



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
22.02.2023 Patentblatt 2023/08

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 19/04 ^(2006.01) **F04D 27/00** ^(2006.01)
F04D 27/02 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22213776.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 19/04; F04D 27/001; F04D 27/0292

(22) Anmeldetag: **15.12.2022**

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

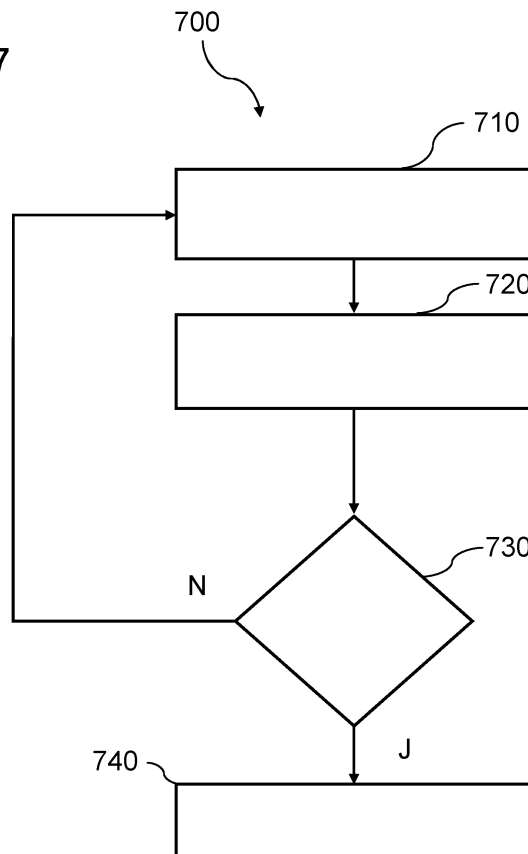
(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum Technology AG**
35614 Asslar (DE)
(72) Erfinder: **BÖTTCHER, Jochen**
35394 Gießen (DE)
(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald**
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(54) **VAKUUMGERÄT UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SOLCHEN**

(57) Ein Vakuumgerät umfasst eine Verschleißerkennungseinrichtung und eine Schutzeinrichtung. Die Verschleißerkennungseinrichtung ist ausgebildet, um einen Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts zu erfassen und anhand der erfassten Betriebsgrößen zumindest einen Verschleißindikator für das Vakuumgerät zu

ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente des Vakuumgeräts angibt. Die Schutzeinrichtung ist ausgebildet, um eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts auszuführen, wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt.

Fig. 7



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Vakuumgerät, beispielsweise eine Vakuumpumpe oder eine Messröhre, und Verfahren zum Betreiben eines solchen Vakuumgeräts.

[0002] Die meisten Vakuumpumpen weisen bewegliche Teile auf, die Verschleiß ausgesetzt sein können. Messröhren, die in Vakuumanlagen verwendet werden, weisen ebenso Teile auf, die aufgrund einer starken physikalischen Belastung einem Verschleiß ausgesetzt sein können. Der Verschleiß solcher Vakuumgeräte hängt von den Betriebsbedingungen und Umgebungsbedingungen des jeweiligen Vakuumgeräts und von der Alterung der beanspruchten Komponenten des Vakuumgeräts ab.

[0003] Der Verschleiß von Komponenten eines Vakuumgeräts kann dazu führen, dass bestimmte Funktionen des Vakuumgeräts nicht oder nicht mehr im erforderlichen Maß ausgeführt werden. Eine Turbomolekular-Vakuumpumpe kann beispielsweise Wälzlager und/oder Fanglager für deren Rotor aufweisen, bei denen ein gewisser Verschleiß letztlich zu einem Ausfall der Vakuumpumpe führen kann. Der Verschleiß kann ferner zu einer Vorschädigung an bestimmten Komponenten des Vakuumgeräts führen, die durch einen unkontrollierten weiteren Betrieb des Vakuumgeräts verschlimmert werden und zu einem kompletten Ausfall des Vakuumgeräts führen kann. Dies kann beispielsweise dann auftreten, wenn eine Vakuumpumpe trotz einer gewissen Vorschädigung eines Lagers weiterhin bei Nennbedingungen bezüglich der Temperatur, der Leistung und der Drehzahl betrieben wird. Wenn beispielsweise eine Vorschädigung des Lagers nicht erkannt wird, verkürzt der Betrieb bei Nennbedingungen die Zeit bis zum Ausfall der Pumpe.

[0004] Um den Ausfall eines Vakuumgeräts aufgrund von Verschleiß zu vermeiden, sind häufig Wartungsempfehlungen oder ähnliche Vorgaben vorgesehen, die beispielsweise eine Überprüfung des Vakuumgeräts nach einer vorgegebenen Betriebszeit oder unter bestimmten anderen Bedingungen definieren. Ein Ausfall des Vakuumgeräts kann jedoch beispielsweise aufgrund der Betriebsart einer jeweiligen Vakuumpumpe vor dem Ablauf eines solchen Wartungszeitraums auftreten, wenn der Verschleiß bestimmter Komponenten des Vakuumgeräts nicht erkannt wird. Umgekehrt kann jedoch die vorgesehene Betriebszeit bis zu einer Wartung zu konservativ gewählt sein, sodass unnötigerweise eine zu frühe Wartung durchgeführt wird. Dies führt zu unnötigen Kosten für den Betrieb des Vakuumgeräts.

[0005] Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Vakuumgerät und ein Verfahren zum Betreiben eines solchen zu schaffen, bei denen ein Ausfall des Vakuumgeräts aufgrund von Verschleiß vermieden oder zumindest verzögert wird.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Vakuumgerät und ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfin-

dung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen angegeben.

[0007] Das Vakuumgerät, das insbesondere eine Vakuumpumpe ist, umfasst eine Verschleißerkennungseinrichtung und eine Schutzeinrichtung. Die Verschleißerkennungseinrichtung ist ausgebildet, um einen Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts zu erfassen und anhand der erfassten Betriebsgrößen zumindest einen Verschleißindikator für das Vakuumgerät zu ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente des Vakuumgeräts angibt. Die Schutzeinrichtung ist ausgebildet, um eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts bzw. des Verschleißes einer oder mehrerer Komponenten des Vakuumgeräts auszuführen, wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt.

[0008] Der Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts umfasst zumindest eine Betriebsgröße, wie beispielsweise die Anzahl der Betriebsstunden des Vakuumgeräts. In diesem Fall kann die Verschleißerkennungseinrichtung ausgebildet sein, um die bisherigen Betriebsstunden des Vakuumgeräts zu erfassen. Die Verschleißerkennungseinrichtung kann zusätzlich oder alternativ ausgebildet sein, um spezifische, vorgegebene Störuereignisse zu erkennen und ein erfasstes Störuereignis einem bestimmten Verschleiß zuzuordnen. In beiden Fällen, d.h. anhand der Gesamtzahl der Betriebsstunden und/oder anhand der ermittelten Störuereignisse des Vakuumgeräts, kann die Verschleißerkennungseinrichtung diesen erfassten Betriebsgrößen einen bestimmten Zahlenwert als Verschleißindikator zuordnen.

[0009] Alternativ oder zusätzlich kann die Verschleißerkennungseinrichtung bestimmte Betriebsparameter des Vakuumgeräts erfassen, wie beispielsweise die Temperatur und die Drehzahl einer Vakuumpumpe. Der jeweilige Wert des Betriebsparameters kann über einen vorbestimmten Zeitraum erfasst werden, um den Verschleißindikator mit den derart erfassten Werten des Betriebsparameters in Beziehung zu setzen. Die über den vorbestimmten Zeitraum erfassten Werte des Betriebsparameters können beispielsweise summiert, integriert oder auf andere Weise miteinander verrechnet werden, um dadurch beispielsweise einen Mittelwert für den Betriebsparameter zu erhalten, anhand dessen der Verschleißindikator ermittelt werden kann. Ferner ist es alternativ oder zusätzlich auch möglich, dass die Verschleißerkennungseinrichtung den Zustand eines bestimmten Betriebsmittels des Vakuumgeräts erfasst und diesen Zustand dem Verschleißindikator zuordnet. Ein solcher Zustand der Betriebsmittel kann beispielsweise die Temperatur eines Kühlmittels des Vakuumgeräts und/oder die Qualität bestimmter Schmierstoffe umfassen.

