

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung zur Lagerung eines Rotors gegenüber einem Stator, insbesondere zur Lagerung des Rotors einer Vakuumpumpe, mit einem radial stabilisierenden Permanentmagnetlager im Bereich eines der beiden Rotorenden und einem weiteren Lager im Bereich des gegenüberliegenden Rotorendes. Die Erfindung betrifft ferner eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einer solchen Rotorlagerung.

[0002] Magnetgelagerte Rotoren finden unter anderem in Vakuumpumpen Verwendung. Vakuumpumpen wie z.B. Turbomolekularpumpen werden in unterschiedlichen Bereichen der Technik eingesetzt, um ein für einen jeweiligen Prozess notwendiges Vakuum zu schaffen. Turbomolekularpumpen umfassen einen Stator mit mehreren in Richtung einer Rotorachse aufeinanderfolgenden Statorscheiben und einen relativ zu dem Stator um die Rotorachse drehbar gelagerten Rotor, der eine Rotorwelle und mehrere auf der Rotorwelle angeordnete, in axialer Richtung aufeinanderfolgende und zwischen den Statorscheiben angeordnete Rotorscheiben umfasst, wobei die Statorscheiben und die Rotorscheiben jeweils eine pumpaktive Struktur aufweisen.

[0003] Die derzeit bei Turbomolekularpumpen am häufigsten eingesetzte mechanisch/magnetische oder Hybrid-Rotorlagerung umfasst ein permanentmagnetisch wirkendes Radiallager an einem Rotorende sowie ein mit Schmiermittel versehenes Wälzlager auf der Gegenseite. Um bei einer solchen Hybrid-Rotorlagerung eine Zerstörung des permanentmagnetisch wirkenden Radiallagers sowie eine daraus resultierende Zerstörung des Gesamtrors zu vermeiden, bildet ein Fanglager in Form eines trockenen, mechanischen Wälzlagers eine Art Anschlag, der verhindern soll, dass sich im Fall eines stärkeren Auslenkens des Rotors im Bereich des permanentmagnetisch wirkenden Radiallagers Rotor und Stator berühren.

[0004] Es wurden auch bereits ein- oder mehrachsige aktive magnetgelagerte Rotoren vorgeschlagen. Dabei handelt es sich um ein- bzw. mehrachsige positionsgeregelte Rotoren. Die derzeit am häufigsten eingesetzten Rotoren sind in allen fünf Achsen aktiv geregelt, was insbesondere bezüglich der Sensorik, der Aktuatoren, der Elektronik und des Regelalgorithmus mit einem relativ hohen Aufwand verbunden ist. Im Bereich der Turbomolekularpumpen kamen in den 1980er und 1990er Jahren auch einige einachsige aktive Lagerungen zum Einsatz, die zur axialen Stabilisierung eine notwendigerweise schwere Eisenscheibe auf dem Rotor, im Stator befindliche Elektromagnete sowie berührungslose Rotorpositionssensoren umfassten. Aufgrund der relativ aufwendigen Konstruktion und der entsprechend hohen Herstellungskosten wurden einachsige aktive Lagerungen dieser Art dann von 5-achsigen aktiven Systemen abgelöst. Dies brachte zwar eine gewisse Kostenreduzierung mit sich. Insbesondere im Hinblick auf die Zuverlässigkeit, Stabi-

lität und Präzision besteht jedoch auch zwischen solchen 5-achsigen aktiven Systemen und der zuvor genannten mechanisch/magnetischen oder Hybrid-Rotorlagerung noch ein erheblicher Unterschied.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Rotorlagerung sowie eine Vakuumpumpe der eingangs genannten Art anzugeben, mit denen die zuvor angeführten Probleme beseitigt sind. Dabei soll die Rotorlagerung bei einfacherem Aufbau und entsprechend günstigeren Herstellungs- und Betriebskosten sowie unter Vermeidung der sich im Zusammenhang mit den bisherigen einachsigen aktiven Lagerungen ergebenden Nachteile zumindest im Wesentlichen dieselbe Zuverlässigkeit, Stabilität und Präzision wie die mechanisch/magnetische bzw. Hybrid-Rotorlagerung besitzen.

[0006] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Rotorlagerung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Rotorlagerung sowie der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe ergeben sich aus den Unteransprüchen, der vorliegenden Beschreibung sowie der Zeichnung.

[0007] Die erfindungsgemäße Anordnung zur Lagerung des Rotors gegenüber einem Stator, insbesondere zur Lagerung des Rotors einer Vakuumpumpe, umfasst ein radial stabilisierendes Permanentmagnetlager im Bereich eines der beiden Rotorenden und ein weiteres Lager im Bereich des gegenüberliegenden Rotorendes. Dabei ist das weitere Lager als axial aktives radial stabilisierendes Permanentmagnetlager ausgeführt, das zur axialen Stabilisierung ein statorseitiges Lagerteil umfasst, das einem bezüglich eines feststehenden Gehäuses des Stators axial beweglich gelagerten Zwischenteil zugeordnet und zusammen mit diesem relativ zum Statorgehäuse axial beweglich ist. Das Zwischenteil ist über eine Aktuatoreinheit beaufschlagbar, um einer jeweiligen axialen Abweichung des Rotors gegenüber einer Solllage entgegenzuwirken.

[0008] Aufgrund der erfindungsgemäßen Ausbildung ergibt sich eine Rotorlagerung, die bei einfacherem Aufbau und entsprechend günstigeren Herstellungs- und Betriebskosten insbesondere zumindest im Wesentlichen dieselbe Zuverlässigkeit, Stabilität und Präzision wie eine herkömmliche mechanisch/magnetische oder Hybrid-Rotorlagerung besitzt, und zwar ohne die sich im Zusammenhang mit den bisherigen einachsigen aktiven Lagerungen ergebenden Nachteile.

