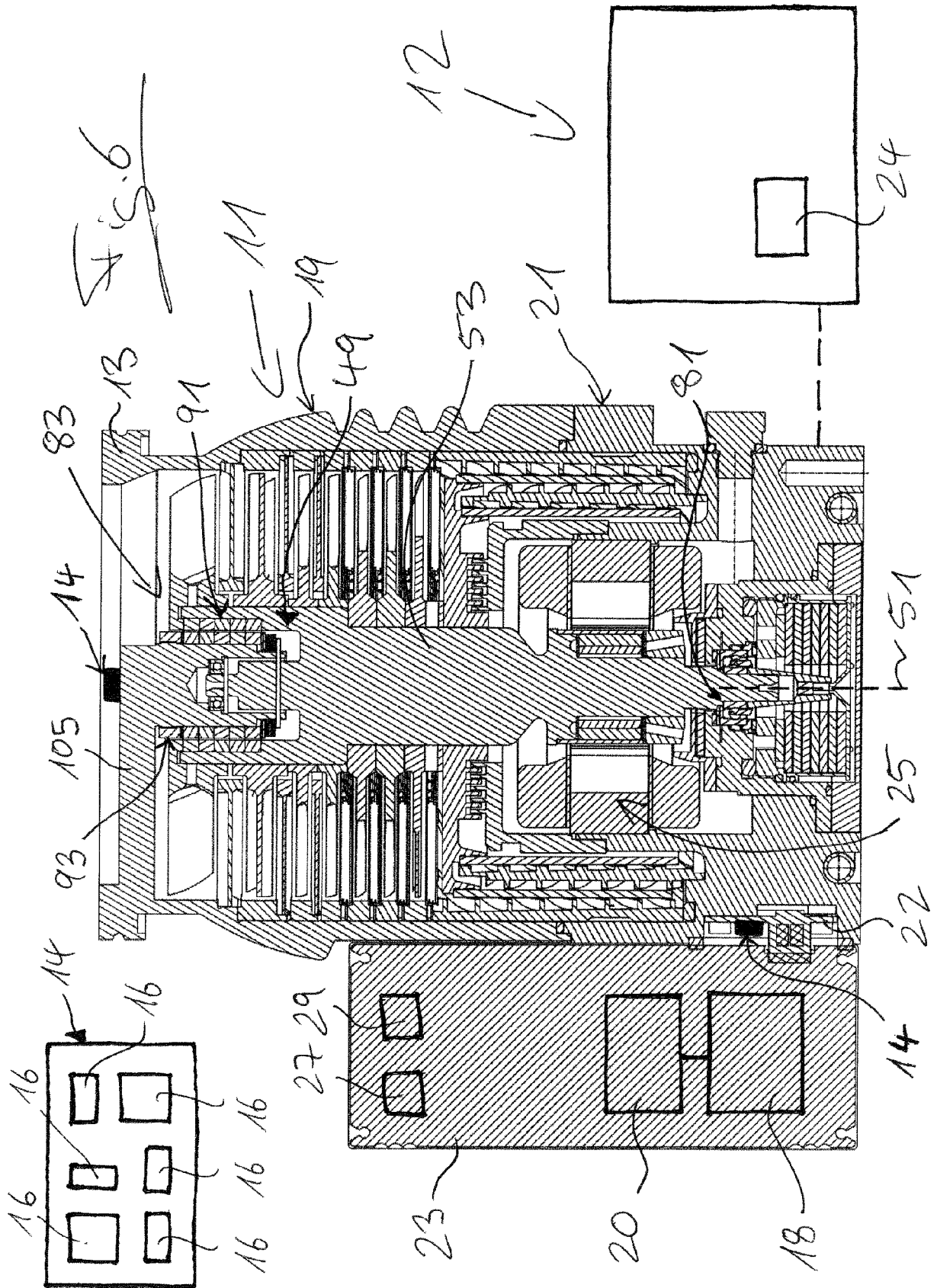


Fig. 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 17 0014

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 20 2015 003927 U1 (OERLIKON LEYBOLD VACUUM GMBH [DE]) 13. Juli 2015 (2015-07-13) * Zusammenfassung * * Absatz [0009] - Absatz [0032] * * Abbildung 1 *	1-15 3,4	INV. F04D27/00 F04D19/04
Y	-----		
X	WO 2017/216514 A1 (EDWARDS LTD [GB]) 21. Dezember 2017 (2017-12-21) * Zusammenfassung * * Seite 1, Zeile 20 - Seite 17, Zeile 29 * * Abbildungen *	1-15	
Y	-----		
X	US 2019/383296 A1 (HASHIMOTO TOSHIFUMI [JP] ET AL) 19. Dezember 2019 (2019-12-19) * Zusammenfassung * * Absatz [0004] - Absatz [0055] * * Abbildungen *	1,2,5-15 3,4	
Y	-----		
X	JP 2007 270829 A (SHIMADZU CORP) 18. Oktober 2007 (2007-10-18) * Zusammenfassung * * Absatz [0001] - Absatz [0082] * * Abbildungen *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D
Y	-----		
E	EP 3 686 432 A1 (PFEIFFER VACUUM TECH AG [DE]) 29. Juli 2020 (2020-07-29) * Zusammenfassung * * Absatz [0001] - Absatz [0040] * * Abbildungen *	1-6,9-15	
Y	-----		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. Oktober 2020	Prüfer Kolby, Lars
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 17 0014

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-10-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 202015003927 U1	13-07-2015	KEINE	
15	WO 2017216514 A1	21-12-2017	CN 109563840 A	02-04-2019
			EP 3469216 A1	17-04-2019
			GB 2551337 A	20-12-2017
			JP 2019518168 A	27-06-2019
			TW 201812179 A	01-04-2018
20			US 2019162748 A1	30-05-2019
			WO 2017216514 A1	21-12-2017
	US 2019383296 A1	19-12-2019	CN 110608177 A	24-12-2019
			JP 2019214993 A	19-12-2019
			US 2019383296 A1	19-12-2019
25	JP 2007270829 A	18-10-2007	JP 4962851 B2	27-06-2012
			JP 2007270829 A	18-10-2007
	EP 3686432 A1	29-07-2020	KEINE	

EPO FORM P0461

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