[0010] Der Verschleißindikator kann somit entweder einen bestimmten Zahlenwert annehmen, der beispielsweise anhand der Betriebsstunden, anhand von Störuereignissen und/oder anhand eines erfassten Betriebsparameters des Vakuumgeräts abgeleitet ist. Der

vorbestimmte Zustand des Verschleißindikators, der die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes im Vakuumgerät mittels der Schutzeinrichtung auslöst, kann in diesem Fall umfassen, dass der Zahlenwert des Verschleißindikators einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Alternativ kann der Verschleißindikator einem bestimmten Zustand eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts direkt zugeordnet sein, sodass der Zustand des Betriebsmittels, z.B. das Überschreiten einer bestimmten Temperatur des Kühlmittels des Vakuumgeräts, die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes direkt auslöst.

[0011] Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts kann umfassen, dass bestimmte Betriebsparameter des Vakuumgeräts derart angepasst werden, dass der Verschleiß der zumindest einen Komponente des Vakuumgeräts verringert wird. Bei einer Vakuumpumpe kann beispielsweise eine maximal mögliche Drehzahl verringert werden, um die Vakuumpumpe weiterhin betreiben zu können, ohne dass beispielsweise eine Beschädigung an deren Wälzlager oder Fanglager auftritt.

[0012] Das erfindungsgemäße Vakuumgerät zeichnet sich somit dadurch aus, dass nicht nur der Verschleiß einer der Komponenten des Vakuumgeräts erfasst wird, beispielsweise durch Zählen von Betriebsstunden, sondern dass zusätzlich anhand des Verschleißindikators eine geeignete Maßnahme zum Verringern des Verschleißes ausgelöst wird. Durch das Ermitteln des Verschleißindikators anhand der Betriebsgrößen des Vakuumgeräts erfolgt ferner eine sorgfältige Diagnose des Vakuumgeräts. Dadurch ist es möglich, beispielsweise eine Warnung auszugeben, bevor eine tatsächliche Beeinträchtigung oder sogar ein Ausfall des Vakuumgeräts und somit der Anlage erfolgt, in die das Vakuumgerät eingebunden ist. Durch das Auslösen der Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts kann dessen Betrieb ausgedehnt bzw. dessen Betriebsdauer verlängert werden, auch wenn dieser Betrieb aufgrund der Maßnahme mit Einschränkungen verbunden ist, die jedoch unter bestimmten Umständen tolerierbar sind. Insgesamt wird ein Ausfall des Vakuumgeräts aufgrund des Verschleißes einer seiner Komponenten dadurch vermieden, dass der Verschleiß frühzeitig erkannt und eine Gegenmaßnahme zum Verringern oder sogar zum Vermeiden des weiteren Verschleißes dieser Komponente eingeleitet wird.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform kann der Satz der Betriebsgrößen eine Betriebsdauer des Vakuumgeräts umfassen, und der zumindest eine Verschleißindikator kann einen Zahlenwert umfassen, der von der Betriebsdauer des Vakuumgeräts abgeleitet ist. Die Betriebsdauer kann ab einer vorhergehenden Wartung des Vakuumgeräts erfasst werden, wenn beispielsweise Teile oder Komponenten des Vakuumgeräts, die einem Verschleiß ausgesetzt sind, bei dieser Wartung repariert oder ausgetauscht werden. Alternativ kann die gesamte Betriebsdauer des Vakuumgeräts erfasst werden. Kon-

kret können die Betriebsstunden des Vakuumgeräts gezählt werden, sodass der Zahlenwert der Betriebsstunden den Verschleißindikator darstellt. Die Anzahl der Betriebsstunden kann mit einem vorbestimmten Schwellenwert verglichen werden, dem eine gewisse Wahrscheinlichkeit zugeordnet ist, dass der Verschleiß einer Komponente des Vakuumgeräts innerhalb einer relativ kurzen Zeitdauer zu einer Störung oder gar einem Ausfall des Vakuumgeräts führen kann. Ein solcher Schwellenwert kann konfigurierbar sein, d.h. dass der Schwellenwert an den speziellen Typ des Vakuumgeräts und an die Umgebung, in der das Vakuumgerät verwendet wird, anpassbar sein kann. Ferner kann die Erfassung der Betriebsdauer des Vakuumgeräts mit einem geringen Aufwand verbunden sein, da beispielsweise bei vielen Vakuumpumpen ohnehin deren Betriebsstunden gezählt werden.

[0014] Zusätzlich oder alternativ kann der Satz der Betriebsgrößen Betriebsparameter des Vakuumgeräts umfassen. Die Verschleißerkennungseinrichtung kann ausgebildet sein, um den Verschleißindikator zu ermitteln, indem Werte des Betriebsparameters über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit dem Verschleißindikator in Beziehung gesetzt werden. Der Betriebsparameter kann beispielsweise eine Temperatur in einem vorbestimmten Bereich des Vakuumgeräts und/oder eine Vibration des Vakuumgeräts umfassen. Beispielsweise kann eine Zeitdauer erfasst werden, während der die Temperatur des Vakuumgeräts oberhalb eines vorbestimmten Grenzwerts liegt. Zusätzlich oder alternativ können die Intensität, Frequenzen und/oder die Amplitude von Vibrationen des Vakuumgeräts über einen vorbestimmten Zeitraum erfasst werden. Wenn die Amplitude der Vibrationen kumulativ für eine bestimmte Zeitdauer einen vorbestimmten Grenzwert übersteigt und/oder vorbestimmte Charakteristiken in den Frequenzen der Vibrationen erkennbar sind, kann dies mit einem erhöhten Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten des Vakuumgeräts verbunden sein. Die Messung der Vibrationen des Vakuumgeräts kann dadurch einem entsprechenden Verschleißindikator zugeordnet sein.

[0015] Wenn das Vakuumgerät eine Vakuumpumpe ist, können ferner zusätzlich oder alternativ der Druck, die Drehzahl, ein Drehzahl/Druck-Zyklus oder mehrere Drehzahl/Druck-Zyklen und/oder ein Gasfluss in der Vakuumpumpe als Teil des Satzes der Betriebsgrößen der Vakuumpumpe erfasst werden. Aus der Erfassung dieser Betriebsgrößen über einen vorbestimmten Zeitraum kann wiederum ermittelt werden, ob in einem bestimmten Bereich oder an einer bestimmten Komponente der Vakuumpumpe ein erhöhter Verschleiß aufgetreten ist.

[0016] Zusätzlich oder alternativ kann der Satz der Betriebsgrößen einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts umfassen. In diesem Fall kann die Verschleißerkennungseinrichtung ausgebildet sein, um den Verschleißindikator anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels zu ermitteln. Der Zustand des Betriebsmittels kann insbesondere die Tem-

peratur eines Kühlmittels und/oder die Qualität eines Schmiermittels für zumindest eine Komponente des Vakuumgeräts umfassen. Bei einer solchen Ausführungsform kann der Verschleiß einer Komponente des Vakuumgeräts somit indirekt anhand der Wechselwirkung der Komponente mit dem Betriebsmittel erfasst werden. Ein erhöhter Verschleiß einer bestimmten Komponente des Vakuumgeräts kann mit anderen Worten mit einer Veränderung des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels verbunden sein, sodass diese Änderung des Zustands des Betriebsmittels als Verschleißindikator verwendet werden kann. Beispielsweise können die Veränderung der Temperatur des Kühlmittels und/oder die Verringerung der Qualität des Schmiermittels, die beispielsweise durch eine Trübung eines Schmieröls einer Vakuumpumpe nachgewiesen werden kann, Indikatoren für den Verschleiß derjenigen Komponente des Vakuumgeräts darstellen, für die das Kühlmittel bzw. Schmiermittel vorgesehen ist.

[0017] Wie vorstehend bereits erwähnt ist, kann der Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts lediglich eine Betriebsgröße wie beispielsweise die Betriebsstunden des Vakuumgeräts umfassen. Um den Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten des Vakuumgeräts rechtzeitig und zuverlässig zu erkennen, kann der Satz von Betriebsgrößen jedoch vorteilhafterweise mehrere Betriebsgrößen umfassen, die gleichzeitig erfasst werden. Beispielsweise kann der Satz der Betriebsgrößen die Betriebsdauer des Vakuumgeräts, einen oder mehrere Betriebsparameter wie etwa die Temperatur und/oder die Vibrationen des Vakuumgeräts und den Zustand eines Kühlmittels oder Schmiermittels umfassen. Jeder dieser Betriebsgrößen kann ein jeweiliger Verschleißindikator zugeordnet sein. Die Schutzeinrichtung kann ausgebildet sein, um eine oder mehrere Maßnahmen zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts auszuführen, sobald zumindest einer der mehreren Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, d.h. beispielsweise einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Wenn der Satz der Betriebsgrößen bei einer solchen Ausführungsform mehrere Betriebsgrößen umfasst, kann sichergestellt sein, dass die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts rechtzeitig ausgeführt wird und dass andererseits jedoch eine Wartung des Vakuumgeräts nicht unnötigerweise zu früh ausgeführt wird.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Schutzeinrichtung ausgebildet sein, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts derart auszuführen, dass eine Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts begrenzt ist. Durch die Begrenzung der Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts können beispielsweise dessen Temperatur, dessen Vibrationen und/oder dessen mechanische Last derart begrenzt werden, dass ein zusätzlicher Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten des Vakuumgeräts ausgeschlossen oder zumindest verringert ist. Wenn das Vakuumgerät eine Vakuumpumpe ist, kann die Begrenzung der Leis-

tungsaufnahme die maximal mögliche Drehzahl der Vakuumpumpe verringern.