[0009] Mit dem Ersatz des Wälzlagers der bisherigen mechanisch/magnetischen bzw. Hybrid-Rotorlagerung durch ein axial aktives radial stabilisierendes Permanentmagnetlager ist der Rotor nunmehr vollständig radial stabilisiert. Indem zur axialen Stabilisierung ein statorseitiges Lagerteil vorgesehen ist, das einem bezüglich eines feststehenden Gehäuses des Stators axial beweglich gelagerten Zwischenteil zugeordnet und zusammen mit diesem mit dem Statorgehäuse axial beweglich ist, entfällt die bisher bei einachsigen aktiven Lagerungen erforder-

derliche schwere Eisenscheibe auf dem Rotor.

[0010] Zudem kann eine jeweilige Auslenkung des Zwischenteils nunmehr auch durch einen im Vergleich zu einem berührungslosen Sensor einfacheren berührenden Sensor erfasst werden. Schließlich muss über die Aktuatereinheit lediglich noch das relativ leichte Zwischenteil bewegt werden, um einer jeweiligen axialen Abweichung des Rotors gegenüber der Sollage entgegenzuwirken. Es ergibt sich somit ein magnetgelagerter Rotor mit einer einfachen, einachsigen aktiven Lagerung ohne die mit den bisherigen einachsigen aktiven Lagerungen einhergehenden Probleme.

[0011] Bevorzugt umfasst die erfindungsgemäße Anordnung eine Sensoreinheit zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils gegenüber dem Statorgehäuse und eine mit der Sensoreinheit und der Aktuatereinheit in Verbindung stehende Steuereinrichtung, über die die Aktuatereinheit in Abhängigkeit von der gemessenen axialen Auslenkung des Zwischenteils ansteuerbar ist.

[0012] Bei einer axialen Abweichung des Rotors von der Sollage ergibt sich eine Axialkraft, die sich magnetisch auf die statorseitigen Lagerteile der Permanentmagnetlager überträgt. Die betreffende Axialkraft stützt sich im Fall des radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers im Bereich des einen Rotorendes am Statorgehäuse und im Fall des axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers im Bereich des gegenüberliegenden Rotorendes an dem relativ zum Statorgehäuse axial beweglichen Zwischenteil ab. Damit kann eine Auslenkung des Zwischenteils durch die Sensoreinheit erfasst werden, wodurch eine jeweilige axiale Abweichung des Rotors gegenüber der Sollage feststellbar ist.

[0013] Bevorzugt ist die Aktuatereinheit über die Steuereinheit so ansteuerbar, dass die axiale Auslenkung des Zwischenteils gegenüber dem Statorgehäuse im zeitlichen Mittel Null ist. Damit ergibt sich im zeitlichen Mittel ein stabiler axialer Arbeitspunkt.

[0014] Gemäß einer bevorzugten praktischen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist das Zwischenteil federnd und/oder gedämpft in das Statorgehäuse eingelegt.

[0015] Durch den federnden und/oder gedämpften Einbau des Zwischenteils in das Statorgehäuse wird das System dynamisch stabilisiert. Dabei kann das Zwischenteil beispielsweise über O-Ringe und/oder dergleichen federnd sowie gedämpft in das Statorgehäuse eingelegt sein.

[0016] Die Steuereinrichtung kann insbesondere eine Regelelektronik umfassen, die die Aktuatereinheit bei einer erfassten Auslenkung des Zwischenteils stärker beaufschlagt, um das Zwischenteil in Rotorbewegungsrichtung zu beschleunigen, so dass der Rotor sozusagen "überholt" und der labile Punkt überschritten wird, um dann eine Gegenkraft aufbauen zu können, die den Rotor abbremst und in Gegenrichtung beschleunigt. Es ergibt sich somit im Mittel ein stabiler axialer Arbeitspunkt, bei dem die Auslenkung des Zwischenteils gegenüber dem

Statorgehäuse im zeitlichen Mittel Null ist. Die Arbeitspunkte in verschiedenen Betriebssituationen (Rotorgewicht) und bei verschiedenen Betriebstemperaturen (thermische Rotorlängung) können sich geringfügig unterscheiden, was jedoch bei passend gewählten Steifigkeiten der beteiligten Federelemente unproblematisch ist.

[0017] Die Aktuatereinheit kann insbesondere wenigstens einen Linearaktor umfassen.

[0018] Gemäß einer bevorzugten praktischen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung umfasst die Aktuatereinheit wenigstens einen Elektromagneten und/oder wenigstens einen hydraulischen Aktuator.

[0019] Von Vorteil ist insbesondere auch, wenn die Sensoreinheit zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils gegenüber dem Statorgehäuse einen berührenden Sensor umfasst.

[0020] Der Einsatz eines solchen berührenden Sensors ist zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils problemlos möglich und mit weniger Aufwand verbunden als der Einsatz eines berührungslosen Sensors. Der Aufbau der Rotorlagerung wird damit weiter vereinfacht. Dabei kann die Sensoreinheit zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils gegenüber dem Statorgehäuse beispielsweise einen Dehnungsmessstreifen oder dergleichen umfassen.

[0021] Von Vorteil ist zudem, wenn im Bereich der beiden Rotorenden jeweils zusätzlich ein zumindest radial wirkendes Fanglager vorgesehen ist.

[0022] Dabei ist das Fanglager im mit dem axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlager versehenen Bereich des gegenüberliegenden Rotorendes bevorzugt als axial und radial wirkendes Fanglager ausgeführt.

