



(11) **EP 4 048 891 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04B 9/04 ^(2006.01) **F04B 35/01** ^(2006.01)
F04B 39/00 ^(2006.01) **F04B 39/12** ^(2006.01)
F04B 39/04 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20807665.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04B 35/01; F04B 39/0005; F04B 39/041;
F04B 39/121

(22) Anmeldetag: **21.10.2020**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2020/079589

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2021/078781 (29.04.2021 Gazette 2021/17)

(54) **KOLBENVERDICHTER UND VERFAHREN ZUM BETRIEB DESSELBEN**

PISTON COMPRESSOR AND METHOD FOR OPERATING THE SAME

COMPRESSEURS À PISTON ET PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT D'UN TEL COMPRESSEURS À PISTON

(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

(72) Erfinder: **VOSER, Alexandre**
8352 Elsau (CH)

(30) Priorität: **21.10.2019 EP 19204408**

(74) Vertreter: **Hepp Wenger Ryffel AG**
Friedtalweg 5
9500 Wil (CH)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.08.2022 Patentblatt 2022/35

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2006/042866 DE-A1- 3 805 670
FR-A1- 2 754 570 US-A- 4 889 039

(73) Patentinhaber: **Burckhardt Compression AG**
8404 Winterthur (CH)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 4 048 891 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kolbenverdichter sowie ein Verfahren zum Betrieb desselben.

Stand der Technik

[0002] Das Dokument WO2014/139565A1 offenbart einen Kolbenverdichter mit einem horizontal verlaufenden Zylinder in welchem ein in horizontaler Richtung hin und her beweglicher Kolben angeordnet ist. Dieser Kolbenverdichter weist den Nachteil auf, dass die am Kolben angeordneten Führungsringe und/oder Dichtringe einem relativ grossen Verschleiss unterliegen, und dass der Kolbenverdichter nur mit relativ geringer Drehzahl betreibbar ist. Das Dokument DE3805670A1 offenbart einen Kolbenverdichter mit vertikal verlaufendem Zylinder, wobei der Kolben als ein Labyrinthkolben oder als ein mit gefangenen Kolbenringen versehener Kolben ausgestaltet sein kann. Auch dieser Kolbenverdichter weist den Nachteil auf, dass ein Verschleiss auftreten kann. Das Dokument US 4889039 offenbart einen Kolbenverdichter nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0003] Das Dokument WO 2006/042866 A1 offenbart eine trockenlaufende Kolbenstangendichtungsanordnung zum Abdichten einer Kolbenstange mit einem innerhalb eines Kammerrings angeordneten Dichtrings. Das Dokument FR-2 754 570 A1 offenbart einen Kolbenverdichter mit einem nichtmagnetischen Kolben, auf welchen während des Hubs durch Permanentmagnete und Stabmagnete eine radiale Abstoßungskraft ausgeübt wird.

Darstellung der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es einen vorteilhafteren Kolbenverdichter auszubilden, der vorzugsweise einen in horizontaler oder vertikaler Richtung beweglichen Kolben aufweist.

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst mit einem Kolbenverdichtung aufweisend die Merkmale von Anspruch 1. Die abhängigen Vorrichtungsansprüche betreffen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen. Die Aufgabe wird weiter gelöst mit einem Verfahren aufweisend die Merkmale von Anspruch 6. Die abhängigen Verfahrensansprüche betreffen weitere vorteilhafte Verfahrensschritte.

[0006] Die Aufgabe wird insbesondere gelöst mit einem Kolbenverdichter zum Verdichten eines Gases, umfassend einen Zylinder, einen Kolben, eine Kolbenstange, eine Packungsdichtung, einen Kreuzkopf, ein Magnetlager sowie einen Antrieb, wobei der Kolben in einer Längsrichtung beweglich innerhalb des Zylinders angeordnet ist, wobei der Kolben über die Kolbenstange mit dem Kreuzkopf verbunden ist, wobei zwischen dem Kolben und dem Kreuzkopf die Packungsdichtung angeordnet ist, durch welche die Kolbenstange verläuft, wobei der Kreuzkopf durch den Antrieb angetrieben ist, wobei zwischen dem Kolben und dem Kreuzkopf das Magnet-

lager angeordnet ist, wobei das Magnetlager zumindest senkrecht zur Längsrichtung eine magnetische Kraft auf die Kolbenstange bewirken kann, und wobei der Kolben eine Mehrzahl von Dichtungsringen umfasst, wobei ein Sensor angeordnet ist zum Erfassen einer Zustandsgrösse des Kolbenverdichters, dass das Magnetlager als ansteuerbares Magnetlager ausgestaltet ist, und dass eine Ansteuervorrichtung die vom Magnetlager auf die Kolbenstange bewirkte magnetische Kraft in Abhängigkeit der Zustandsgrösse ansteuert, und dass der Sensor ausgestaltet ist zum Erfassen zumindest einer der nachfolgenden Grössen als Zustandsgrösse (Z): Verschiebeweg des Kolbens im Zylinder, Verschiebeweg der Kolbenstange in Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Verschiebeweg der Kolbenstange senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Bewegung des Kolbens senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Drehwinkel der Antriebswelle, und die Packungsdichtung in Längsrichtung nacheinander folgend angeordnet zumindest ein Befestigungsteil, das Magnetlager, sowie zumindest einen Kammerring mit darin angeordnetem Dichtungsring umfasst, und die Packungsdichtung zumindest zwei Notlager umfasst, welche in Längsrichtung (L) gegenseitig beabstandet angeordnet sind. Der Zylinder verläuft besonders bevorzugt im Wesentlichen in horizontaler Richtung.

[0007] Die Aufgabe wird zudem insbesondere gelöst mit einem Verfahren zum Betrieb eines Kolbenverdichters umfassend einen Zylinder, einen Kolben, eine Kolbenstange, eine Packungsdichtung, einen Kreuzkopf, ein Magnetlager sowie einen Antrieb, wobei der Kolben eine Mehrzahl von Dichtungsringen umfasst, wobei die Packungsdichtung in Längsrichtung (L) nacheinander folgend angeordnet zumindest ein Befestigungsteil, das Magnetlager, sowie zumindest einen Kammerring mit darin angeordnetem Dichtungsring umfasst, und die Packungsdichtung zumindest zwei Notlager umfasst, welche in Längsrichtung (L) gegenseitig beabstandet angeordnet sind, wobei der Kolben in einer Längsrichtung innerhalb eines Zylinders hin und her bewegt wird, wobei der Kolben über den Kreuzkopf und die Kolbenstange angetrieben wird, und wobei durch das Magnetlager eine zumindest senkrecht zur Längsrichtung wirkende, magnetische Kraft auf die Kolbenstange ausgeübt wird, wobei eine der nachfolgenden Grössen als Zustandsgrösse des Kolbenverdichters erfasst wird: Verschiebeweg des Kolbens im Zylinder, Verschiebeweg der Kolbenstange in Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Bewegung des Kolbens senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Drehwinkel der Antriebswelle, und dass die magnetische Kraft in Abhängigkeit der Zustandsgrösse angesteuert wird, und dass dadurch über die Kolbenstange eine Entlastungskraft auf den Kolben bewirkt wird. Besonders bevorzugt verläuft die Längsrichtung im Wesentlichen in horizontaler Richtung.

[0008] Der erfindungsgemässe Kolbenverdichter zum Verdichten eines Gases umfasst ein ansteuerbares Magnetlager, welches zwischen einem Kolben und einem

Kreuzkopf des Kolbenverdichters angeordnet ist, wobei eine Kolbenstange den Kolben mit dem Kreuzkopf verbindet, wobei die Kolbenstange durch das magnetische Magnetlager verläuft, und wobei das Magnetlager zumindest senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange eine ansteuerbare, magnetische Anziehungskraft auf die Kolbenstange ausübt. Der erfindungsgemässe Kolbenverdichter umfasst zudem zumindest einen Sensor sowie eine Ansteuervorrichtung, wobei die Ansteuervorrichtung ausgestaltet ist um im ansteuerbaren Magnetlager angeordnete Elektromagnete mit elektrischem Strom bzw. elektrischer Leistung zu versorgen, wobei die Ansteuervorrichtung den zugeführten Strom bzw. die zugeführte Leistung in Abhängigkeit des vom Sensor gemessenen Wertes moduliert bzw. verändert, um die Lage des Kolbens bezüglich des Zylinders zu beeinflussen, sodass der Kolben innerhalb des Zylinders zumindest zeitweise eine vorteilhafte Lage aufweist. Das ansteuerbare Magnetlager ist vorzugsweise als Radiallager ausgestaltet, umfassend eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordnete, von der Ansteuervorrichtung ansteuerbare Elektromagnete. Das Magnetlager könnte jedoch auch derart ausgestaltet sein, dass die Magnetkraft nur in einer Richtung bzw. in einer Dimension wirkt, beispielsweise indem zwei ansteuerbare Elektromagnete bezüglich der Kolbenstange gegenüberliegend bzw. symmetrisch angeordnet sind, sodass eine von diesen Elektromagneten auf die Kolbenstange bewirkte Magnetkraft nur in einer Dimension wirkt.

[0009] Der Kolbenverdichter umfasst zumindest einen Zylinder sowie jeweils einen innerhalb des Zylinders hin- und her beweglich angeordneten Kolben, wobei der Zylinderinnenraum und somit auch die Bewegung des Kolbens in einer bevorzugten Ausgestaltung in horizontaler Richtung oder im Wesentlichen in horizontaler Richtung verläuft, wobei ein derartiger Kolbenverdichter auch als horizontaler Kolbenverdichter bezeichnet wird. Das Magnetlager übt zumindest senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange eine ansteuerbare, magnetische Anziehungskraft auf die Kolbenstange aus, und bewirkt somit vorzugsweise eine vertikal nach oben gerichtete Kraft auf die Kolbenstange, vorzugsweise in einer zur Schwerkraft entgegengesetzten Richtung.