[0019] Ein Prozess, der in einer Vakuumanlage ausgeführt wird, in der das Vakuumgerät installiert ist, kann durch die verringerte Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts eingeschränkt werden. Eine solche Einschränkung kann tolerierbar sein, sodass der Prozess trotz der verringerten Leistungsaufnahme weiterhin ausführbar ist. Durch die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts kann jedoch die verfügbare Betriebsdauer des Vakuumgeräts verlängert werden, sodass der Prozess trotz der Verringerung der Leistungsaufnahme weiterhin ausgeführt werden kann. Umgekehrt kann die Verringerung der Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts gerade durch die Verlängerung der verfügbaren Betriebsdauer des Vakuumgeräts ermöglichen, dass der Prozess weiterhin ausgeführt und zu Ende gebracht werden kann, was ohne die Verringerung der Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts aufgrund des zusätzlichen Verschleißes des Vakuumgeräts möglicherweise nicht gewährleistet ist. Wenn der Prozess jedoch durch die Begrenzung der Leistungsaufnahme nicht mehr korrekt durchgeführt werden kann, da beispielsweise aufgrund einer Verringerung der Drehzahl einer Vakuumpumpe der Druck in einer Vakuumkammer ansteigt, die mit der Vakuumpumpe verbunden ist, kann eine Warnung ausgegeben werden. Dadurch kann ein Bediener des Prozesses bzw. der Vakuumanlage erkennen, dass die korrekte Ausführung des Prozesses nicht mehr sichergestellt ist und der Prozess beendet werden sollte.

[0020] Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts kann ferner derart ausgeführt werden, dass die Verwendung von Betriebsreserven eingeschränkt wird, die während eines Normalbetriebs des Vakuumgeräts nicht in Betracht gezogen werden und üblicherweise nur bei Übergängen zwischen Betriebszuständen des Vakuumgeräts eine Rolle spielen. Wenn beispielsweise eine Vakuumpumpe bezüglich des Drucks in einem Rezipienten, der mit der Vakuumpumpe verbunden ist, von einem bisherigen Betriebspunkt zu einem neuen Betriebspunkt übergehen soll, kann eine Verringerung der maximalen Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe dazu führen, dass die Vakuumpumpe für die Übergangsphase zwischen den zwei Betriebspunkten eine längere Zeitdauer benötigt, d.h. im Vergleich zu der Zeitdauer, die ohne die Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme erforderlich wäre. Ein entsprechender Prozess, der in der Vakuumanlage mit dem Rezipienten ausgeführt wird, wird in einem solchen Fall durch die Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe möglicherweise nicht beeinflusst, oder es führt die Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe lediglich zu einer Verlängerung einzelner Prozessschritte. Dies kann tolerierbar sein, solange der Prozess an sich vollständig durchführbar ist.

[0021] Die Schutzeinrichtung kann ferner ausgebildet

sein, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts derart auszuführen, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert ist. Mit anderen Worten wird aufgrund des Verschleißes einer Komponente des Vakuumgeräts, der mittels des Verschleißindikators erfasst wird, die Warnung und/oder Fehlermeldung früher, d.h. bei einem geringeren Grenzwert, als während des Normalbetriebs ausgegeben. Der Verschleißindikator kann in diesem Fall angeben, dass das Vakuumgerät aufgrund des Verschleißes zumindest einer Komponente weniger belastbar ist und beispielsweise bei Erreichen des verringerten Grenzwerts einer bestimmten Betriebsgröße abgeschaltet werden sollte.

[0022] Die Schutzeinrichtung kann zusätzlich oder alternativ ausgebildet sein, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts durch eine Anpassung eines Zustands zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts auszuführen. Beispielsweise kann eine Menge eines zur Verfügung stehenden Betriebsmittels, beispielsweise eines Kühl- und/oder Schmiermittels, in Abhängigkeit von der Temperatur des Vakuumgeräts erhöht oder verringert werden, um einem zusätzlichen Verschleiß einer Komponente des Vakuumgeräts entgegenzuwirken.

[0023] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Vakuumgeräts, insbesondere einer Vakuumpumpe. Gemäß dem Verfahren wird mittels einer Verschleißerkennungseinrichtung ein Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts erfasst, und anhand der erfassten Betriebsgrößen wird zumindest ein Verschleißindikator für das Vakuumgerät ermittelt, der den Verschleiß zumindest einer Komponente des Vakuumgeräts angibt. Wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt, wird mittels einer Schutzeinrichtung eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts ausgeführt. Der vorbestimmte Zustand kann umfassen, dass der Verschleißindikator einen Zahlenwert aufweist, der größer als ein vorbestimmter Schwellenwert ist, oder dass der Verschleißindikator direkt einen Zustand einer oder mehrerer Betriebsgrößen widerspiegelt.

[0024] Das vorstehend beschriebene Vakuumgerät ist folglich dafür vorgesehen, die Schritte des Verfahrens mittels der Verschleißerkennungseinrichtung und der Schutzeinrichtung auszuführen. Die vorstehenden Ausführungen zu dem erfindungsgemäßen Vakuumgerät gelten daher sinngemäß auch für das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere hinsichtlich der Offenbarung, der Vorteile und der bevorzugten Ausführungsformen.

[0025] Der Satz der Betriebsgrößen kann eine Betriebsdauer des Vakuumgeräts umfassen, und ein Zahlenwert des zumindest einen Verschleißindikators kann von der Betriebsdauer des Vakuumgeräts abgeleitet werden. Das Ermitteln der Betriebsdauer des Vakuumgeräts kann beispielsweise umfassen, dass dessen Be-

triebsstunden gezählt werden, beispielsweise in einer Vakuumpumpe.

[0026] Der Satz der Betriebsgrößen kann alternativ oder zusätzlich zumindest einen Betriebsparameter des Vakuumgeräts umfassen. Der Verschleißindikator kann in diesem Fall ermittelt werden, indem Werte des Betriebsparameters über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit dem Verschleißindikator in Beziehung gesetzt werden. Der Betriebsparameter kann beispielsweise die Temperatur des Vakuumgeräts und/oder eine Amplitude oder Frequenzcharakteristika von Vibrationen des Vakuumgeräts umfassen, die kumulativ erfasst werden können. Wenn das Vakuumgerät eine Vakuumpumpe ist, kann der Betriebsparameter einen Druck, eine Drehzahl eines Rotors der Vakuumpumpe, einen oder mehrere Drehzahl/Druck-Zyklen und/oder einen Gasfluss in der Vakuumpumpe umfassen.

[0027] Zusätzlich oder alternativ kann der Satz der Betriebsgrößen einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts umfassen. Der Verschleißindikator kann in diesem Fall anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels ermittelt werden. Der Zustand des Betriebsmittels kann beispielsweise die Temperatur eines Kühlmittels für das Vakuumgerät und/oder die Qualität eines Schmiermittels für zumindest eine Komponente des Vakuumgeräts umfassen.

[0028] Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts kann ferner derart mittels der Schutzeinrichtung ausgeführt werden, dass eine Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts begrenzt wird. Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts kann alternativ oder zusätzlich derart ausgeführt werden, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert wird. Wiederum alternativ oder zusätzlich kann die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts ausgeführt werden, indem ein Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts angepasst wird. Das Anpassen des Zustands des Betriebsmittels kann umfassen, dass eine zur Verfügung stehende Menge des Betriebsmittels für eine Komponente des Vakuumgeräts erhöht oder verringert wird, um dadurch den Verschleiß der Komponente zu verringern.

[0029] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe,

Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1,

Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,

- Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,
- Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C,
- Fig. 6 ein Blockdiagramm eines erfindungsgemäßen Vakuumgeräts und
- Fig. 7 ein Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0030] 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.

[0031] Der Einlassflansch 113 bildet bei der Ausrichtung der Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 das obere Ende des Gehäuses 119 der Vakuumpumpe 111. Das Gehäuse 119 umfasst ein Unterteil 121, an welchem seitlich ein Elektronikgehäuse 123 angeordnet ist. In dem Elektronikgehäuse 123 sind elektrische und/oder elektronische Komponenten der Vakuumpumpe 111 untergebracht, z. B. zum Betreiben eines in der Vakuumpumpe angeordneten Elektromotors 125 (vgl. auch Fig. 3). Am Elektronikgehäuse 123 sind mehrere Anschlüsse 127 für Zubehör vorgesehen. Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z.B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0032] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0033] 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.