[0023] Gegenüber den bisher üblichen mechanischen/magnetischen oder Hybrid-Rotorlagerungen weist die erfindungsgemäße Rotorlagerung vor allem die Vorteile einer rein berührungslosen Lagerung auf, mit der die mit herkömmlichen Wälz- und Gleitlagern einhergehenden Beschränkungen entfallen, die unter anderem darauf zurückzuführen sind, dass diese Wälz- und Gleitlager mit festen, flüssigen oder gasförmigen Schmierstoffen an den Kontaktflächen zwischen feststehendem und beweglichem Lagerteil arbeiten. Im Gegensatz dazu arbeiten Feldkraftlager, in denen die Lagerkräfte von magnetischen Feldern erzeugt werden, berührungslos und ohne Kontaktmedium. Entsprechende Feldkraftlager können mit besonderem Vorteil dort eingesetzt werden, wo andere Lager aufgrund von Schmierstoffproblemen an ihre Grenzen stoßen. So kann bei hohen Umgebungstemperaturen sowie durch Reibungswärme am Lager spalt der Schmierstoff in schnell drehenden Systemen überhitzt werden und dadurch seine Funktion verlieren. Bei tiefen Temperaturen können flüssige Schmierstoffe zäh und dadurch unbrauchbar werden. Die Verwendung von Schmierstoffen kann auch aufgrund einer physikalisch-chemischen Unverträglichkeit bei bestimmten An-

wendungen unerwünscht sein, wie dies insbesondere in der Vakuumtechnik und unter anderem beispielsweise auch in der Reinraum-, Chemie-, Nahrungsmittel- und Medizintechnik der Fall ist. Bei der erfindungsgemäßen Rotorlagerung entfallen die genannten Beschränkungen. Sie arbeitet verschleiß- und wartungsfrei und ist frei von reibungsbedingten Energieverlusten.

[0024] Mit der erfindungsgemäßen Rotorlagerung ergeben sich darüber hinaus auch Vorteile gegenüber bekannten mehrachsigen aktiven und den bisherigen einachsigen aktiven Magnetlagerungen. So ergibt sich insbesondere gegenüber den bisherigen 3-achsigen aktiven Magnetlagerungen ein wesentlich geringerer Aufwand an Aktorik, Sensorik und Elektronik. Nachdem keine Eisenteile auf dem Rotor mehr benötigt werden, ergibt sich ein reduziertes Rotorgewicht. Mit der damit einhergehenden im Mittel geringeren Unwucht ergeben sich auch eine reduzierte Anlaufgefahr bzw. eine reduzierte Gefahr von Fanglagerkontakten sowie eine Verringerung der Geräusche. Die Aktorik und Sensorik kann insgesamt relativ kompakt gehalten und im Stator untergebracht werden, da die Kraftübertragung auf den Rotor magnetisch über das axial aktive radial stabilisierende Permanentmagnetlager erfolgen und die Rotorlage indirekt über Auslenkungen des Zwischenteils von dessen Mittellage erfasst werden kann.

[0025] Die erfindungsgemäße Rotorlagerung ist insbesondere bei Rotationsmaschinen mit geringen Axial- und Radiallasten im Standardbetriebsfall und bei Vakuumpumpen, wie insbesondere Turbomolekularpumpen, einsetzbar.

[0026] Die erfindungsgemäße Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, zeichnet sich dadurch aus, dass deren Rotor durch eine erfindungsgemäße Lagerung gegenüber deren Stator gelagert ist.

[0027] Dabei umfasst die Vakuumpumpe bevorzugt einen Permanentmagnetmotor als Drehantrieb für den Rotor.

[0028] Gemäß einer bevorzugten praktischen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe ist der Permanentmagnetmotor axial zwischen einem axial und radial wirkenden Fanglager und dem axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlager angeordnet.

[0029] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert; in dieser zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer herkömmlichen Vakuumpumpe mit einer herkömmlichen mechanischen/magnetischen oder Hybrid-Rotorlagerung,

Fig. 2 eine Prinzipskizze einer beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Rotorlagerung, und

Fig. 3 eine detailliertere schematische Teildarstellung

der erfindungsgemäßen Rotorlagerung gemäß Fig. 2, die hier beispielsweise in einer Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, integriert ist.

[0030] Die in Fig. 1 gezeigte herkömmliche Vakuumpumpe 10 umfasst einen von einem Einlassflansch 12 umgebenen Pumpeneinlass 14 sowie mehrere Pumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 14 anstehenden Gases zu einem in Fig. 1 nicht dargestellten Pumpenauslass. Die Vakuumpumpe 10 umfasst einen Stator mit einem statischen Gehäuse 16 und einem in dem Gehäuse 16 angeordneten Rotor mit einer um eine Rotationsachse 18 drehbar gelagerten Rotorwelle 20.

[0031] Die Vakuumpumpe 10 ist als Turbomolekularpumpe ausgebildet und umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren mit der Rotorwelle 20 verbundenen turbomolekularen Rotorscheiben 22 und mehreren in axialer Richtung zwischen den Rotorscheiben 22 angeordneten und in dem Gehäuse 16 festgelegten turbomolekularen Statorscheiben 24, die durch Distanzringe 26 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander gehalten sind. Die Rotorscheiben 22 und Statorscheiben 24 stellen in einem Schöpfbereich 28 eine in Richtung des Pfeils 30 gerichtete axiale Pumpwirkung bereit.

[0032] Die Vakuumpumpe 10 umfasst zudem drei in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Der rotorseitige Teil der Holweck-Pumpstufen umfasst eine mit der Rotorwelle 20 verbundene Rotornabe 32 und zwei an der Rotornabe 32 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 34, 36, die koaxial zu der Rotorachse 18 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 38, 40 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 18 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Die pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Pumpstufen sind jeweils durch die einander unter Ausbildung eines engen radialen Holweck-Spalts gegenüberliegenden radialen Mantelflächen jeweils einer Holweck-Rotorhülse 34, 36 und einer Holweck-Statorhülse 38, 40 gebildet. Dabei ist jeweils eine der pumpaktiven Oberflächen glatt ausgebildet, im vorliegenden Fall die der Holweck-Rotorhülse 34 bzw. 36, und die gegenüberliegende pumpaktive Oberfläche der Holweck-Statorhülse 38, 40 weist eine Strukturierung mit schraubenlinienförmig um die Rotationsachse 18 herum in axialer Richtung verlaufenden Nuten auf, in denen durch die Rotation des Rotors das Gas vorangetrieben und dadurch gepumpt wird.