[0010] In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst der in horizontaler Richtung bewegliche Kolben einen sogenannten Führungsring, welcher an der Innenoberfläche des Zylinders aufliegt. Die vom Magnetlager zumindest in vertikaler Richtung auf die Kolbenstange ausgeübte Anziehungskraft und/oder die auf die Kolbenstange ausgeübte Abstossungskraft hat zur Folge, dass die Auflagekraft eines an der Innenoberfläche des Zylinders abgestützten Kolbens reduziert wird, oder dass der Kolben bzw. der Führungsring die Innenoberfläche des Zylinders nicht mehr berührt, sodass der Kolben bzw. der Führungsring des Kolbens entweder nur mit reduzierter Auflagekraft an der Innenoberfläche des Zylinders aufliegt, und besonders vorteilhaft sich ohne eine Berührung der Innenoberfläche des Zylinders innerhalb des Zylinders

hin und her bewegt. Falls ein Kolben einen Führungsring aufweist, so ergibt sich aus der Verwendung des Magnetlagers der Vorteil, dass die Auflagekraft des Führungsringes an der Innenoberfläche und dadurch der Verschleiss des Führungsringes reduziert wird, sodass der Führungsring eine höhere Standzeit bzw. eine höhere Lebensdauer aufweist, bis dieser zu ersetzen ist. Zudem ergibt sich der Vorteil, dass der Kolbenverdichter, falls erwünscht, mit einer höheren Drehzahl betreibbar ist, wobei dabei vorzugsweise kein erhöhter Verschleiss oder keine erhöhte Erwärmung auftritt. Besonders vorteilhaft ist der Kolben des erfindungsgemässen Kolbenverdichters als ein Labyrinthkolben ausgestaltet, wobei ein solcher Labyrinthkolben, wie an sich bekannt, an dessen Oberfläche eine Labyrinthstruktur aufweist, welche zur Abdichtung zwischen Kolben und Innenoberfläche des Zylinders dient. Die vom Magnetlager auf die Kolbenstange bewirkte Anziehungskraft wird dabei vorzugsweise derart angesteuert, dass der sich hin und her bewegende Kolben entlang des gesamten Hubweges die Innenoberfläche des Zylinders nicht berührt. Der erfindungsgemässe Kolbenverdichter ist jedoch auch für Kolben mit Kolbenringen und gegebenenfalls zusätzlich aufweisend Führungsringe geeignet.

[0011] In einer weiteren, bevorzugten Ausgestaltung verläuft der Zylinderinnenraum und somit auch die Bewegung des Kolbens in vertikaler Richtung oder im Wesentlichen in vertikaler Richtung. Das Magnetlager übt zumindest senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange eine ansteuerbare, magnetische Anziehungskraft auf die Kolbenstange aus, und bewirkt somit eine radial oder im Wesentlichen radial zur Kolbenstange verlaufende Kraft auf die Kolbenstange und den Kolben aus. Die vom Magnetlager zumindest in radialer Richtung auf die Kolbenstange ausgeübte Anziehungskraft und/oder die auf die Kolbenstange ausgeübte Abstossungskraft hat zur Folge, dass die Anlagekraft eines an der Innenoberfläche des Zylinders anliegenden Kolbenrings, und insbesondere eine einseitig Anlagekraft, reduziert wird, oder dass der Kolben bzw. dessen Kolbenring, und insbesondere ein als Labyrinthkolben ausgestalteter Kolben, die Innenoberfläche des Zylinders nicht mehr berührt, sodass der Kolben bzw. der Kolbenring entweder nur mit reduzierter Anlagekraft an der Innenoberfläche des Zylinders anliegt, und besonders vorteilhaft der Labyrinthkolben sich ohne eine Berührung der Innenoberfläche des Zylinders innerhalb des Zylinders hin und her bewegt. Die Verwendung des Magnetlagers ergibt den Vorteil, dass ein Verschleiss des Kolbenrings reduziert wird, sodass der Kolbenkompressor eine höhere Standzeit bzw. eine höhere Lebensdauer aufweist, bis dieser zu warten ist. Zudem besteht die Option den Kolbenverdichter mit einer höheren Drehzahl zu betreiben. Sofern der Kolbenkompressor einen Labyrinthkolben aufweist, so ergibt die Verwendung des Magnetlagers den Vorteil, dass eine Berührung zwischen Labyrinthkolben und Innenoberfläche des Zylinders noch besser vermieden werden kann, da eine allenfalls exzentrische Anordnung

des Labyrinthkolbens bezüglich dem Innenraum des Zylinders mit Hilfe des Magnetlagers zumindest teilweise korrigiert werden kann, sodass keine gegenseitige Berührung auftritt. Die Verwendung des Magnetlagers ergibt den zusätzlichen Vorteil, dass der Kolbenkompressor auch mit einer reduzierten Spaltbreite zwischen Labyrinthkolbenaussenfläche und der Innenoberfläche des Zylinders sicher betreibbar ist, ohne dass eine gegenseitige Berührung auftritt. Diese reduzierte Spaltbreite erhöht den Wirkungsgrad des Kolbenkompressors bzw. reduziert den Verlust während der Kompression.

[0012] In einer weiteren, bevorzugten Ausgestaltung weist der Kolbenkompressor zumindest einen Kolben und einen Zylinder auf, und vorzugsweise eine Mehrzahl von Kolben und Zylindern, welche vorzugsweise auf einem gemeinsamen Gestell angeordnet sind, und welche vorzugsweise von einem gemeinsamen Kurbelwelle angetrieben werden. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist ein solcher Kolbenkompressor auf einem Schiff angeordnet, wobei der Zylinder, der Zylinderinnenraum und somit auch die Bewegung des Kolbens bei ruhiger See in vertikaler Richtung oder im Wesentlichen in vertikaler Richtung verlaufen. Eine unruhige oder stürmische See hat zur Folge, dass das Schiff mit zunehmender Wellenhöhe eine zunehmende Roll- oder Stampfbewegung ausführt, was zur Folge hat, dass der gesamte Kolbenkompressor und somit insbesondere auch die Längsrichtung der Kolbenstange eine abhängig vom Wellengang in Funktion der Zeit variable, von der Vertikalen um einen Winkel β abweichenden Verlauf aufweist. In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird der Winkel β , und vorzugsweise der Winkel β in Funktion der Zeit, als zusätzliche Zustandsgrösse gemessen.

[0013] Auf einem Schiff wird ein mehrstufiger Kolbenkompressor zum Beispiel zum Verdichten von sich in einem Flüssiggasbehälter ansammelnden Abdampfgas auf einen Druck von 200 bis 500 Bar verwendet, um mit dem komprimierten Gas einen Gasmotor bzw. einen Dieselmotor des Schiffes mit Brennstoff zu versorgen. Ein auf einem Schiff angeordneter Kolbenkompressor wird vorzugsweise derart betrieben, dass die vom Magnetlager zumindest in radialer Richtung auf die Kolbenstange ausgeübte Kraft derart in Funktion der Zustandsgrösse und der zusätzlichen Zustandsgrösse angesteuert wird, dass die Anlagekraft eines an der Innenoberfläche des Zylinders anliegenden Kolbenrings, und insbesondere eine einseitig Anlagekraft, reduziert wird, oder dass der Kolben bzw. dessen Kolbenring, und insbesondere ein als Labyrinthkolben ausgestalteter Kolben, die Innenoberfläche des Zylinders nicht mehr berührt, sodass auf einem Schiff auch bei Wellengang gewährleistet ist, dass der/die Kolben bzw. der/die Kolbenringe des Kolbenkompressors entweder nur mit reduzierter Anlagekraft an der Innenoberfläche des Zylinders anliegt, und besonders vorteilhaft der/die Labyrinthkolben sich ohne eine Berührung der Innenoberfläche des Zylinders innerhalb des Zylinders hin und her bewegen. Die Verwendung des Magnetlagers ergibt den Vorteil, dass auch bei Wellen-

gang ein Verschleiss des Kolbenrings reduziert wird, bzw. dass eine Berührung der Labyrinthstruktur des Labyrinthkolbens mit der Innenwand des Zylinders vermieden wird, insbesondere auch bei geringer Spaltbreite zwischen Kolbenaussendurchmessern und Zylinderinnenwand, sodass ein auf einem Schiff angeordneter Kolbenkompressor eine höhere Standzeit bzw. eine höhere Lebensdauer aufweist, bis dieser zu warten ist. Das Magnetlager wird vorzugsweise derart angesteuert, dass das Magnetlager radial zur Längsachse der Kolbenstange eine dämpfende Wirkung auf die Kolbenstange ausübt, um eine Bewegung der Kolbenstange und des Kolbens in zur Längsachse radialen Richtung zu dämpfen, um beispielsweise die maximale Amplitude auftretender Resonanzschwingungen oder anderer Querschwingungen des Kolbens, beispielsweise verursacht durch Wellengang, zu reduzieren.

[0014] Da die Wellenbewegung beziehungsweise die gemessene und daraus abgeleitete zusätzliche Zustandsgrösse im Vergleich zur Drehzahl des Kolbenkompressors einen relativ langsam ablaufenden Prozess darstellt, und die Periodendauer einer Wellenbewegung des Wassers im Vergleich zur Periodendauer einer Umdrehung des Kolbenkompressors um einen Faktor 10 bis 1000 langsam ist, ist es möglich eine kurzfristige Veränderung der zusätzlichen Zustandsgrösse vorauszuberechnen, und diesen Wert in die Ansteuerung des Magnetlagers einfließen zu lassen, indem das Magnetlager mit einer vorausschauenden Steuerung angesteuert wird, welche die auf Grund des Wellengangs zu erwartende Bewegung des Kolbenkompressors beispielweise für einen Zeitpunkt, der beispielsweise im Bereich zwischen 1 bis 50 Sekunden liegen kann, voraussagt, und das Magnetlager entsprechend ansteuert, sodass bei der Beeinflussung bzw. Ansteuerung der Lage der Kolbenstange bzw. des Kolbens die zu erwartende, durch den Wellengang verursachte Bewegung des Kolbenkompressors mit berücksichtigt wird.

[0015] Der erfindungsgemässe Kolbenverdichteter weist zudem den Vorteil auf, dass dieser mit einer höheren Drehungszahl beziehungsweise mit einer höheren mittleren Kolbengeschwindigkeit betreibbar ist, da der Kolben bzw. der Führungsring die Zylinderinnenwand entweder gar nicht mehr berührt, oder nur noch mit reduzierter Auflagekraft an der Zylinderinnenwand anliegt. Ein derartiger Betrieb mit höherer Umdrehungszahl ist insbesondere vorteilhaft bei einem Kolbenkompressor mit einem sogenannten trocken laufenden Kolben, das heisst einem Labyrinthkolben, oder einem Kolben mit selbstschmierenden Dichtungsringen, das heisst einem Kolben, dessen Kolben- bzw. Dichtungsringe nicht ölschmiert sind, was auch als ein ungeschmierter Kolben bezeichnet wird. Das ansteuerbare Magnetlager kann entweder als tragendes Lager verwendet werden, durch welches der Kolben ohne eine Berührung der Innenoberfläche des Zylinders gehalten wird, oder es kann als Entlastungslager verwendet werden, durch welches die vom Kolben auf die Innenoberfläche des Zylinders be-

wirkte Kraft reduziert wird, wobei der Kolben in diesem Fall die Innenwand berührt. Das ansteuerbare Magnetlager kann auch eine zentrierende Funktion bei einem im Wesentlichen vertikal verlaufenden Kolben übernehmen, durch welche der Kolben zentriert, und vorzugsweise ohne eine Berührung der Innenoberfläche des Zylinders gehalten wird.