[0034] 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 Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0035] 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.

[0036] Andere existierende Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0037] 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.

[0038] 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 Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0039] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0040] 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.

[0041] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0042] 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.

[0043] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam

miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0044] Der Rotor der Holweck-Pumpstufen umfasst eine an der Rotorwelle 153 angeordnete Rotornabe 161 und zwei an der Rotornabe 161 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 163, 165, die koaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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 Turbomolekularvakuumumpen (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.

[0050] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0051] 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 größeren 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.

[0052] 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.

[0053] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not- bzw. Fanglager 215 vorgesehen, welches im normalen Be-

trieb der Vakuumpumpe 111 ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors 149 relativ zu dem Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor 149 zu bilden, damit eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert wird. Das Fanglager 215 ist als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet und bildet mit dem Rotor 149 und/oder dem Stator einen radialen Spalt, welcher bewirkt, dass das Fanglager 215 im normalen Pumpbetrieb außer Eingriff ist. Die radiale Auslenkung, bei der das Fanglager 215 in Eingriff gelangt, ist groß genug bemessen, sodass das Fanglager 215 im normalen Betrieb der Vakuumpumpe nicht in Eingriff gelangt, und gleichzeitig klein genug, sodass eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen unter allen Umständen verhindert wird.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] Fig. 6 zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines Vakuumgeräts 600, bei dem es sich beispielsweise um die in Fig. 1 bis 5 dargestellte Turbomolekularpumpe 111 handelt. Das Vakuumgerät 600 weist Komponenten 610 auf, von denen bekannt ist, dass sie möglicherweise während des Betriebs des Vakuumgeräts 600 einem Verschleiß ausgesetzt sind. Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 umfassen die Komponenten 610 das Wälz-

lager 181 (vgl. Fig. 3 bis 5) und das Not- bzw. Fanglager 215 (vgl. Fig. 3) sowie sämtliche vorstehend beschriebene Teile der Turbomolekularpumpe 111, die während deren Betrieb beweglich sind. Die Komponenten 610 umfassen ferner einerseits die beweglichen Teile des Elektromotors 125 (vgl. Fig. 3) und andererseits diejenigen elektrischen und elektronischen Elemente des Elektromotors 125, die während des Betriebs der Turbomolekularpumpe 111 einer besonderen Belastung ausgesetzt sind, beispielsweise einer erhöhten Temperatur und/oder einer hohen Spannung und/oder einer hohen Stromstärke.

[0058] Das Vakuumgerät 600 umfasst ferner eine Verschleißerkennungseinrichtung 620, die mit den Komponenten 610 des Vakuumgeräts 600 in Verbindung steht, um einen Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts zu erfassen und anhand der erfassten Betriebsgrößen zumindest einen Verschleißindikator für das Vakuumgerät 600 zu ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente 610 des Vakuumgeräts 600 angibt. Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 erfasst dann, wenn das Vakuumgerät 600 die Turbomolekularpumpe 111 ist, durch eine kommunikative Verbindung mit dem Elektromotor 125 als erstes Element des Satzes der Betriebsgrößen die Betriebsdauer des Vakuumgeräts 600 bzw. der Turbomolekularpumpe 111. Anhand der Betriebsdauer des Vakuumgeräts 600 leitet die Verschleißerkennungseinrichtung 620 einen Zahlenwert ab, der als ein Verschleißindikator des Vakuumgeräts 600 verwendet wird.

[0059] Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 erfasst ferner Betriebsparameter des Vakuumgeräts 600, die im Falle der Turbomolekularpumpe 111 deren Temperatur, den Druck auf deren Hochvakuumseite, die Drehzahl des Rotors 149, einen oder mehrere Drehzahl/Druck-Zyklen und Vibrationen der Turbomolekularpumpe 111 umfassen, wobei letztere mittels eines nicht gezeigten Schwingungssensors gemessen werden. Anhand dieser erfassten Betriebsparameter des Vakuumgeräts 600 bzw. der Turbomolekularpumpe 111 ermittelt die Verschleißerkennungseinrichtung 620 wiederum einen oder mehrere Verschleißindikatoren, die für jeweils einen oder mehrere der vorstehend genannten Betriebsparameter spezifisch und diesen zugeordnet sind. Werte der jeweiligen Betriebsgröße werden über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit einem jeweiligen Schwellenwert verglichen, um zu ermitteln, ob eine oder mehrere der Komponenten 610 des Vakuumgeräts 600 einem erhöhten Verschleiß ausgesetzt sind. Der Verschleißindikator wird dadurch mit den erfassten Werten des Betriebsparameters in Beziehung gesetzt. Die über die vorbestimmte Zeitdauer erfassten Werte des Betriebsparameters werden beispielsweise summiert, integriert oder auf andere Weise miteinander verrechnet, um dadurch einen Mittelwert für den Betriebsparameter zu erhalten, anhand dessen der Verschleißindikator ermittelt wird.

[0060] Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 er-

fasst ferner einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts 600, beispielsweise im Falle der Turbomolekularpumpe 111 die Qualität eines Schmiermittels für diejenigen Komponenten der Turbomolekularpumpe 111, die eine Schmierung erfordern. Die Qualität des Schmiermittels kann beispielsweise erfasst werden, indem eine oder mehrere physikalische und/oder chemische Eigenschaften des Schmiermittels überwacht werden, z.B. das Vorhandensein eines bestimmten Stoffs im Schmiermittel, dessen Zähigkeit und/oder dessen optische Eigenschaften.

[0061] Das Vakuumgerät 600 umfasst außerdem eine Schutzeinrichtung 630, die dafür vorgesehen ist, eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts 600 auszuführen, wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt. Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 steht mit der Schutzeinrichtung 630 in kommunikativer Verbindung und übergibt die jeweiligen Verschleißindikatoren der verschiedenen Betriebsgrößen des Vakuumgeräts 600 an die Schutzeinrichtung 630. Der Zustand des jeweiligen Verschleißindikators, anhand dessen die Schutzeinrichtung 630 die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts 600 auslöst, ist im Falle der Betriebsdauer und der Betriebsparameter dadurch gegeben, dass deren Werte einen jeweiligen vorbestimmten Schwellenwert überschreiten. Für die Betriebsmittel des Vakuumgeräts ist ein vordefinierter Zustand des Betriebsmittels demjenigen Zustand des Verschleißindikators zugeordnet, der die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts 600 auslöst.

[0062] Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 umfasst diese Maßnahme, dass eine Leistungsaufnahme der Turbomolekularpumpe 111 begrenzt wird. Dadurch wird auch die maximal erreichbare Drehzahl des Rotors 149 der Turbomolekularpumpe 111 begrenzt. Durch diese Begrenzung der maximalen Drehzahl des Rotors 149 wird der Verschleiß des Wälzlagers 181 (vgl. Fig. 3 bis 5) und auch des Not- bzw. Fanglagers 215 (vgl. Fig. 3) verringert, der ansonsten auftreten würde, wenn die Turbomolekularpumpe 111 weiterhin bei ihrer Nenndrehzahl betrieben werden würde.

[0063] Fig. 7 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens 700 zum Betreiben des Vakuumgeräts 600, d.h. insbesondere der Turbomolekularpumpe 111. Bei 710 wird mittels der Verschleißerkennungseinrichtung 620 ein Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts 600 erfasst, die jeweils den verschiedenen Komponenten 610 des Vakuumgeräts 600 zugeordnet sind. Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 umfassen die Betriebsgrößen unter anderem die Anzahl der Betriebsstunden der Turbomolekularpumpe 111, die Temperatur, die Drehzahl des Rotors 149 und den Druck in der Turbomolekularpumpe 111.

[0064] Bei 720 wird mittels der Verschleißerkennungseinrichtung 620 anhand der erfassten Betriebsgrößen ein jeweiliger Verschleißindikator für das Vakuumgerät

600 ermittelt, der den Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten 610 des Vakuumgeräts 600 angibt. Bei 730 wird überprüft, ob zumindest einer der Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, indem er beispielsweise einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Ist dies nicht der Fall, kehrt das Verfahren zum Schritt 710 zurück, um die Betriebsgrößen des Vakuumgeräts 600 weiterhin zu überwachen und einen neuen Satz der Betriebsgrößen zu erfassen.