[0033] Die drehbare Lagerung der Rotorwelle 20 wird durch ein Wälzlager 42 im Bereich des Pumpenauslasses und ein Permanentmagnetlager 44 im Bereich des Pumpeneinlasses 14 bewirkt.

[0034] Das Permanentmagnetlager 44 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 46 und eine statorseitige Lager-

hälfte 48, die jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinandergestapelten permanentmagnetischen Ringen 50, 52 umfassen, wobei die Magnetringe 50, 52 unter Ausbildung eines radialen Lager­spalts 54 einander gegenüberliegen.

[0035] Innerhalb des Permanentmagnetlagers 44 ist ein Not- oder Fanglager 56 vorgesehen, das als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet ist und im normalen Betrieb der Vakuumpumpe ohne Berührung leerläuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors gegenüber den Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor zu bilden, der eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert.

[0036] Im Bereich des Wälzlagers 42 ist an der Rotorwelle 20 eine konische Spritzmutter 58 mit einem zu dem Wälzlager 42 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen, die mit einem Abstreifer eines mehrere mit einem Betriebsmittel, wie z.B. einem Schmiermittel, getränkte saugfähige Scheiben 60 umfassenden Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt steht. Im Betrieb wird das Betriebsmittel durch kapillare Wirkung von dem Betriebsmittelspeicher über den Abstreifer auf die rotierende Spritzmutter 58 übertragen und infolge der Zentrifugalkraft entlang der Spritzmutter 58 in Richtung des größer werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 58 zu dem Wälzlager 42 hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt.

[0037] Die Vakuumpumpe umfasst einen Antriebsmotor 62 zum drehenden Antreiben des Rotors, dessen Läufer durch die Rotorwelle 20 gebildet ist. Eine Steuereinheit 64 steuert den Antriebsmotor 62 an.

[0038] Die turbomolekularen Pumpstufen stellen in dem Schöpfbereich 28 eine Pumpwirkung in Richtung des Pfeils 30 bereit.

[0039] Fig. 2 zeigt eine Prinzipskizze einer beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Rotorlagerung. Fig. 3 zeigt eine schematische Teildarstellung der erfindungsgemäßen Rotorlagerung gemäß Fig. 2, wobei insbesondere das axial aktive radial stabilisierende Permanentmagnetlager detaillierter dargestellt ist. Dabei ist die in Fig. 3 dargestellte Rotorlagerung beispielsweise in eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, integriert.

[0040] Die in den Fig. 2 und 3 dargestellte Anordnung 66 zur Lagerung eines Rotors 68 gegenüber einem Stator 70 ist beispielsweise zur Lagerung des Rotors 68 einer Vakuumpumpe 72, insbesondere einer Turbomolekularpumpe (vgl. insbesondere Fig. 3), einsetzbar.

[0041] Die durch die Anordnung 66 gebildete Rotorlagerung umfasst ein radial stabilisierendes Permanentmagnetlager 74 (vgl. Fig. 2) im Bereich eines der beiden Rotorenden und ein weiteres Lager im Bereich des gegenüberliegenden Rotorendes, das als axial aktives radial stabilisierendes Permanentmagnetlager 76 ausgeführt ist.

[0042] Zur axialen Stabilisierung umfasst das axial aktive radial stabilisierende Permanentmagnetlager 76 ein

statorseitiges Lagerteil 78 (vgl. Fig. 3), das einem bezüglich eines feststehenden Gehäuses 80 des Stators 70 axial beweglich gelagerten Zwischenteil 82 zugeordnet und zusammen mit diesem relativ zum Statorgehäuse 80 axial beweglich ist.

[0043] Das Zwischenteil 82 ist über eine Aktuatoreinheit 84 (vgl. Fig. 3) beaufschlagbar, um einer jeweiligen axialen Abweichung des Rotors 68 gegenüber einer Soll-lage entgegenzuwirken.

[0044] Zudem umfasst die Anordnung bzw. Rotorlagerung 66 eine Sensoreinheit 86 (vgl. Fig. 3) zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils 82 gegenüber dem Statorgehäuse 80. Des Weiteren ist eine mit der Sensoreinheit 86 und der Aktuatoreinheit 84 in Verbindung stehende Steuereinrichtung 88 vorgesehen, über die die Aktuatoreinheit 84 in Abhängigkeit von der gemessenen axialen Auslenkung des Zwischenteils 82 steuerbar ist.

[0045] Dabei ist die Aktuatoreinheit 84 über die Steuereinrichtung 88 insbesondere so ansteuerbar, dass die axiale Auslenkung des Zwischenteils 82 gegenüber dem Statorgehäuse 80 im zeitlichen Mittel Null ist.

[0046] Das Zwischenteil 82 ist federnd sowie gedämpft in das Statorgehäuse 80 eingelegt, was hier durch O-Ringe 90 veranschaulicht ist.

[0047] Die Aktuatoreinheit 84 kann insbesondere einen oder mehrere Linearaktuatoren umfassen. Dabei können beispielsweise ein oder mehrere Elektromagnete und/oder ein oder mehrere hydraulische Aktuatoren eingesetzt werden. Im vorliegenden Fall umfasst die Aktuatoreinheit 84 beispielsweise zwei Elektromagnete 84', 84" zur Beaufschlagung des Zwischenteils 82 in entgegengesetzten Axialrichtungen.

[0048] Die Sensoreinheit 86 zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils 82 gegenüber dem Statorgehäuse 80 kann insbesondere einen berührenden Sensor wie beispielsweise einen Dehnungsmessstreifen oder dergleichen, umfassen.