[0016] Das Magnetlager ist in einem Ausführungsbeispiel an einer vorgegebenen Stelle im horizontalen Kolbenverdichter angeordnet, wogegen sich die Lage des Schwerpunkts des Kolbens durch die Hin- und Herbewegung während des Betriebs ständig verändert, sodass sich während des Betriebs die Länge des durch die Kolbenstange zwischen dem magnetischen Magnetlager und dem Schwerpunkt des Kolbens gebildeten Hebelarms ständig verändert. Eine zur Stromversorgung des Magnetlagers vorgesehene Ansteuervorrichtung ist daher vorteilhafterweise derart ausgestaltet, dass die vom magnetischen Magnetlager auf die Kolbenstange bewirkte magnetische Kraft in Abhängigkeit der Stellung des Kolbens beziehungsweise in Abhängigkeit der Länge des vorhin genannten Hebelarms angesteuert verändert wird. Vorteilhafterweise wird zumindest eine in vertikaler Richtung wirkende Kraft auf die Kolbenstange ausgeübt. Besonders vorteilhaft ist das Magnetlager als Radiallager ausgestaltet, das, senkrecht zur Längsrichtung der Kolbenstange, eine in zwei Dimensionen ansteuerbare Kraft auf die Kolbenstange ausüben kann, vorzugsweise eine Kraft in vertikaler Richtung und eine Kraft in horizontaler Richtung. Vorteilhafterweise wird ein solches Radiallager derart angesteuert, dass der Kolben während dem Betrieb in jeder seiner möglichen Stellungen die Innenoberfläche des Zylinders nicht berührt, weder eine untere noch eine obere noch eine seitliche Innenfläche des Zylinders.

[0017] Das Magnetlager wird in Abhängigkeit einer gemessenen Zustandsgrösse angesteuert, insbesondere wenn der Kolben während dem Betrieb die Innenoberfläche des Zylinders nicht berührt soll, wobei die Zustandsgrösse zumindest eine der nachfolgenden Grössen umfasst: Verschiebeweg des Kolbens im Zylinder, Verschiebeweg der Kolbenstange in Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Verschiebeweg der Kolbenstange senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, sowie Drehwinkel der Antriebswelle. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist als Zustandsgrösse der Abstand der Kolbenstange bezüglich dem Magnetlager geeignet, zumindest in vertikaler Richtung, und insbesondere die Spaltbreite im Magnetlager zwischen Kolbenstange und Magnetlager.

[0018] Der Sensor zum Erfassen der Zustandsgrösse ist vorteilhafterweise zum Erfassen zumindest einer der nachfolgenden Grössen ausgestaltet: Neigungswinkel β der Längsrichtung gegenüber der Vertikalen, Neigungswinkel β in Funktion der Zeit, Spaltbreite zwischen Zylinderinnenfläche und Kolbenseitenfläche, Ort einer gegenseitigen Berührungsstelle von Kolben und Zylinder.

[0019] Ein Kolbenkompressor umfasst eine Pa-

ckungsdichtung mit Dichtungsringen, wobei die Kolbenstange durch diese Packungsdichtung bzw. deren Dichtungsringe verläuft, um den Zylinderinnenraum gegen Aussen abzudichten. Erfindungsgemäss ist in der Packungsdichtung nebst den Dichtungsringen zudem noch das Magnetlager angeordnet. Eine solche, modifizierte Packungsdichtung umfassend das Magnetlager ist besonders vorteilhaft als ein Austauschteil ausgestaltet. Besonders vorteilhaft weist eine solche modifizierte Packungsdichtung dieselbe Masse auf wie bisher bekannte Packungsdichtungen ohne Magnetlager, sodass die modifizierte Packungsdichtung umfassend das Magnetlager zum Einbau in bestehende Kolbenkompressoren verwendet werden kann, um diese nachzurüsten und qualitativ zu verbessern.

[0020] In einer weiteren, vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die modifizierte Packungsdichtung zudem noch Kühlkanäle. Bei einer im Kolbenkompressor montierten, modifizierten Packungsdichtung sind diese Kühlkanäle mit einem Kühlkreislauf verbunden, um das magnetische Magnetlager und/oder die Packungsdichtung zu kühlen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0021] Die zur Erläuterung der Ausführungsbeispiele verwendeten Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 einen schematisch vereinfachten Längsschnitt durch einen Kolbenverdichter;
- Fig. 2 schematisch eine Regelungsvorrichtung;
- Fig. 3 ein beispielhafter Verlauf der magnetischen Kraft in Funktion einer Zustandsgrösse, nämlich des Drehwinkels einer Antriebswelle;
- Fig. 4 einen Längsschnitt durch eine bekannte Packungsdichtung;
- Fig. 5 einen Längsschnitt durch eine Packungsdichtung gemäss der Erfindung;
- Fig. 6 ein radiales Magnetlager;
- Fig. 7 ein geneigt angeordneter Kolbenverdichter, beispielsweise auf einem Schiff mit Wellengang.

[0022] Grundsätzlich sind in den Zeichnungen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0023] Fig. 1 zeigt einen Kolbenverdichter 1 zum Verdichten eines Gases, umfassend einen in horizontaler Richtung verlaufenden Zylinder 2 sowie umfassend einen innerhalb des Zylinders 2 in Verlaufsrichtung des Zylinders 2 bzw. in Längsrichtung L beweglichen Kolben 3. Der Kolbenverdichter 1 umfasst zudem eine Kolbenstange 16, eine Packungsdichtung 12, ein Magnetlager 13, einen Kreuzkopf 17 mit einer Linearführung 18, eine Schubstange 19 sowie einen Antrieb, beispielsweise eine Kurbel 20 mit einer Antriebswelle 21. Der Kolben 3 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel doppelwirkend

ausgestaltet und umfasst Dichtungs- bzw. Kolbenringe 4 sowie einen Führungsring 5, wobei der Kolben 3 den Innenraum des Zylinders 2 in einen ersten Innenraum 6 sowie einen zweiten Innenraum 7 unterteilt, wobei diese beiden Innenräume je ein Eingangsventil 8, 9 sowie je ein Ausgangsventil 10, 11 aufweisen. Der Zylinder 2 ist über ein Zwischenstück 14 mit einem Gehäuse 15 verbunden, wobei in Zwischenstück zudem die Packungsdichtung 12 und das Magnetlager 13 angeordnet sind. Das Magnetlager 13 bewirkt zumindest in vertikaler Richtung eine magnetische Kraft F_m auf die Kolbenstange 16. Eine Ansteuervorrichtung 22 erfasst über eine Signalleitung 24 und einen nicht dargestellten Sensor eine Zustandsgrösse Z des Kolbenkompressors 1, beispielsweise den Verschiebeweg $s(t)$ des Kolbens im Zylinder 7 in Funktion der Zeit, den Verschiebeweg $s(t)$ der Kolbenstange 16 und/oder einen Drehwinkel $\alpha(t)$ der Antriebswelle 21 in Funktion der Zeit. Die Ansteuervorrichtung 22 steuert den Strom in den Elektromagneten des Magnetlagers 13 und dadurch die von den Magneten auf die Kolbenstange 16 bewirkte magnetische Kraft über eine Signalleitung 25 an.

[0024] Die Ansteuervorrichtung 22 kann in einer einfachen Ausführungsform in einem Ansteuermodus betrieben werden, bei welchem eine Zustandsgrösse Z gemessen wird, und die magnetische Kraft F_m in Funktion der Zustandsgrösse Z verändert wird. Dabei kann auf eine Rückkoppelung verzichtet werden. Figur 3 zeigt beispielhaft einen derartigen Ansteuermodus, bei welchem der Verlauf einer Kurve $K1$ vorgegeben wird, wobei die Kurve $K1$ den Zusammenhang der Zustandsgrösse Z , im vorliegenden Fall der Drehwinkel α der Antriebswelle 21, sowie die in Funktion des Drehwinkels α zu erzeugende magnetische Kraft F_m vorgibt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht der Winkel $\alpha=0^\circ$ dem unteren Totpunkt und $\alpha=180^\circ$ dem oberen Totpunkt des Kolbens 3 bezüglich dem zweiten Innenraum 7, wobei die magnetische Kraft F_m am unteren Totpunkt am kleinsten ist, weil der durch die Kolbenstange 16 zwischen dem Schwerpunkt S des Kolbens 3 und dem Magnetlager 13 gebildete Hebelarm am kürzesten ist, und wobei die magnetische Kraft F_m am oberen Totpunkt am grössten ist, weil der durch die Kolbenstange 16 zwischen dem Schwerpunkt S des Kolbens 3 und dem Magnetlager 13 gebildete Hebelarm am längsten ist. Der Drehwinkels α wird mit einem nicht dargestellten Sensor gemessen und über die Signalleitung 24 der Ansteuervorrichtung 22 zugeführt. Der Kurvenverlauf $K1$ kann beispielsweise auf Grund von Erfahrungswerten vorgegeben werden. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, wenn, wie in Figur 1 dargestellt, ein Kolben 3 aufweisend einen Führungsring 5 verwendet wird, wobei der Führungsring 5 an der Innenoberfläche des Zylinders 2 anliegt, und wobei die magnetische Kraft F_m dazu dient die Auflagekraft des Führungsring 5 an der Innenoberfläche des Zylinders 2 zu reduzieren, um dadurch insbesondere einen Verschleiss des Führungsring 5 zu reduzieren. Die in Figur 3 dargestellte Kurve $K1$ zeigt nur

den Verlauf der magnetischen Kraft F_m in Funktion des Kurbelwellenwinkels α zwischen 0° und 180° . Im nachfolgenden, nicht dargestellten Abschnitt zwischen 180° und 360° , verläuft die Kraft F_m , ausgehend vom Wert bei 180° , in umgekehrter Richtung bis zum Wert von F_m beim Winkel von 0° , wobei dieser Wert identisch zum Wert beim Winkel von 360° .