[0065] Wenn zumindest einer der Verschleißindikatoren, die bei 720 ermittelt wurden, jedoch den vorbestimmten Zustand annimmt, der einen erhöhten Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten 610 angibt, wird bei 740 mittels der Schutzeinrichtung eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts 600 ausgeführt. Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 besteht ein dieser Maßnahmen darin, dass die Leistungsaufnahme der Turbomolekularpumpe 111 begrenzt wird, um dadurch die maximale Drehzahl des Rotors 149 zu begrenzen und das Wälzlager 181 (vgl. Fig. 3 bis 5) sowie das Not- bzw. Fanglager 215 (vgl. Fig. 3) zu schonen.

Bezugszeichenliste

25	[0066]	
	111	Turbomolekularpumpe
	113	Einlassflansch
	115	Pumpeneinlass
30	117	Pumpenauslass
	119	Gehäuse
	121	Unterteil
	123	Elektronikgehäuse
	125	Elektromotor
35	127	Zubehöranschluss
	129	Datenschnittstelle
	131	Stromversorgungsanschluss
	133	Fluteinlass
	135	Sperrgasanschluss
40	137	Motorraum
	139	Kühlmittelanschluss
	141	Unterseite
	143	Schraube
	145	Lagerdeckel
45	147	Befestigungsbohrung
	148	Kühlmittelleitung
	149	Rotor
	151	Rotationsachse
	153	Rotorwelle
50	155	Rotorscheibe
	157	Statorscheibe
	159	Abstandsring
	161	Rotornabe
	163	Holweck-Rotorhülse
55	165	Holweck-Rotorhülse
	167	Holweck-Statorhülse
	169	Holweck-Statorhülse
	171	Holweck-Spalt

173	Holweck-Spalt
175	Holweck-Spalt
179	Verbindungskanal
181	Wälzlager
183	Permanentmagnetlager
185	Spritzmutter
187	Scheibe
189	Einsatz
191	rotorseitige Lagerhälfte
193	statorseitige Lagerhälfte
195	Ringmagnet
197	Ringmagnet
199	Lagerspalt
201	Trägerabschnitt
203	Trägerabschnitt
205	radiale Strebe
207	Deckelelement
209	Stützring
211	Befestigungsring
213	Tellerfeder
215	Not- bzw. Fanglager
217	Motorstator
219	Zwischenraum
221	Wandung
223	Labyrinthdichtung
600	Vakuumgerät
610	Komponente des Vakuumgeräts
620	Verschleißerkennungseinrichtung
630	Schutzeinrichtung
700	Verfahren zum Betreiben des Vakuumgeräts
710-740	Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Vakuumgerät (600), insbesondere Vakuumpumpe (111), umfassend:

eine Verschleißerkennungseinrichtung (620), die ausgebildet ist, um einen Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts (600) zu erfassen und anhand der erfassten Betriebsgrößen zumindest einen Verschleißindikator für das Vakuumgerät (600) zu ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente (610) des Vakuumgeräts (600) angibt, und eine Schutzeinrichtung (630), die ausgebildet ist, um eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) auszuführen, wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt.

2. Vakuumgerät (600) nach Anspruch 1, wobei der Satz der Betriebsgrößen eine Betriebsdauer des Vakuumgeräts (600) umfasst und der zumindest eine Verschleißindikator einen Zahlenwert umfasst, der von der Betriebsdauer des Vakuumgeräts (600) abgeleitet ist.

3. Vakuumgerät (600) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Satz der Betriebsgrößen Betriebsparameter des Vakuumgeräts (600) umfasst und die Verschleißerkennungseinrichtung (620) ausgebildet ist, um den Verschleißindikator zu ermitteln, indem Werte des Betriebsparameters über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit dem Verschleißindikator in Beziehung gesetzt werden.
4. Vakuumgerät (600) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Satz der Betriebsgrößen einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts (600) umfasst und die Verschleißerkennungseinrichtung (620) ausgebildet ist, um den Verschleißindikator anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels zu ermitteln.
5. Vakuumgerät (600) nach Anspruch 4, wobei der Zustand des Betriebsmittels die Temperatur eines Kühlmittels und/oder die Qualität eines Schmiermittels für zumindest eine Komponente (610) des Vakuumgeräts (600) umfasst.
6. Vakuumgerät (600) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) derart auszuführen, dass eine Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts (600) begrenzt ist.
7. Vakuumgerät (600) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) derart auszuführen, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert ist.
8. Vakuumgerät (600) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) durch eine Anpassung eines Zustands zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts (600) auszuführen.
9. Verfahren (700) zum Betreiben eines Vakuumgeräts (600), insbesondere einer Vakuumpumpe (111), wobei das Verfahren umfasst, dass

mittels einer Verschleißerkennungseinrichtung (620) ein Satz von Betriebsgrößen des Vakuumgeräts (600) erfasst wird und anhand der erfassten Betriebsgrößen zumindest ein Verschleißindikator für das Vakuumgerät (600) er-

mittelt wird, der den Verschleiß zumindest einer Komponente (610) des Vakuumgeräts (600) angibt, und
mittels einer Schutzeinrichtung (630) eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) ausgeführt wird, wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt.

5

10. Verfahren (700) nach Anspruch 9, wobei
der Satz der Betriebsgrößen eine Betriebsdauer des Vakuumgeräts (600) umfasst und ein Zahlenwert des zumindest einen Verschleißindikators von der Betriebsdauer des Vakuumgeräts (600) abgeleitet wird.
15
11. Verfahren (700) nach Anspruch 9 oder 10, wobei
der Satz der Betriebsgrößen zumindest einen Betriebsparameter des Vakuumgeräts (600) umfasst und der Verschleißindikator ermittelt wird, indem Werte des Betriebsparameters über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit dem Verschleißindikator in Beziehung gesetzt werden.
20
12. Verfahren (700) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei
der Satz der Betriebsgrößen einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts (600) umfasst und der Verschleißindikator anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels ermittelt wird.
25
30
13. Verfahren (700) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei
die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) mittels der Schutzeinrichtung (630) derart ausgeführt wird, dass eine Leistungsaufnahme des Vakuumgeräts (600) begrenzt wird.
35
40
14. Verfahren (700) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei
die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) derart ausgeführt wird, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert wird.
45
15. Verfahren (700) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes des Vakuumgeräts (600) ausgeführt wird, indem ein Zustand zumindest eines Betriebsmittels des Vakuumgeräts (600) angepasst wird.
50
55