[0049] Im Bereich der beiden Rotorenden kann jeweils auch ein radial wirkendes Fanglager 92, 94 vorgesehen sein. Dabei kann insbesondere das Fanglager 92 im mit dem axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlager 76 versehenen Bereich des betreffenden Rotorendes als axial und radial wirkendes Fanglager ausgeführt sein.

[0050] Bei einer jeweiligen axialen Abweichung des Rotors 68 aus der Soll-lage ergibt sich eine Axialkraft, die sich magnetisch auf die statorseitigen Lagerteile der Permanentmagnetlager 76, 76 überträgt. Diese wiederum stützen sich im Fall des radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers 74 an dem Statorgehäuse 80 und im Fall des axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers 76 an dem federnd im Statorgehäuse 80 aufgehängten Zwischenteil 82 ab. Dadurch wird das Zwischenteil 82 mit dem statorseitigen Lagerteil 78 des axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers entsprechend der Federkonstanten gegenüber dem Statorgehäuse 80 ausgelenkt. Diese Auslenkung kann mit-

tels der Sensoreinheit 86 gemessen werden.

[0051] Über die Steuereinrichtung 88 bzw. eine dieser zugeordnete Regelelektronik kann nun der betreffende Elektromagnet 84' bzw. 84" der Aktuatoreinheit 84 be-
5 Stromt oder stärker bestromt werden, der das Zwischen-
teil 82 in Rotorbewegungsrichtung beschleunigt, um die-
ses Zwischenteil 82 insbesondere so stark zu beschleu-
nigen, dass es den Rotor 68 sozusagen "überholt", womit
der labile Punkt überschritten wird, um dann eine Ge-
genkraft aufbauen zu können, die den Rotor 68 abbremst
und in Gegenrichtung beschleunigt.

[0052] Damit kann sich ein im zeitlichen Mittel stabiler
axialer Arbeitspunkt einstellen, bei dem die Auslenkung
des Zwischenteils 82 gegenüber dem Statorgehäuse 80
im zeitlichen Mittel Null ist.

[0053] Wie der Fig. 3 entnommen werden kann, kön-
nen der am Zwischenteil 82 angeordnete statorseitige
Lagerteil 78 sowie der rotorseitige Lagerteil 96 des axial
aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers
76 jeweils durch einen Magnetringstapel aus mehreren
permanentmagnetischen Magnetringen gebildet sein.
Die Magnetringe eines jeweiligen Stapels können dabei
in axialer Richtung aufeinander gestapelt sein und eine
zumindest näherungsweise zylindermantelförmige
Grundform des jeweiligen Stapels bilden. Der im We-
sentlichen zylindermantelförmige Rotorstapel und der im
Wesentlichen zylindermantelförmige Statorstapel sind
im Wesentlichen koaxial zueinander und im Wesentli-
chen koaxial zu der Rotationsachse 98 der Vakuumpum-
pe 72 angeordnet. Dabei ist der Statorstapel im vorlie-
genden Fall innerhalb des Rotorstapels positioniert, so
dass die im Wesentlichen zylindermantelförmige radiale
Innenfläche des Rotorstapels der ebenfalls im Wesent-
lichen zylindermantelförmigen radialen Außenfläche des
Statorstapels gegenüberliegt. Zwischen der radialen In-
nenfläche des Rotorstapels und der radialen Außenflä-
che des Statorstapels bzw. zwischen dem statorseitigen
Lagerteil 78 und dem rotorseitigen Lagerteil 96 des axial
aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers
76 ergibt sich ein zumindest näherungsweise zylinder-
mantelförmiger radialer magnetischer Spalt 100, der
durch die Magnetringe begrenzt wird.

[0054] Der Rotor 68 der Vakuumpumpe 72 umfasst
eine Rotorwelle 104 sowie an dieser angeordnete Rotor-
scheiben 106. Der Rotor 68 ist beispielsweise durch ei-
nen Permanentmagnetmotor 102 antreibbar. Dabei ist
dieser Permanentmagnetmotor 102 im vorliegenden Fall
beispielsweise axial zwischen dem axial und radial wir-
kenden Fanglager 92 und dem axial aktiven radial sta-
bilisierenden Permanentmagnetlager 76 angeordnet.

[0055] Die in den Fig. 2 und 3 dargestellte erfindungs-
gemäße Rotorlagerung 66 unterscheidet sich von der in
der Fig. 1 dargestellten herkömmlichen mechanischen/
magnetischen oder Hybrid-Rotorlagerung somit
im Wesentlichen dadurch, dass das mechanische Wälz-
lager durch das axial aktive radial stabilisierende Perma-
nentmagnetlager 76 ersetzt ist, das zur axialen Stabili-
sierung das statorseitige Lagerteil 78 umfasst, das dem

bezüglich des feststehenden Statorgehäuses 80 axial
beweglich gelagerten Zwischenteil 82 zugeordnet und
zusammen mit diesem relativ zum Statorgehäuse 80 axi-
al beweglich ist. Das Zwischenteil 82 kann in der vorste-
hend beschriebenen Weise über die Aktuatoreinheit 84
beaufschlagbar sein, um einer jeweiligen axialen Abwei-
chung des Rotors 68 gegenüber einer Solllage entge-
genzuwirken.

[0056] Abgesehen von der erfindungsgemäßen Rotor-
lagerung kann die erfindungsgemäße Vakuumpumpe 72
bzw. Turbomolekularpumpe beispielsweise zumindest
im Wesentlichen wieder denselben Aufbau besitzen wie
die in der Fig. 1 dargestellte Vakuumpumpe.