[0025] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist eine Messvorrichtung, beispielsweise ein Sensor 26 vorgesehen, um die Lage der Kolbenstange 16 und/oder des Kolbens 3 zumindest in vertikaler Richtung zu messen. Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel, welches die Lage der Kolbenstange 16 in vertikaler Richtung misst. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist der Sensor 26 nahe dem Magnetlager 13 oder sogar innerhalb des Magnetlagers 13 angeordnet, wobei der Sensor 26 vorteilhafterweise die Distanz D zwischen einem oberen Spulenkern 13a des Magnetlagers 13 und der Oberfläche der Kolbenstange 16 misst. Das Magnetlager 13 umfasst vorteilhafterweise zumindest einen oberen Spulenkern 13a mit Spule 13b sowie einen unteren Spulenkern 13c mit Spule 13d. Das Magnetlager 13 kann, wie in Figur 6 dargestellt, auch als radiales Magnetlager ausgestaltet sein, mit einer Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Elektromagneten, wobei deren Spulen 13b, 13d vorzugsweise einzeln ansteuerbar sind, sodass durch eine entsprechende Ansteuerung der Spulen 13b, 13d die Richtung der auf die Kolbenstange 16 bewirkte magnetische Kraft F_m bestimmt werden kann.

[0026] In einem vorteilhaften Betriebsverfahren wird der Ansteuervorrichtung 22 über die Sollwertvorgabe 28 ein Sollwert für die Distanz D vorgegeben, wobei die Ansteuervorrichtung 22 die Spulen 13b, 13d derart über die Signalleitung 25 mit Strom ansteuert, der die Kolbenstange 16 unabhängig von Hub $s(t)$ bzw. vom Kurbelwellenwinkel $\alpha(t)$ eine im Wesentliche gleichbleibende, konstante Distanz D bezüglich dem oberen Spulenkern 13a aufweist. Die Kolbenstange 16 wirkt dabei als magnetischer Anker der beiden Spulenkern 13a, 13b. Vorzugsweise kann das Magnetlager 13 sowohl eine nach oben gerichtete Kraft als auch eine nach unten gerichtete magnetische Anziehungskraft auf die Kolbenstange 16 bewirken, sodass die Lage der Kolbenstange 16 relativ zum Magnetlager 13 besonders präzise ansteuerbar ist.

[0027] Der Kolbenverdichters 1 wird somit vorteilhafterweise derart betrieben, dass eine ansteuerbare magnetische Kraft F_m auf die Kolbenstange 16 ausgeübt wird, sodass über die Kolbenstange 16 eine zumindest in vertikaler Richtung wirkende Kraft F_m , bzw. eine Entlastungskraft F_h , auf den Kolben 3 bewirkt wird auf den Kolben 3 bewirkt wird, welcher der Schwerkraft F entgegenwirkt, wobei die magnetische Kraft F_m abhängig von einer Zustandsgrösse Z wie beispielsweise der Distanz D , dem Hub $s(t)$ oder dem Drehwinkel $\alpha(t)$ angesteuert bzw. verändert wird. Die in den Figuren 1 bis 3 beschriebene Anordnung sowie das beschriebene Verfahren ist auch zum Betrieb bzw. zur Ansteuerung eines Kolbenverdichters mit einem in vertikaler Richtung verlaufenden Zylinder

und in vertikaler Richtung beweglichem Kolben geeignet.

[0028] Figur 7 zeigt den in Figur 1 dargestellten Kolbenverdichter 1 mit einem im Wesentlichen in vertikaler Richtung verlaufenden Zylinder 2 bzw. Zylinderinnenraum, mit einer im Wesentlichen in vertikaler Richtung verlaufenden Kolbenstange 16, sowie mit einem in dieser Richtung beweglichen Kolben 3. In Figur 7 ist der Kolbenverdichter 1 auf einem Schiff mit einer Krängung mit Krängungswinkel angeordnet, weshalb der Zylinder 2 und die Kolbenstange 16 gegenüber der Vertikalen V einen Neigungswinkel β aufweisen. Der Kolbenverdichter 1 ist vorzugsweise derart im Schiff angeordnet, dass der Zylinder 2 und die Kolbenstange 16 bei absolut ruhiger See genau in vertikaler Richtung oder zumindest annähernd in vertikaler Richtung verlaufen. Der Kolbenverdichter 1 könnte natürlich auch auf dem Land angeordnet sein, und der Zylinder 2 und die Kolbenstange 16 vorzugsweise genau in vertikaler Richtung oder zumindest annähernd in vertikaler Richtung verlaufen. Vorzugsweise wird der Neigungswinkel β bezüglich der Vertikalen V mit einem nicht dargestellten Sensor 26 gemessen, wobei der Neigungswinkel β vorzugsweise in Funktion der Zeit t gemessen wird. Das Magnetlager 13 wird über die Ansteuervorrichtung 22 derart angesteuert, dass auf die Kolbenstange 16 eine magnetische Kraft F_m bewirkt wird, und dass die Kolbenstange 16 eine Entlastungskraft F_n auf den Kolben 3 überträgt, sodass, bedingt durch die einwirkende Entlastungskraft F_n , die Lage des Kolbens 3 innerhalb des Zylinders 2, sofern möglich, beeinflusst wird.

[0029] Als Zustandsgrösse Z zur Ansteuerung des Magnetlagers 13, ist, nebst oder anstelle der bereits erwähnten Zustandsgrössen Z , zumindest eine der nachfolgenden Grössen geeignet: Neigungswinkel β des Zylinders gegenüber der Vertikalen V, Spaltbreite zwischen Zylinderinnenfläche und Kolbenseitenfläche, Ort einer gegenseitigen Berührungsstelle von Kolben und Zylinder.

[0030] Vorteilhafterweise wird das Magnetlager 13 derart angesteuert, dass der gegenseitige Abstand von Kolbenstange 16 und Magnetlager 13 und/oder der Abstand von Zylinderinnenfläche und Kolbenseitenfläche, senkrecht zur Längsrichtung L, konstant oder im Wesentlichen konstant gehalten wird. Vorzugsweise wird der Kolben 3 ohne Wandberührung im Zylinder 7 gehalten. Vorzugsweise wird als Zustandsgrösse Z zudem der zwischen der Vertikalen V und der Längsrichtung L eingenommene Neigungswinkel $\beta(t)$ in Funktion der Zeit t gemessen. Besonders vorteilhaft wird bei einem auf einem Schiff angeordneten Kolbenverdichter die magnetische Kraft F_m mittels einer vorausschauenden Steuerung angesteuert. Vorteilhafterweise umfasst die Zustandsgrösse Z den Neigungswinkel $\beta(t)$ in Funktion der Zeit t , sodass die Zustandsgrösse Z von der Zeit t abhängig ist. In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die Zustandsgrösse Z nebst dem Neigungswinkel $\beta(t)$ in Funktion der Zeit t zumindest noch eine weitere, hierin genannte Zustandsgrösse, sodass eine derartige, resultierende Zustandsgrösse aus einer Kombination von zu-

mindest zwei hierin genannten Zustandsgrössen besteht. Beispielsweise könnte eine resultierende Zustandsgrösse die Zustandsgrösse Z der Bewegung der Kolbenstange senkrecht zur Längsrichtung L umfassen, und mit der Zustandsgrösse Z des Neigungswinkel $\beta(t)$ in Funktion der Zeit t kombiniert werden, sodass mit Hilfe der vorausschauenden Steuerung und der Kenntnis der Zustandsgrösse Z des Neigungswinkel $\beta(t)$ in Funktion der Zeit t die durch den Neigungswinkel $\beta(t)$ zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ verursachte, zu erwartende Bewegung der Kolbenstange senkrecht zur Längsrichtung L vorausberechnet werden kann, und das Magnetlager 12 mit dieser vorausschauende Zustandsgrösse $Z_v(t + \Delta t)$ angesteuert werden kann.

[0031] Vorteilhafterweise wird aus der Zustandsgrösse $Z(t)$ in Abhängigkeit des Neigungswinkels $\beta(t)$ für einen zukünftigen Zeitpunkt $t + \Delta t$ eine vorausschauende Zustandsgrösse $Z_v(t + \Delta t)$ berechnet, und wird die magnetische Kraft F_m zum aktuellen Zeitpunkt t in Abhängigkeit der vorausschauende Zustandsgrösse $Z_v(t + \Delta t)$ angesteuert.

[0032] Besonders vorteilhaft wird der erfindungsgemässe Kolbenverdichter umfassend das ansteuerbare Magnetlager in Kombination mit einem Transportschiff verwendet, das für Transporte über das Meer eingesetzt wird.

[0033] Der in Figur 4 dargestellte Längsschnitt zeigt eine an sich bekannte Packungsdichtung 12, umfassend eine Mehrzahl von Kammerringen 12a in welchen Dichtungsringe 12b angeordnet sind. Zudem umfasst die Packungsdichtung 12 ein Befestigungsteil 12c, an welchem auf nicht im Detail dargestellte Weise, alle Kammerringe 12a befestigt sind. Die Packungsdichtung 12 ist über das Befestigungsteil 12c mit einem Zylindergehäuse 2a eines Zylinders 2 verbunden, wobei eine Kolbenstange 16 durch die Packungsdichtung 12 verläuft. Das Zylindergehäuse 2a weist eine Ausnehmung auf, welche einer Aussenkontur 12d der Packungsdichtung 12 entspricht, sodass die gesamte Packungsdichtung 12 in diese Ausnehmung einführbar ist, und falls erforderlich die gesamte Packungsdichtung 12 ersetzt werden kann.