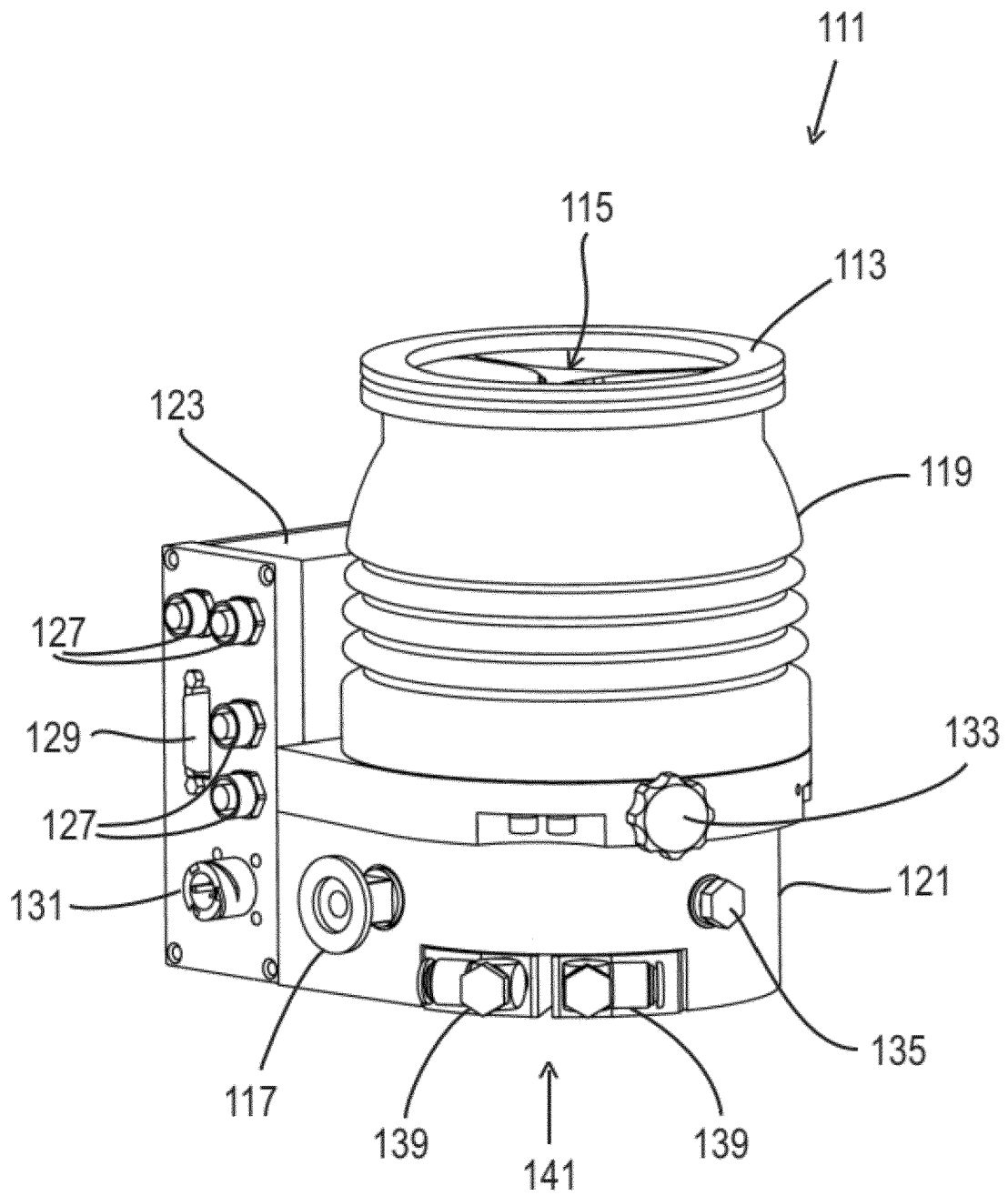


Fig. 1

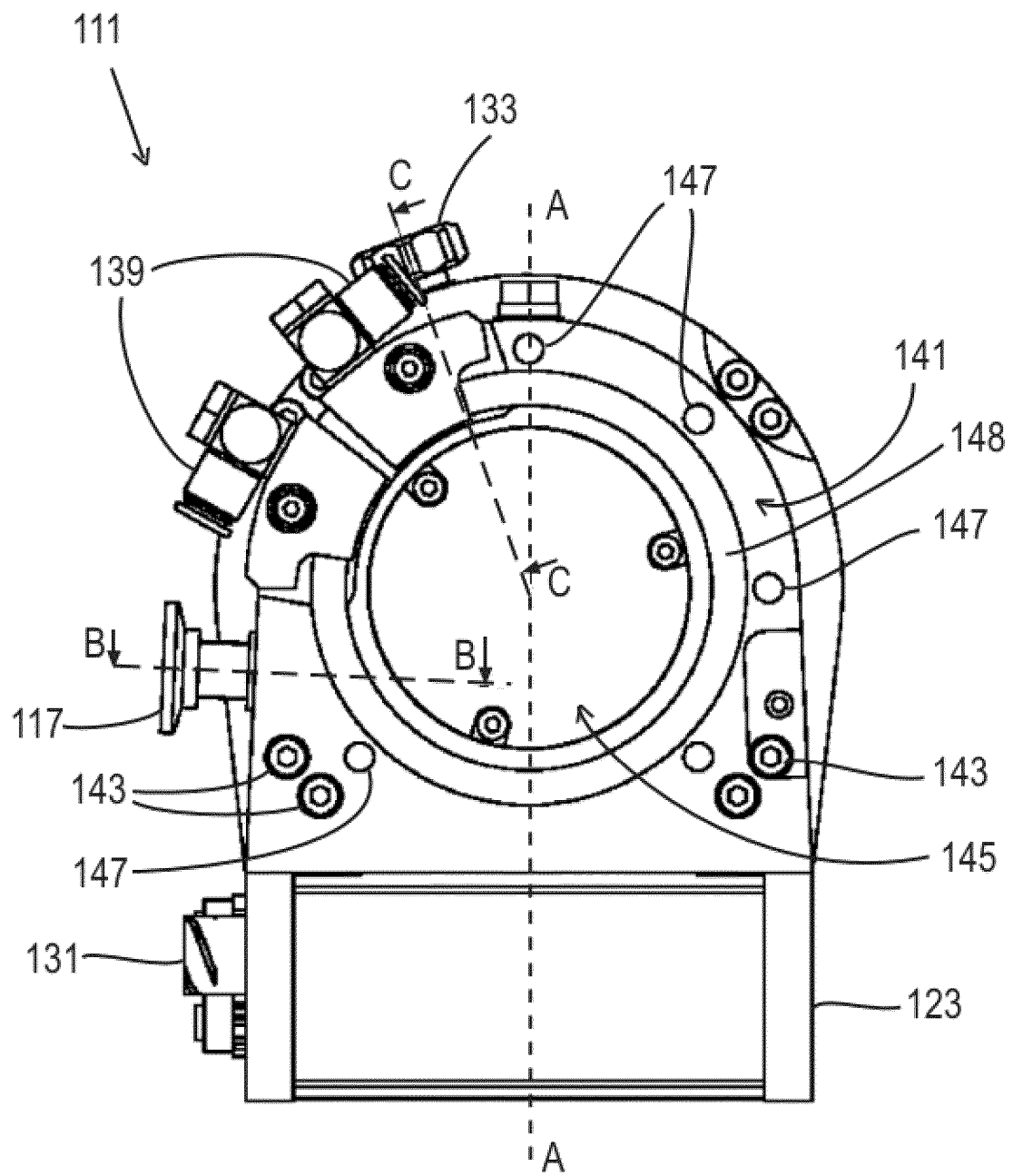


Fig. 2

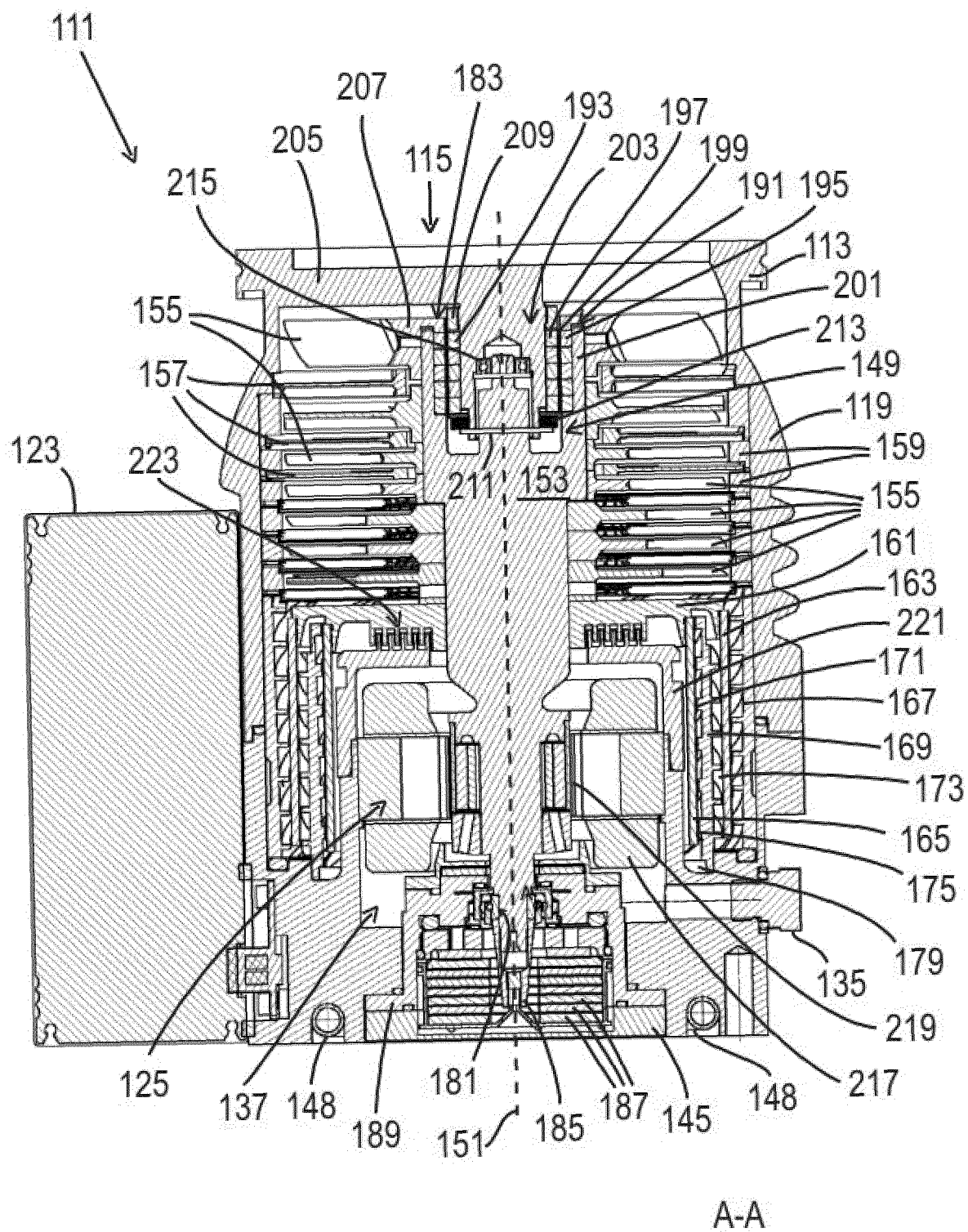


Fig. 3

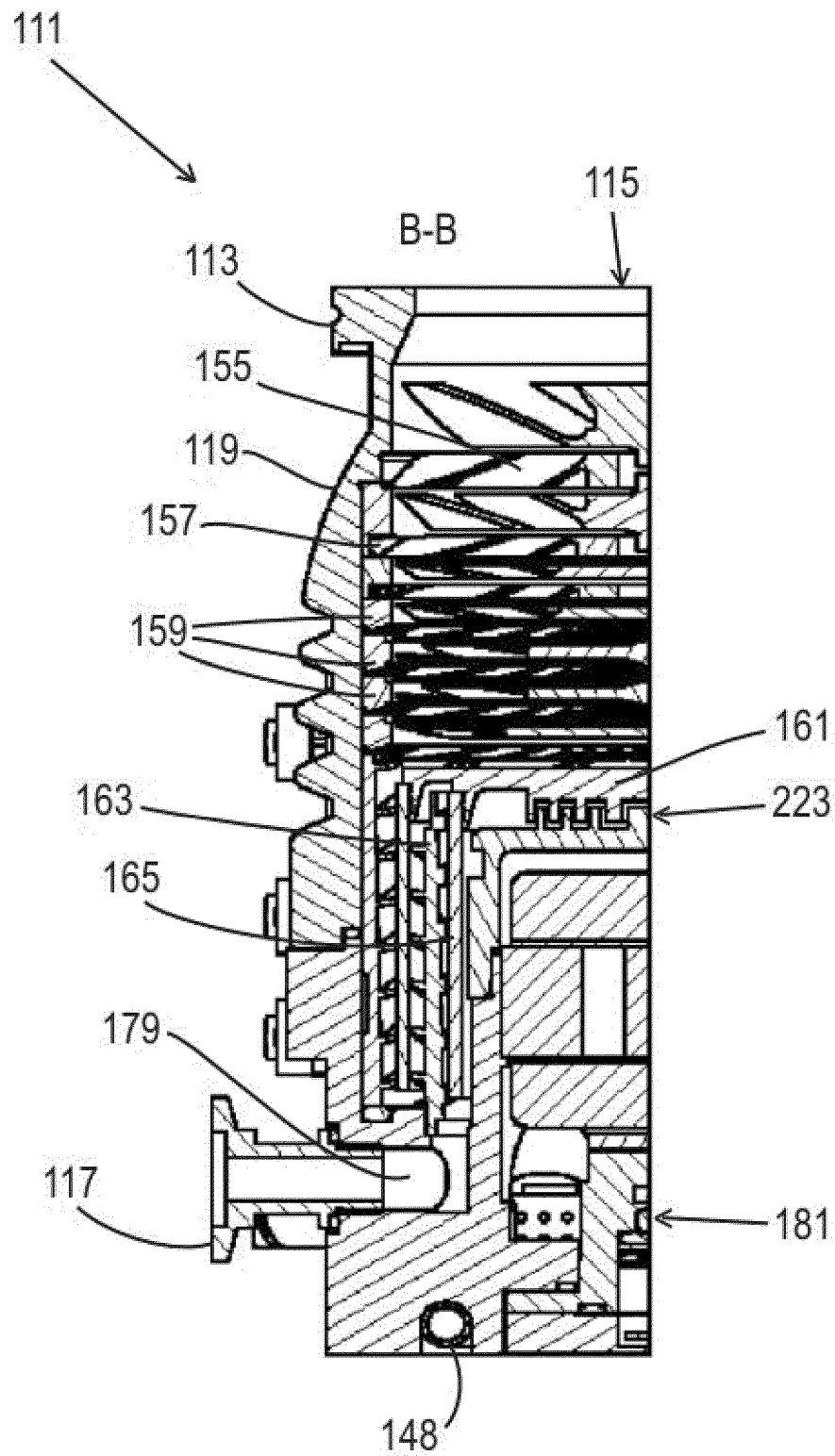


Fig. 4

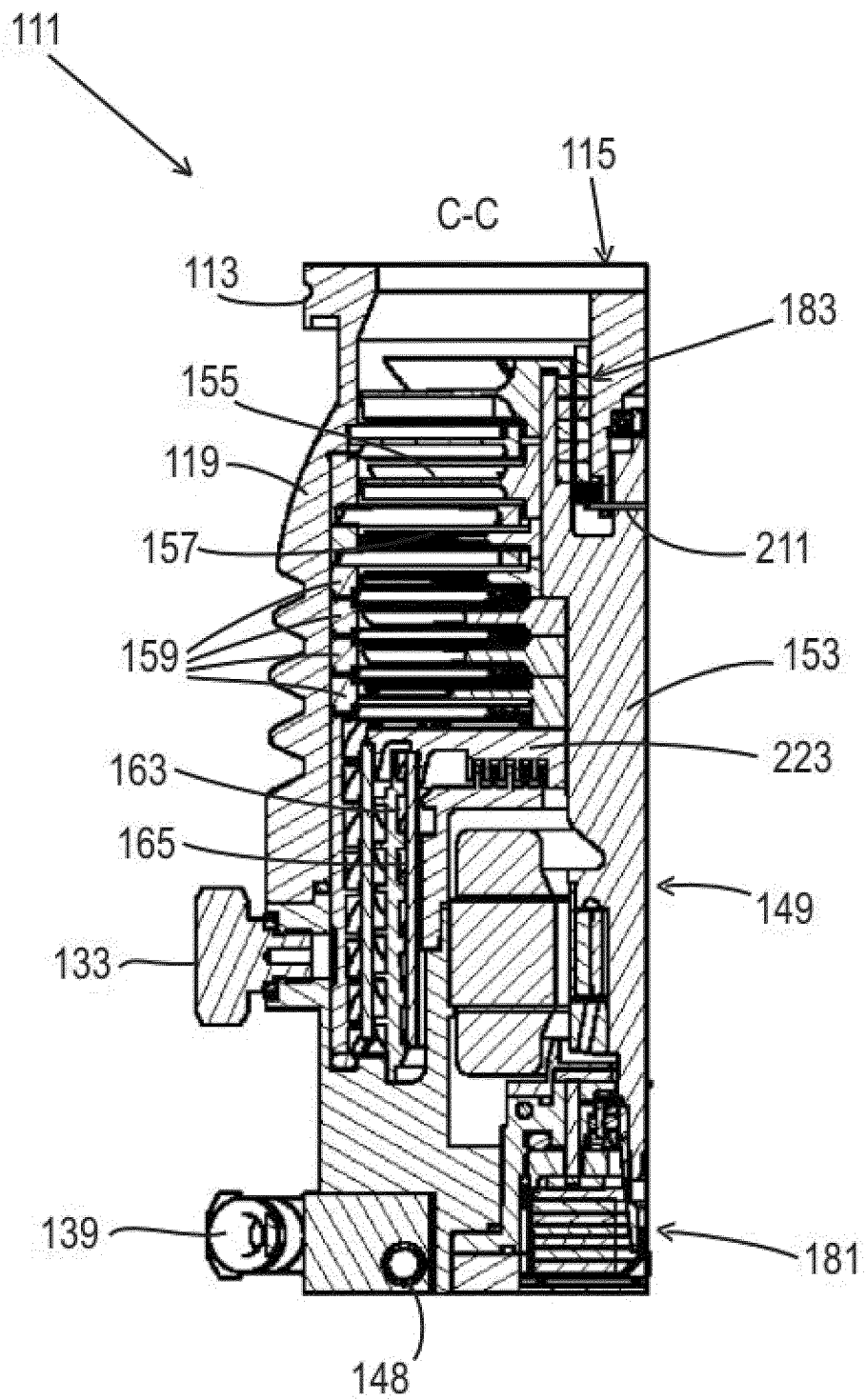
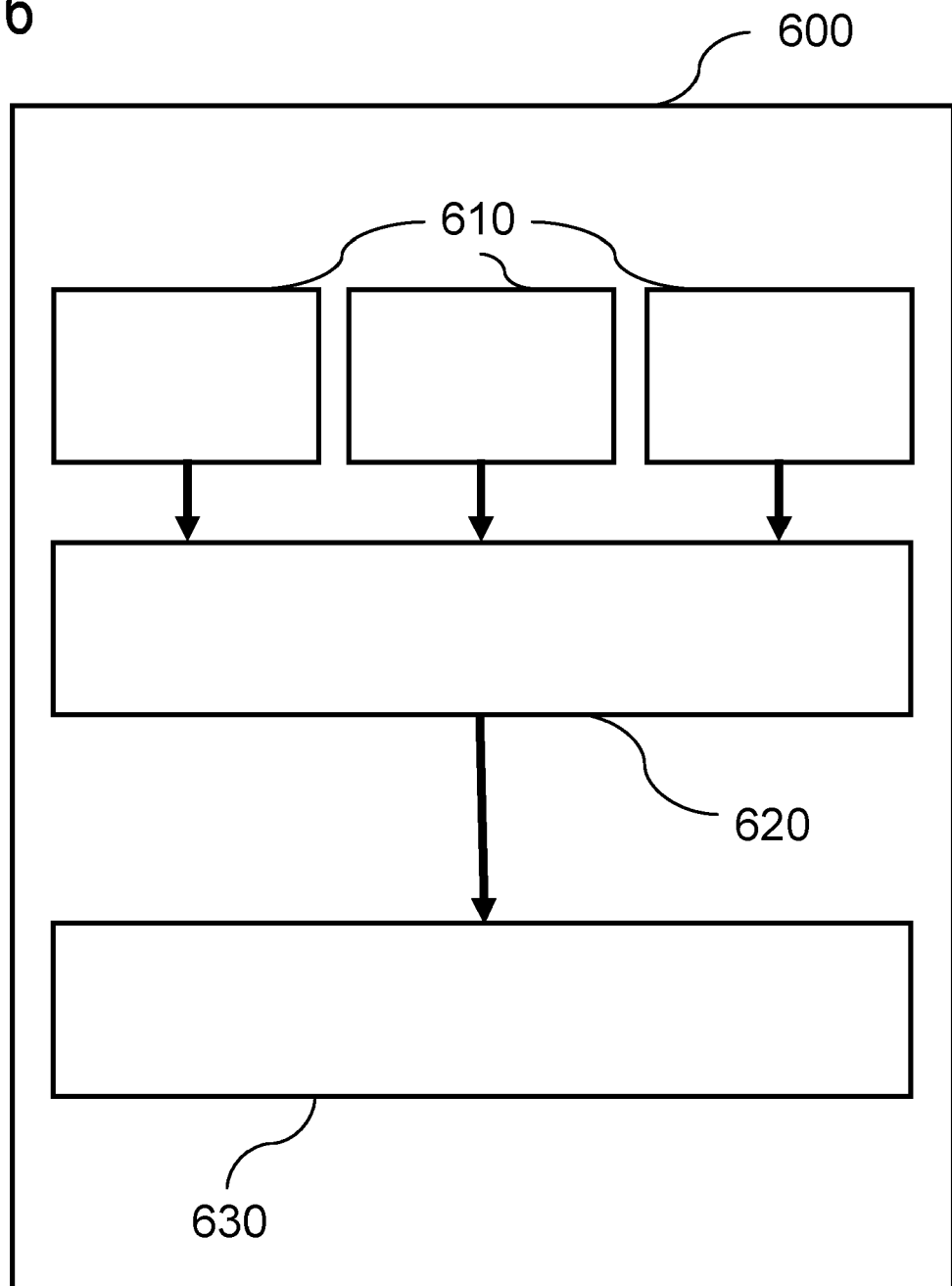
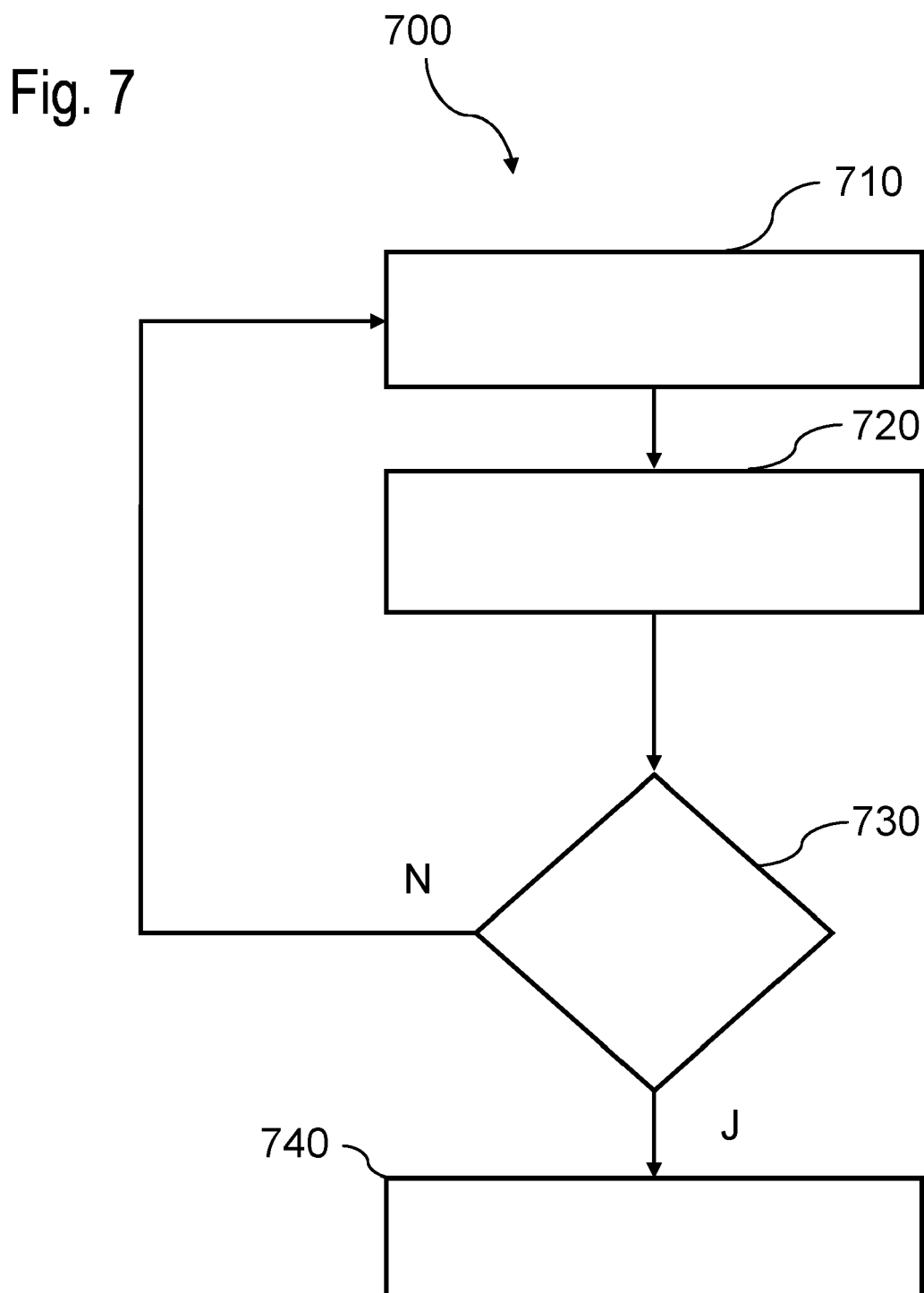


Fig. 5

Fig. 6







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 21 3776

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 832 141 A1 (PFEIFFER VACUUM TECH AG [DE]) 9. Juni 2021 (2021-06-09) * Absätze [0001], [0012], [0013], [0016] - [0019], [0023], [0026] - [0028], [0032], [0097], [0099] * * Absätze [0101], [0106], [0108], [0110], [0118], [0125], [0130], [0147] * -----	1-15	INV. F04D19/04 F04D27/00 F04D27/02
X	US 2019/383300 A1 (MANABE MASASHI [JP] ET AL) 19. Dezember 2019 (2019-12-19) * Absätze [0005], [0009], [0010], [0074], [0076], [0080] - [0083], [0085] * -----	1-15	
X	EP 3 456 979 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 20. März 2019 (2019-03-20) * Absätze [0001], [0005], [0007], [0010] - [0012], [0015] - [0018], [0033], [0062], [0064], [0068], [0069], [0073], [0074] * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04B F04C F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 12. Januar 2023	Prüfer De Tobel, David
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 : nichtschriftliche 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			

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

EP 22 21 3776

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

12-01-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 3832141	A1	09-06-2021	EP	3832141 A1	09-06-2021
				JP	2022075494 A	18-05-2022
15	US 2019383300	A1	19-12-2019	CN	110608178 A	24-12-2019
				JP	2019214992 A	19-12-2019
				US	2019383300 A1	19-12-2019
20	EP 3456979	A1	20-03-2019	EP	3456979 A1	20-03-2019
				JP	2019052635 A	04-04-2019
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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