15 Bezugszeichenliste

[0057]

10	Vakuumpumpe
20	Einlassflansch
14	Pumpeneinlass
16	Gehäuse
18	Rotationsachse
20	Rotorwelle
25	Rotorscheibe
24	Statorscheibe
26	Distanzring
28	Schöpfbereich
30	Pfeil
30	32 Rotornabe
34	Holweck-Rotorhülse
36	Holweck-Rotorhülse
38	Holweck-Statorhülse
40	Holweck-Statorhülse
35	42 Wälzlager
44	Permanentmagnetlager
46	rotorseitige Lagerhälfte
48	statorseitige Lagerhälfte
50	permanentmagnetischer Ring
40	52 permanentmagnetischer Ring
54	radialer Lagerspalt
56	Not- oder Fanglager
58	konische Spritzmutter
60	saugfähige Scheibe
45	62 Antriebsmotor
64	Steuereinheit
66	Anordnung, Rotorlagerung
68	Rotor
70	Stator
50	72 Vakuumpumpe
74	radial stabilisierendes Permanentmagnetlager
76	axial aktives radial stabilisierendes Permanent- magnetlager
78	statorseitiges Lagerteil
55	80 Statorgehäuse
82	Zwischenteil
84	Aktuatoreinheit
84'	Elektromagnet

84"	Elektromagnet
86	Sensoreinheit
88	Steuereinrichtung
90	O-Ring
92	axial und radial wirkendes Fanglager
94	radial wirkendes Fanglager
96	rotorseitiger Lagerteil
98	Rotationsachse
100	magnetischer Spalt
102	Permanentmagnetmotor
104	Rotorwelle
106	Rotorscheibe

Patentansprüche

1. Anordnung (66) zur Lagerung eines Rotors (68) gegenüber einem Stator (70), insbesondere zur Lagerung des Rotors (68) einer Vakuumpumpe (72), mit einem radial stabilisierenden Permanentmagnetlager (74) im Bereich eines der beiden Rotorenden und mit einem weiteren Lager (76) im Bereich des gegenüberliegenden Rotorendes, wobei das weitere Lager als axial aktives radial stabilisierendes Permanentmagnetlager (76) ausgeführt ist, das zur axialen Stabilisierung ein statorseitiges Lagerteil (78) umfasst, das einem bezüglich eines feststehenden Gehäuses (80) des Stators (70) axial beweglich gelagerten Zwischenteil (82) zugeordnet und zusammen mit diesem relativ zum Statorgehäuse (80) axial beweglich ist, wobei das Zwischenteil (82) über eine Aktuatoreinheit (84) beaufschlagbar ist, um einer jeweiligen axialen Abweichung des Rotors (68) gegenüber einer Solllage entgegenzuwirken, und wobei die Aktuatoreinheit (84) wenigstens einen Linearaktuator umfasst.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Sensoreinheit (86) zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils (82) gegenüber dem Statorgehäuse (80) und eine mit der Sensoreinheit (86) und der Aktuatoreinheit (84) in Verbindung stehende Steuereinrichtung (88) vorgesehen sind, über die die Aktuatoreinheit (84) in Abhängigkeit von der gemessenen axialen Auslenkung des Zwischenteils (82) ansteuerbar ist.
3. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aktuatoreinheit (84) über die Steuereinrichtung (88) so ansteuerbar ist, dass die axiale Auslenkung des Zwischenteils (82) gegenüber dem Statorgehäuse (80) im zeitlichen Mittel Null ist.
4. Anordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass das Zwischenteil (82) federnd und/oder gedämpft in das Statorgehäuse (80) eingelegt ist, insbesondere über O-Ringe (90).

5. Anordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aktuatoreinheit (84) wenigstens einen Elektromagneten (84') und/oder wenigstens einen hydraulischen Aktuator umfasst.
6. Anordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinheit (86) zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils (82) gegenüber dem Statorgehäuse (80) einen berührenden Sensor umfasst.
7. Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinheit (86) zur Messung einer jeweiligen axialen Auslenkung des Zwischenteils (82) gegenüber dem Statorgehäuse (80) einen Dehnungsmessstreifen umfasst.
8. Anordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich der beiden Rotorenden jeweils zusätzlich ein zumindest radial wirkendes Fanglager (92, 94) vorgesehen ist.
9. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** dasjenige Fanglager (92), das am Rotorende im Bereich des axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlagers (76) vorgesehen ist, als axial und radial wirkendes Fanglager ausgeführt ist.
10. Vakuumpumpe (72), insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einem Rotor (68) und einem Stator (70), wobei der Rotor (68) durch eine Anordnung (66) nach einem der vorstehenden Ansprüche gegenüber dem Stator (70) gelagert ist.
11. Vakuumpumpe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vakuumpumpe (72) einen Permanentmagnetmotor (102) als Drehantrieb für den Rotor (68) umfasst.
12. Vakuumpumpe nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Permanentmagnetmotor (102) axial zwischen einem axial und radial wirkenden Fanglager (92) und dem axial aktiven radial stabilisierenden Permanentmagnetlager (76) angeordnet ist.