[0034] Figur 5 zeigt einen Längsschnitt durch eine erfindungsgemässe Packungsdichtung 12 umfassend ein Magnetlager 13. Figur 6 zeigt einen Teilabschnitt des Magnetlagers 13, das als Radiallager ausgestaltet ist und acht Spulenkerne 13a, 13c umfasst, wobei die zwei gegenüber liegenden Spulenkerne 13a, 13c mit Bezugszeichen versehen sind. Die Spulenkerne 13a, 13c sind mit Spulen 13b, 13d umwickelt. Zudem ist die der Kolbenstange 16 zugewandt Stirnseite 13e des Spulenkerne 13a dargestellt. Die Packungsdichtung 12 gemäss Figur 5 umfasst zwei Kammerringe 12a in welchen Dichtungsringe 12b angeordnet sind. Die Packungsdichtung 12 umfasst zudem zwei Notlager 12f, 12g mit je einer Lagerfläche 12h, 12i. Bei einem Stromausfall des Magnetlagers 13 oder zum Beispiel bei abgeschaltetem Kolbenverdichters kann die Kolbenstange 16 auf den Notlagern 12f, 12g aufliegen. Die Packungsdichtung 12 um-

fasst zudem eine Halterung 12k für einen Sensor 26, wobei zumindest oben ein Sensor 26 angeordnet ist, und wobei vorzugsweise eine Mehrzahl von Sensoren 26 in Umfangsrichtung gegenseitig beabstandet angeordnet sind. Zudem umfasst die Packungsdichtung 12 ein Befestigungsteil 12c, mit welchem vorzugsweise alle in Figur 5 dargestellten Komponenten verbunden sind. Die Packungsdichtung 12 weist eine Aussenkontur 12d auf. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Aussenkontur 12d der erfindungsgemässen Packungsdichtung 12 ähnlich oder identisch dimensioniert wie die in Figur 4 dargestellte, bekannte Packungsdichtung 12, sodass in bestehenden Kolbenverdichtern 1 aufweisend die bekannte Packungsdichtung 12 eingesetzt werden kann. Vorzugsweise wird ein mit der erfindungsgemässen Packungsdichtung 12 aufgewerteter Kolbenverdichter 1 zudem noch mit einer Ansteuervorrichtung 22 versehen, sodass auch bestehenden Kolbenverdichter 1 mit der erfindungsgemässen Vorrichtung versehen werden können bzw. bestehende Kolbenverdichter 1 mit dem erfindungsgemässen Verfahren betrieben werden können.

[0035] In einer weiteren, vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die erfindungsgemässe Packungsdichtung 12, wie in Figur 5 dargestellt, zudem noch Kühlkanäle 121, welche beispielsweise innerhalb des Aussenmantels 12e und/oder innerhalb der Spulenkerne 13a, 13c verlaufen, wobei die Kühlkanäle Teil eines Kühlkreislaufes ausbilden, um das Magnetlager 13 und/oder die Packungsdichtung 12 zu kühlen. Der Kühlkreislauf ist nur schematisch dargestellt, wobei die Zuführleitungen und die Abführleitungen des Kühlkreislaufes vorzugsweise derart durch das Befestigungsteil 12c verlaufend angeordnet sind, sodass das Befestigungsteil 12c von Aussen, vorzugsweise an dessen Stirnseite zugängliche Anschlüsse 12m für den Kühlkreislauf aufweist, und dass der Kühlkreislauf im Innern der Packungsdichtung 12 vorgegeben und fertig konfiguriert ist, sodass nach dem Einbau der Packungsdichtung 12 nur noch die externe Kühlmittelzufuhr von Aussen am Befestigungsteil 12c anzuschliessen ist, um den Kühlkreislauf im Innern der Packungsdichtung 12 mit Kühlflüssigkeit zu versorgen. In Figur 5 sind insbesondere die innerhalb des Notlauf-lagers 12g angeordneten, die Kühlkanäle 121 gegenseitig Fluid leitend verbindenden Verbindungskanäle nicht dargestellt.

[0036] Im Ausführungsbeispiel gemäss Figur 1 ist ein Kolbenkompressor 1 umfassend einen Kolben 3 mit Kolben- bzw. Dichtringen 4 sowie einem Führungsring 5 dargestellt. Auf den Führungsring 5 könnte verzichtet werden. In einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel könnte der Kolben 3 auch als Labyrinthkolben ausgestaltet sein, wobei dieser Labyrinthkolben die Innenwand des Zylinders 2 vorzugsweise nicht berührt.

Patentansprüche

1. Kolbenverdichter (1) zum Verdichten eines Gases, umfassend einen Zylinder (2), einen Kolben (3), eine Kolbenstange (16), eine Dichtung (12), einen Kreuzkopf (17), ein Magnetlager (13) sowie einen Antrieb (21), wobei der Kolben (3) in einer Längsrichtung (L) beweglich innerhalb des Zylinders (2) angeordnet ist, wobei der Kolben (3) über die Kolbenstange (16) mit dem Kreuzkopf (17) verbunden ist, wobei zwischen dem Kolben (3) und dem Kreuzkopf (17) die Dichtung (12) angeordnet ist, durch welche die Kolbenstange (16) verläuft, wobei der Kreuzkopf (17) durch den Antrieb (21) angetrieben ist, wobei das Magnetlager (13) zwischen dem Kolben (3) und dem Kreuzkopf (17) angeordnet ist, wobei das Magnetlager (13) zumindest senkrecht zur Längsrichtung (L) eine magnetische Kraft (F_m) auf die Kolbenstange (16) bewirken kann, wobei ein Sensor (26) angeordnet ist zum Erfassen einer Zustandsgrösse (Z) des Kolbenverdichters (1), dass das Magnetlager (13) als ansteuerbares Magnetlager (13) ausgestaltet ist, und dass eine Ansteuervorrichtung (22) die vom Magnetlager (13) auf die Kolbenstange (16) bewirkte magnetische Kraft (F_m) in Abhängigkeit der Zustandsgrösse (Z) ansteuert, und dass der Sensor (26) ausgestaltet ist zum Erfassen zumindest einer der nachfolgenden Grössen als Zustandsgrösse (Z): Verschiebeweg des Kolbens im Zylinder, Verschiebeweg der Kolbenstange in Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Verschiebeweg der Kolbenstange senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Bewegung des Kolbens senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Drehwinkel der Antriebswelle, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichtung (12) eine Packungsdichtung ist, der Kolben (3) eine Mehrzahl von Dichtungsringen umfasst, die Packungsdichtung (12) in Längsrichtung (L) nacheinander folgend angeordnet zumindest ein Befestigungsteil (12c), das Magnetlager (13), sowie zumindest einen Kammerring (12a) mit darin angeordnetem Dichtungsring (12b) umfasst, und die Packungsdichtung (12) zumindest zwei Notlager (12f, 12g) umfasst, welche in Längsrichtung (L) gegenseitig beabstandet angeordnet sind.
2. Kolbenverdichter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kolben (3) einen Führungsring (5) umfasst.
3. Kolbenverdichter nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (26) zudem ausgestaltet ist zum Erfassen zumindest einer der nachfolgenden Grössen: Neigungswinkel (β) der Längsrichtung (L) gegenüber der Vertikalen (V), Spaltbreite zwischen Zylinderinnenfläche und Kolbenseitenfläche, Ort einer gegenseitigen Berührungsstelle von Kolben und Zylinder.

der.

4. Kolbenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Packungsdichtung (12) als ein Austauschteil ausgestaltet ist, und dass die Packungsdichtung (12) sowohl zumindest einen Dichtungsring (23) als auch das Magnetlager (13) umfasst. 5
5. Kolbenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Packungsdichtung (12) und das Magnetlager (13) Kühlkanäle (121) für eine Kühlmittel umfasst. 10
6. Verfahren zum Betrieb eines Kolbenverdichters (1) umfassend einen Zylinder (2), einen Kolben (3), eine Kolbenstange (16), eine Packungsdichtung (12), einen Kreuzkopf (17), ein Magnetlager (13) sowie einen Antrieb (21), wobei der Kolben (3) eine Mehrzahl von Dichtungsringen (4) umfasst, wobei die Packungsdichtung (12) in Längsrichtung (L) nacheinander folgend angeordnet zumindest ein Befestigungsteil (12c), das Magnetlager (13), sowie zumindest einen Kammerring (12a) mit darin angeordnetem Dichtungsring (12b) umfasst, und die Packungsdichtung (12) zumindest zwei Notlager (12f, 12g) umfasst, welche in Längsrichtung (L) gegenseitig beabstandet angeordnet sind, wobei der Kolben (3) in einer Längsrichtung (L) innerhalb des Zylinders (7) hin und her bewegt wird, wobei der Kolben (3) über den Kreuzkopf (17) und die Kolbenstange (16) angetrieben wird, und wobei durch das Magnetlager (13) eine zumindest senkrecht zur Längsrichtung (L) wirkende, magnetische Kraft (F_m) auf die Kolbenstange (16) ausgeübt wird, wobei eine der nachfolgenden Größen als Zustandsgröße (Z) des Kolbenverdichters (1) erfasst wird: 20
 Verschiebeweg des Kolbens im Zylinder, Verschiebeweg der Kolbenstange in Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Bewegung des Kolbens senkrecht zur Verlaufsrichtung der Kolbenstange, Drehwinkel der Antriebswelle, und dass die magnetische Kraft (F_m) in Abhängigkeit der Zustandsgröße (Z) angesteuert wird, und dass dadurch über die Kolbenstange (16) eine Entlastungskraft (F_h) auf den Kolben (3) bewirkt wird. 25
 30
 35
 40
 45
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Längsrichtung (L) im Wesentlichen in vertikaler Richtung verläuft, wobei vorzugsweise die Längsrichtung (L) bezüglich der Vertikalen (V) einen Neigungswinkel (β) im Bereich von $\pm 10^\circ$ aufweist. 50
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zustandsgröße (Z) zudem zumindest eine der nachfolgenden Größen umfasst: Bewegung der Kolbenstange (16) 55

senkrecht zur Längsrichtung (L), Spaltbreite innerhalb des Magnetlagers (13) zwischen Kolbenstange (16) und einem Magnet des Magnetlagers (13), gegenseitige Lage von der Kolbenstange (16) und dem Magnetlager (13), senkrecht zur Längsrichtung (L) der Kolbenstange (16), Neigungswinkel (β) des Zylinders gegenüber der Vertikalen (V), Spaltbreite zwischen Zylinderinnenfläche und Kolbenseitenfläche, Ort einer gegenseitigen Berührungsstelle von Kolben und Zylinder, und der zwischen der Vertikalen (V) und der Längsrichtung (L) eingenommene Neigungswinkel ($\beta(t)$) in Funktion der Zeit (t).