Fig. 1

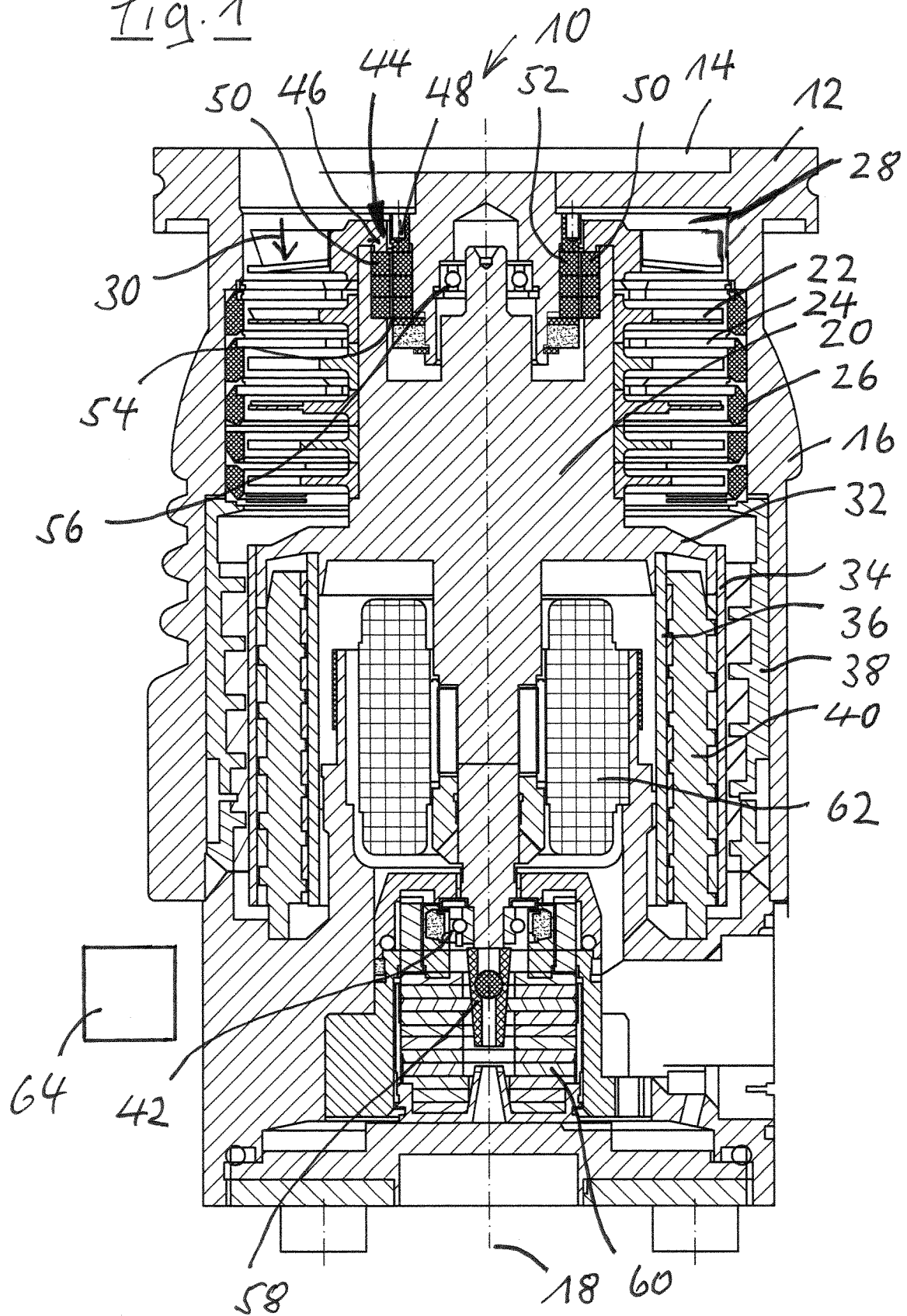
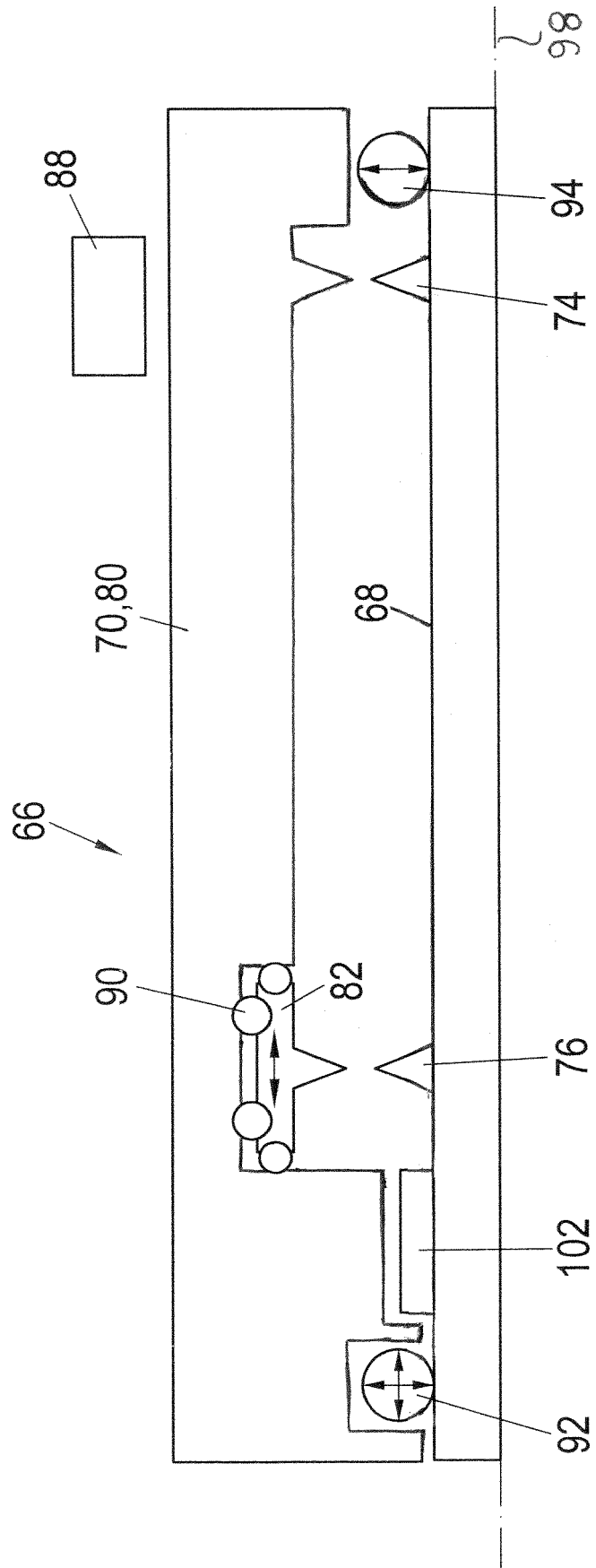
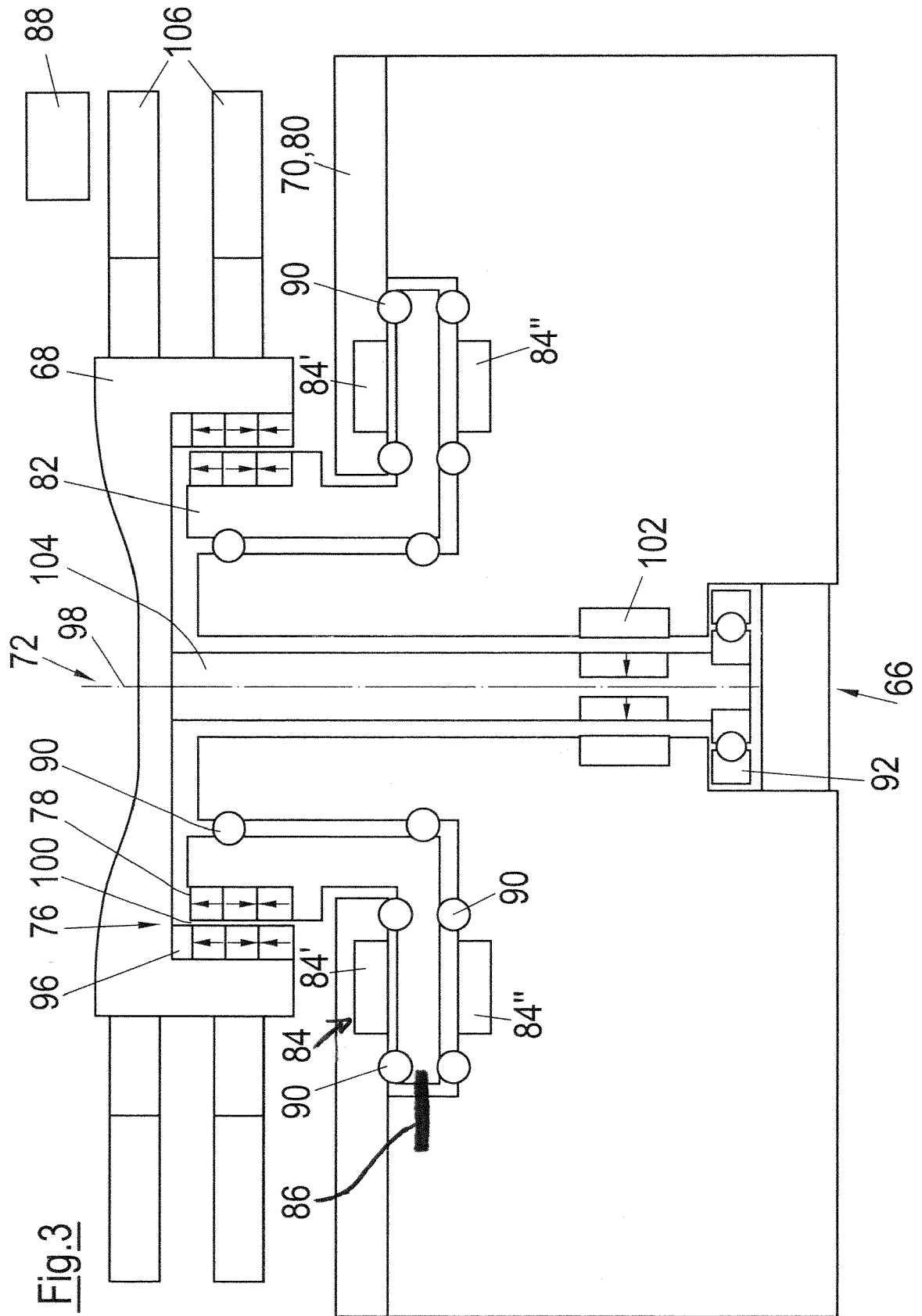