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der gegenseitige Abstand von Kolbenstange (16) und Magnetlager (13) und/oder der Abstand von Zylinderinnenfläche und Kolbenseitenfläche, senkrecht zur Längsrichtung (L), konstant gehalten wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kolben (3) ohne Wandberührung im Zylinder (7) gehalten wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetische Kraft (F_m) mittels einer vorausschauenden Steuerung angesteuert wird, vorzugsweise indem aus der Zustandsgröße $Z(t)$ in Abhängigkeit des Neigungswinkels ($\beta(t)$) für einen zukünftigen Zeitpunkt ($t+\Delta t$) eine vorausschauende Zustandsgröße $Z_v(t+\Delta t)$ berechnet wird, und die magnetische Kraft (F_m) beim aktuellen Zeitpunkt (t) in Abhängigkeit der vorausschauenden Zustandsgröße $Z_v(t+\Delta t)$ angesteuert wird. 25
 30
 35
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetische Kraft (F_m) in Funktion der Zustandsgröße (Z) fest vorgegeben ist. 40
13. Verwendung eines Kolbenverdichters nach einem der Ansprüche 1 bis 5 auf einem Transportschiff. 45

Claims

1. Piston compressor (1) for compressing a gas, comprising a cylinder (2), a piston (3), a piston rod (16), a seal, a crosshead (17), a magnetic bearing (13) and a drive (21), wherein the piston (3) is arranged movably within the cylinder (2) in a longitudinal direction (L), wherein the piston (3) is connected to the crosshead (17) via the piston rod (16), wherein the seal, through which the piston rod (16) extends, is arranged between the piston (3) and the crosshead (17), wherein the crosshead (17) is driven by the drive (21), wherein the magnetic bearing (13) is ar-

ranged between the piston (3) and the crosshead (17), wherein the magnetic bearing (13) can exert a magnetic force (F_m) on the piston rod (16) at least perpendicular to the longitudinal direction (L), wherein a sensor (26) is arranged to detect a state variable (Z) of the piston compressor (1), in that the magnetic bearing (13) is designed as a controllable magnetic bearing (13), and in that an actuating device (22) actuates the magnetic force (F_m) exerted by the magnetic bearing (13) on the piston rod (16) as a function of the state variable (Z), and in that the sensor (26) is designed to detect at least one of the following variables as the state variable (Z):

displacement of the piston in the cylinder, displacement of the piston rod in the direction of travel of the piston rod, displacement of the piston rod perpendicular to the direction of travel of the piston rod, movement of the piston perpendicular to the direction of travel of the piston rod, angle of rotation of the drive shaft, **characterised in that** the seal (12) is a packing seal, the piston (3) comprises a plurality of sealing rings, the packing seal (12) comprises, arranged in succession in the longitudinal direction (L), at least one fastening part (12c), the magnetic bearing (13) and at least one chamber ring (12a) with a sealing ring (12b) arranged therein, and the packing seal (12) comprises at least two emergency bearings (12f, 12g) which are arranged spaced apart from one another in the longitudinal direction (L).

2. Piston compressor according to claim 1, **characterised in that** the piston (3) comprises a guide ring (5).
3. Piston compressor according to one of claims 1 or 2, **characterised in that** the sensor (26) is also designed to detect at least one of the following variables: angle of inclination (β) of the longitudinal direction (L) relative to the vertical (V), gap width between the inner surface of the cylinder and the side surface of the piston, location of a mutual contact point of the piston and cylinder.
4. Piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** the packing seal (12) is designed as a replacement part, and **in that** the packing seal (12) comprises both at least one sealing ring (23) and the magnetic bearing (13).
5. Piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** the packing seal (12) and the magnetic bearing (13) comprise cooling channels (121) for a coolant.
6. Method for operating a piston compressor (1) comprising a cylinder (2), a piston (3), a piston rod (16), a packing seal (12), a crosshead (17), a magnetic bearing (13) and a drive (21), wherein the piston (3) comprises a plurality of sealing rings (4), wherein the

packing seal (12) comprises at least one fastening part (12c), the magnetic bearing (13) and at least one chamber ring (12a) with a sealing ring (12b) arranged therein, arranged in succession in the longitudinal direction (L), and the packing seal (12) comprises at least two emergency bearings (12f, 12g), which are arranged mutually spaced apart in the longitudinal direction (L), wherein the piston (3) is moved back and forth in a longitudinal direction (L) within the cylinder (7), wherein the piston (3) is driven via the crosshead (17) and the piston rod (16), and wherein a magnetic force (F_m) acting at least perpendicular to the longitudinal direction (L) is exerted on the piston rod (16) by the magnetic bearing (13), wherein one of the following variables is detected as a state variable (Z) of the piston compressor (1): displacement of the piston in the cylinder, displacement of the piston rod in the direction of travel of the piston rod, movement of the piston perpendicular to the direction of travel of the piston rod, angle of rotation of the drive shaft, and in that the magnetic force (F_m) is controlled as a function of the state variable (Z), and in that a relief force (F_h) is thereby exerted on the piston (3) via the piston rod (16).

7. Method according to claim 6, **characterised in that** the longitudinal direction (L) runs essentially in the vertical direction, the longitudinal direction (L) preferably having an angle of inclination (β) in the range of $\pm 10^\circ$ with respect to the vertical (V).
8. Method according to one of claims 6 or 7, **characterised in that** the state variable (Z) additionally comprises at least one of the following variables: movement of the piston rod (16) perpendicular to the longitudinal direction (L), gap width within the magnetic bearing (13) between the piston rod (16) and a magnet of the magnetic bearing (13), mutual position of the piston rod (16) and the magnetic bearing (13), perpendicular to the longitudinal direction (L) of the piston rod (16), angle of inclination (β) of the cylinder relative to the vertical (V), gap width between the inner surface of the cylinder and the side surface of the piston, location of a mutual contact point between the piston and the cylinder, and the angle of inclination ($\beta(t)$) assumed between the vertical (V) and the longitudinal direction (L) as a function of time (t).
9. Method according to one of claims 6 to 8, **characterised in that** the mutual distance between the piston rod (16) and the magnetic bearing (13) and/or the distance between the inner surface of the cylinder and the side surface of the piston, perpendicular to the longitudinal direction (L), is kept constant.
10. Method according to one of claims 6 to 9, **characterised in that** the piston (3) is held in the cylinder

(7) without wall contact.

11. Method according to one of claims 6 to 10, **characterised in that** the magnetic force (F_m) is controlled by means of a predictive control system, preferably **in that** a predictive state variable $Z_v(t + \Delta t)$ is calculated from the state variable $Z(t)$ as a function of the inclination angle ($\beta(t)$) for a future point in time ($t + \Delta t$), and the magnetic force (F_m) is actuated at the current point in time (t) as a function of the predictive state variable $Z_v(t + \Delta t)$.
12. Method according to one of claims 6 to 11, **characterised in that** the magnetic force (F_m) is predetermined as a function of the state variable (Z).
13. Use of a piston compressor according to any one of claims 1 to 5 on a transport vessel.

Revendications

1. Compresseur à piston (1) pour comprimer un gaz, comprenant un cylindre (2), un piston (3), une tige de piston (16), un joint d'étanchéité, une crosse (17), un palier magnétique (13) ainsi qu'un entraînement (21), le piston (3) étant disposé à l'intérieur du cylindre (2) de manière mobile dans une direction longitudinale (L), le piston (3) étant relié à la crosse (17) par la tige de piston (16), le joint d'étanchéité, à travers lequel s'étend la tige de piston (16), étant disposé entre le piston (3) et la crosse (17), la crosse (17) étant entraînée par l'entraînement (21), le palier magnétique (13) étant disposé entre le piston (3) et la crosse (17), le palier magnétique (13) pouvant exercer une force magnétique (F_m) sur la tige de piston (16) au moins perpendiculairement à la direction longitudinale (L), un capteur (26) étant disposé pour détecter une grandeur d'état (Z) du compresseur à piston (1), en ce que le palier magnétique (13) est conçu comme un palier magnétique (13) pouvant être commandé, et en ce qu'un dispositif de commande (22) commande la force magnétique (F_m) provoquée par le palier magnétique (13) sur la tige de piston (16) en fonction de la grandeur d'état (Z), et en ce que le capteur (26) est conçu pour détecter au moins l'une des grandeurs suivantes comme grandeur d'état (Z) : déplacement du piston dans le cylindre, déplacement de la tige de piston dans la direction de la tige de piston, déplacement de la tige de piston perpendiculairement à la direction de la tige de piston, déplacement du piston perpendiculairement à la direction de la tige de piston, angle de rotation de l'arbre d'entraînement, **caractérisé en ce que** le joint d'étanchéité (12) est un joint de garniture, le piston (3) comprend une pluralité de segments d'étanchéité, le joint de garniture (12) comprend, disposés successivement dans la direction

longitudinale (L), au moins une partie de fixation (12c), le palier magnétique (13), ainsi qu'au moins une bague de chambre (12a) avec une bague d'étanchéité (12b) disposée à l'intérieur, et le joint de garniture (12) comprend au moins deux paliers de secours (12f, 12g) qui sont disposés à distance l'un de l'autre dans la direction longitudinale (L).

2. Compresseur à piston selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le piston (3) comprend une bague de guidage (5).
3. Compresseur à piston selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le capteur (26) est en outre conçu pour détecter au moins l'une des grandeurs suivantes : angle d'inclinaison (β) de la direction longitudinale (L) par rapport à la verticale (V), largeur de l'interstice entre la surface intérieure du cylindre et la surface latérale du piston, emplacement d'un point de contact mutuel du piston et du cylindre.
4. Compresseur à piston selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le joint de garniture (12) est conçu comme une pièce de remplacement, et **en ce que** le joint de garniture (12) comprend à la fois au moins une bague d'étanchéité (23) et le palier magnétique (13).
5. Compresseur à piston selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le joint de garniture (12) et le palier magnétique (13) comprennent des canaux de refroidissement (121) pour un fluide de refroidissement.
6. Procédé de fonctionnement d'un compresseur à piston (1) comprenant un cylindre (2), un piston (3), une tige de piston (16), un joint de garniture (12), une crosse (17), un palier magnétique (13) ainsi qu'un entraînement (21), le piston (3) comprenant une pluralité de segments d'étanchéité (4), le joint de garniture (12) comprenant, disposés l'un après l'autre dans la direction longitudinale (L), au moins une partie de fixation (12c), le palier magnétique (13), ainsi qu'au moins une bague de chambre (12a) avec une bague d'étanchéité (12b) disposée à l'intérieur, et le joint de garniture (12) comprenant au moins deux paliers de secours (12f, 12g) qui sont disposés à une distance mutuelle dans la direction longitudinale (L), le piston (3) étant déplacé en va-et-vient dans une direction longitudinale (L) à l'intérieur du cylindre (7), le piston (3) étant entraîné par l'intermédiaire de la crosse (17) et de la tige de piston (16), et une force magnétique (F_m) agissant au moins perpendiculairement à la direction longitudinale (L) étant exercée sur la tige de piston (16) par le palier magnétique (13), l'une des grandeurs suivantes étant saisie comme grandeur d'état (Z) du compresseur à piston (1) :

déplacement du piston dans le cylindre, déplacement de la tige de piston dans la direction de la tige de piston, déplacement du piston perpendiculairement à la direction de la tige de piston, angle de rotation de l'arbre d'entraînement, et en ce que la force magnétique (F_m) est commandée en fonction de la grandeur d'état (Z), et en ce qu'une force de décharge (F_h) est ainsi exercée sur le piston (3) par l'intermédiaire de la tige de piston (16).

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la direction longitudinale (L) s'étend sensiblement dans la direction verticale, de préférence la direction longitudinale (L) présentant par rapport à la verticale (V) un angle d'inclinaison (β) de l'ordre de +/- 10°.
8. Procédé selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** la grandeur d'état (Z) comprend en outre au moins l'une des grandeurs suivantes : Mouvement de la tige de piston (16) perpendiculairement à la direction longitudinale (L), Largeur de l'entrefer à l'intérieur du palier magnétique (13) entre la tige de piston (16) et un aimant du palier magnétique (13), position mutuelle de la tige de piston (16) et du palier magnétique (13), perpendiculairement à la direction longitudinale (L) de la tige de piston (16), angle d'inclinaison (β) du cylindre par rapport à la verticale (V), largeur de l'entrefer entre la surface intérieure du cylindre et la surface latérale du piston, emplacement d'un point de contact mutuel du piston et du cylindre, et angle d'inclinaison ($\beta(t)$) pris entre la verticale (V) et la direction longitudinale (L) en fonction du temps (t).
9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce que** la distance mutuelle entre la tige de piston (16) et le palier magnétique (13) et/ou la distance entre la surface intérieure du cylindre et la surface latérale du piston, perpendiculairement à la direction longitudinale (L), est maintenue constante.
10. Procédé selon l'une des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** le piston (3) est maintenu dans le cylindre (7) sans contact avec la paroi.
11. Procédé selon l'une des revendications 6 à 10, **caractérisé en ce que** la force magnétique (F_m) est commandée au moyen d'une commande prédictive, de préférence en calculant à partir de la grandeur d'état $Z(t)$ en fonction de l'angle d'inclinaison ($\beta(t)$) pour un instant futur ($t+\Delta t$) une grandeur d'état prévisionnelle $Z_v(t+\Delta t)$, et en commandant la force magnétique (F_m) à l'instant présent (t) en fonction de la grandeur d'état prévisionnelle $Z_v(t+\Delta t)$.
12. Procédé selon l'une des revendications 6 à 11, **ca-**

ractérisé en ce que la force magnétique (F_m) est prédéterminée de manière fixe en fonction de la grandeur d'état (Z).

- 5 13. Utilisation d'un compresseur à piston selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 sur un navire de transport.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