Fig.2







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 21 0176

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 28 25 551 A1 (PFEIFFER VAKUUMTECHNIK) 13. Dezember 1979 (1979-12-13) * das ganze Dokument *	1,3,5,8, 10-12	INV. F04D27/02
A	* Abbildung 4 * * Seite 17, Zeile 4 - Seite 18, Zeile 2 *	2,4,6,7, 9	F04D29/058 F04D19/04
A	DE 100 22 062 A1 (LEYBOLD VAKUUM GMBH [DE]) 8. November 2001 (2001-11-08) * das ganze Dokument * * Anspruch 1 * * Absatz [0028] *	1	
A	US 4 541 772 A (BECKER WILLI [DE]) 17. September 1985 (1985-09-17) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 27. Januar 2020	Prüfer Ingelbrecht, Peter
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 03.92 (P04C03)

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

EP 19 21 0176

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.

27-01-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2825551 A1	13-12-1979	KEINE	
DE 10022062 A1	08-11-2001	DE 10022062 A1	08-11-2001
		EP 1281007 A1	05-02-2003
		JP 2005504930 A	17-02-2005
		KR 20040029945 A	08-04-2004
		TW 521477 B	21-02-2003
		US 2003170132 A1	11-09-2003
		WO 0186158 A1	15-11-2001
US 4541772 A	17-09-1985	BE 898011 A	15-02-1984
		CH 661100 A5	30-06-1987
		DE 3239328 A1	26-04-1984
		FR 2534980 A1	27-04-1984
		GB 2129068 A	10-05-1984
		IT 1167198 B	13-05-1987
		JP H078879 Y2	06-03-1995
		JP H0569397 U	21-09-1993
		JP S5993995 A	30-05-1984
		NL 8303081 A	16-05-1984
		US 4541772 A	17-09-1985

EPO FORM P0461

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