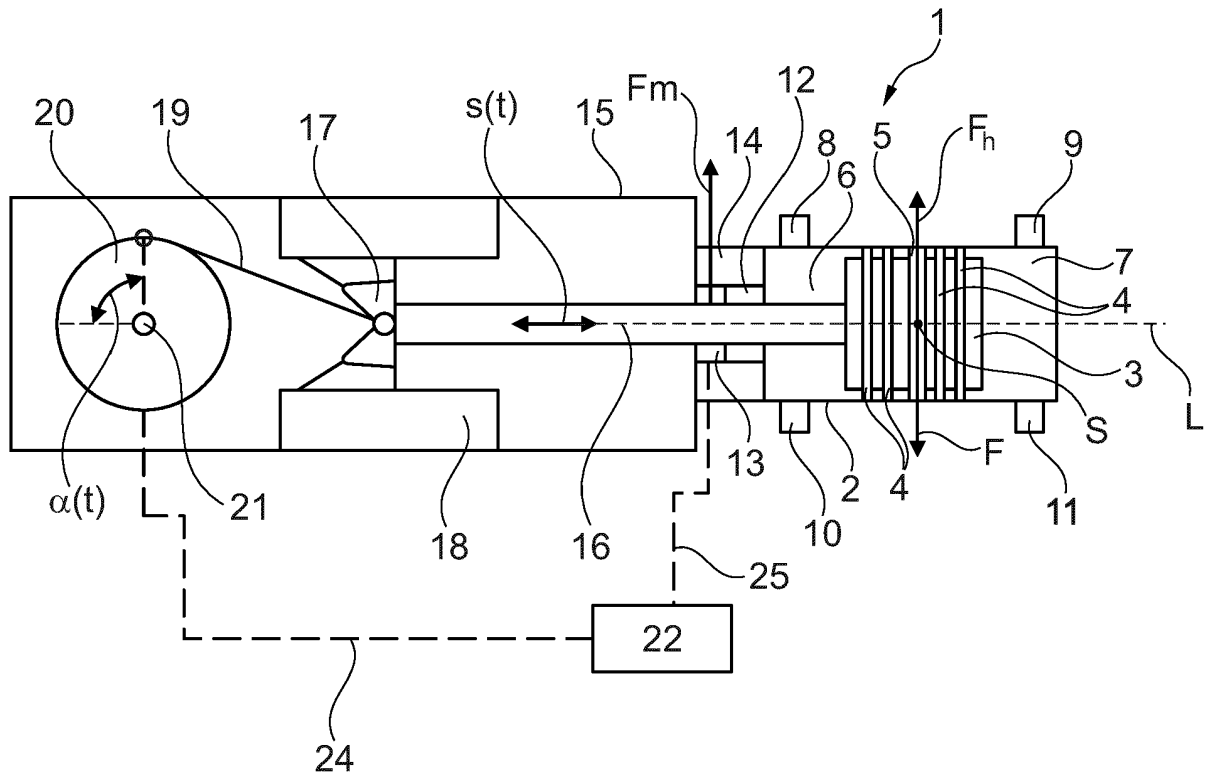


Fig. 1

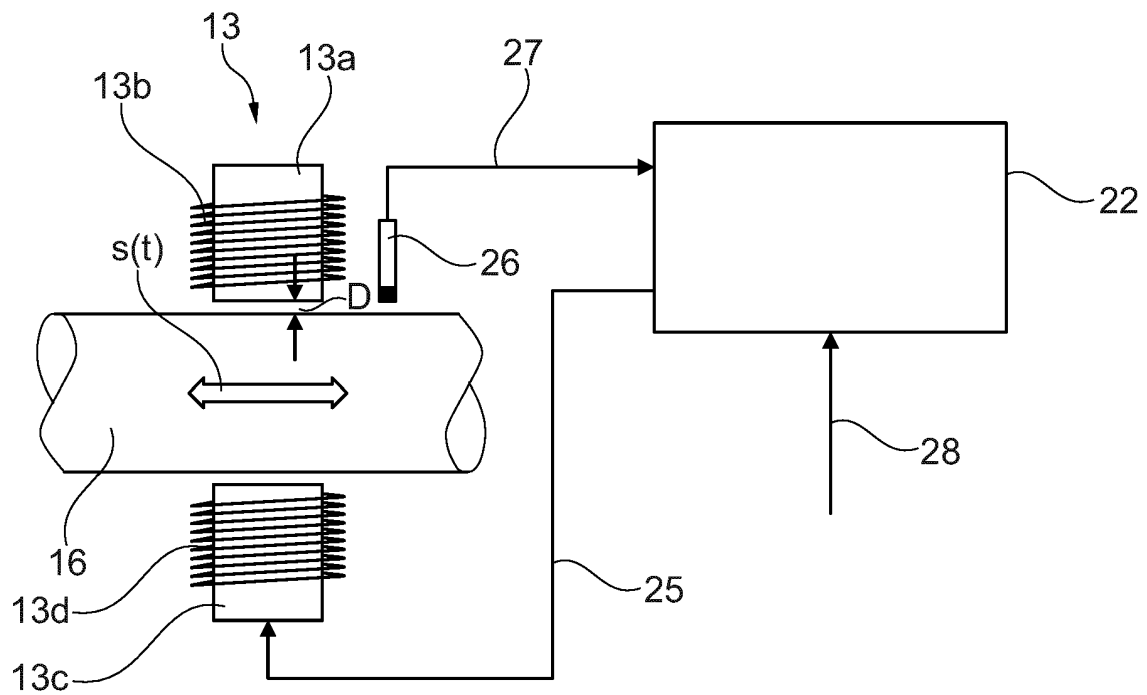


Fig. 2

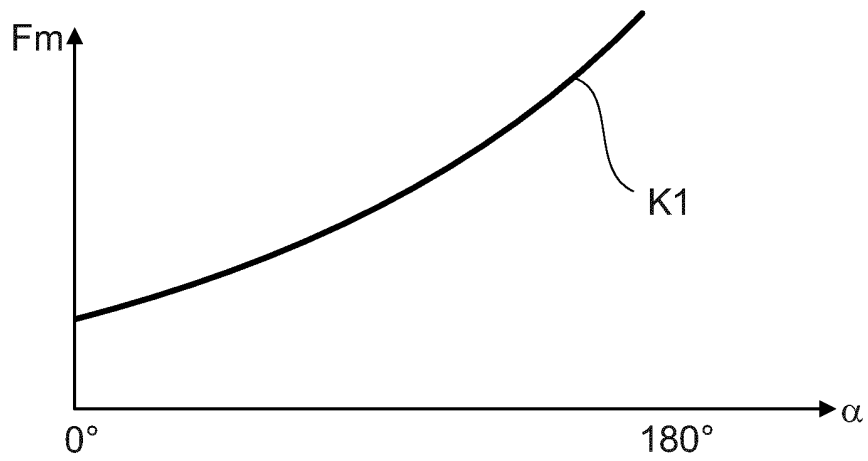


Fig. 3

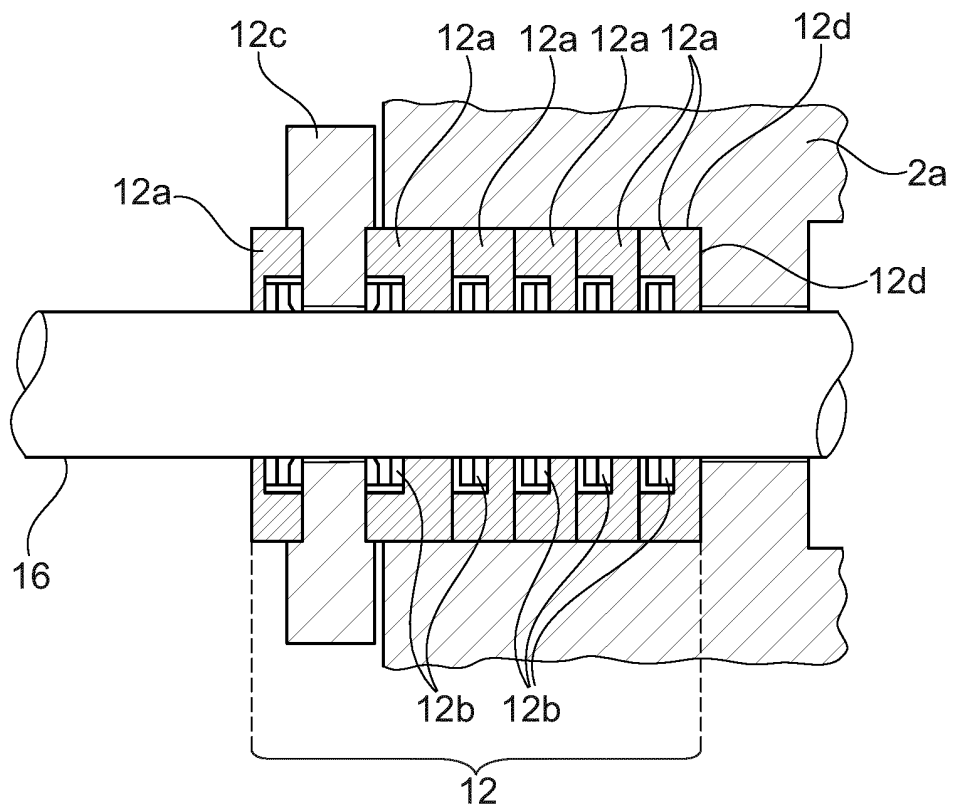


Fig. 4

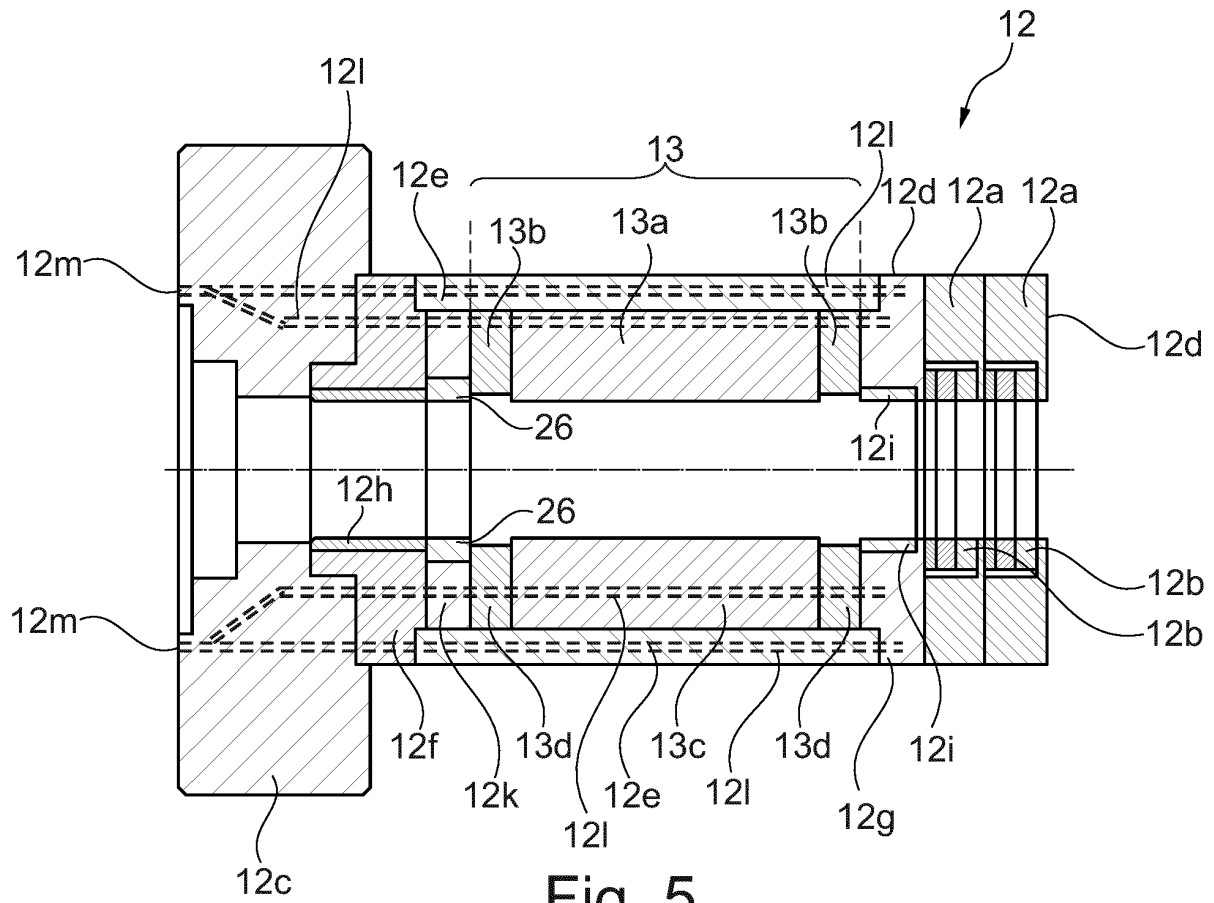


Fig. 5

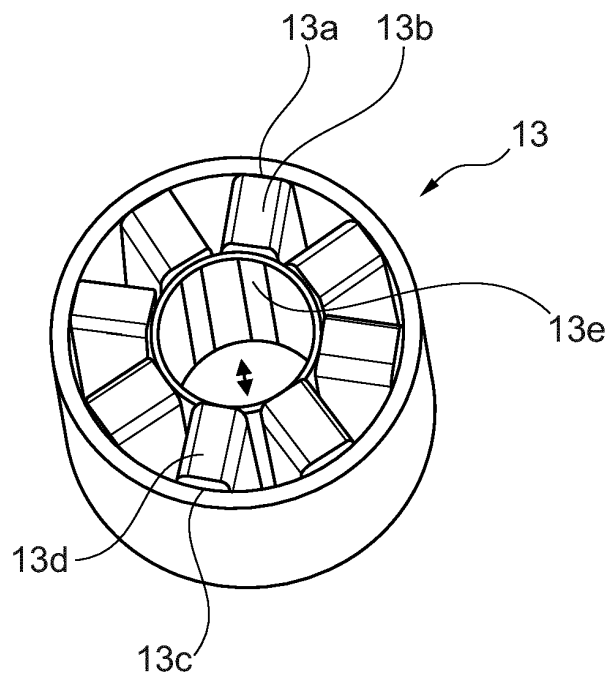


Fig. 6

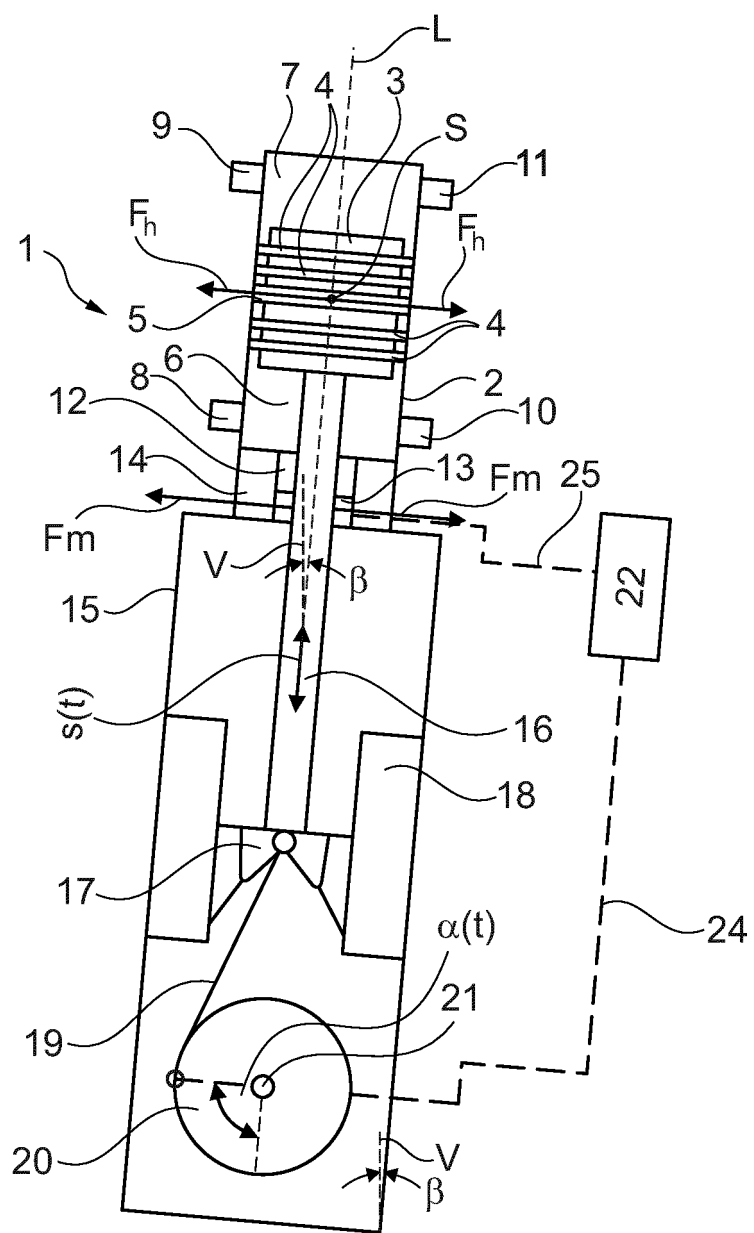


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2014139565 A1 **[0002]**
- DE 3805670 A1 **[0002]**
- US 4889039 A **[0002]**
- WO 2006042866 A1 **[0003]**
- FR 2754570 A1 **[0003]**