



(10) **DE 10 2017 123 119 A1** 2019.04.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 123 119.6**

(22) Anmeldetag: **05.10.2017**

(43) Offenlegungstag: **11.04.2019**

(51) Int Cl.: **F01B 31/26 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Ficht Fahrzeug + Marinetchnik GmbH & Co. KG,
85614 Kirchseeon, DE**

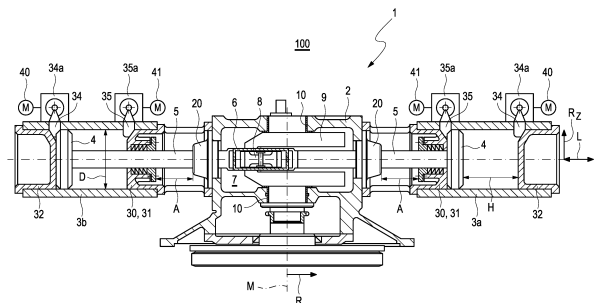
(72) Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

(74) Vertreter:
**Oberdorfer, Jürgen, Dipl.-Ing.Univ., 80331
München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Hubkolben-Expansionsmaschine, insbesondere Dampfmotor und Arbeitszylinder hierfür**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Dampf- motor mit mindestens einem, in einem Arbeitszylinder (500) angeordneten Arbeitskolben (4) und mit mindestens einem in einem Kurbelgehäuse (2) angeordneten Kurbelschlaufen- getriebe (6) zur Umwandlung einer linear oszillierenden Be- wegung des Arbeitskolbens (4) in eine Drehbewegung ei- ner Kurbelwelle (9), wobei eine Kolbenstange (5) zumindest in Kolbenstangenrichtung axial hintereinander zwei Trenn- wandlager durchgreift, wobei ein erstes Trennwandlager (20) den Arbeitszylinder (500) gegenüber der Umgebung ab- dichtet und ein zweites Trennwandlager (30) das Kurbelge- häuse (2) gegenüber der Umgebung abdichtet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kolbenexpansionsmaschine, insbesondere einen Dampfmotor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie einen Arbeitszylinder hierfür nach dem Oberbegriff des Anspruchs 15.

[0002] Dampfmotoren, insbesondere Dampfmotoren in Hubkolbenbauweise sind als Expansionsarbeitsmaschinen zur Expansion von unter Druck stehendem Dampf zum Zwecke der Umwandlung in mechanische Arbeit seit langem bekannt. Auch sind Dampfmotoren in der Bauart eines Scotch Yoke-Motors, der als Kurbelschlaufenmotor bezeichnet wird, bekannt. Ein derartiger Dampfmotor ist beispielsweise aus der DE 10 2010 038 538 A1 bekannt. Weitere solche Dampfmotoren sind beispielsweise aus der DE 10 2010 038 543 A1, aus der DE 10 2010 038 532 A1, aus der DE 10 2010 038 546 A1 und der DE 10 2010 038 542 A1 bekannt. Alle diese Dampfmotoren/Kolbenexpansionsmaschinen nutzen als Umwandlungsgetriebe für die Umwandlung einer linearen Hin- und Herbewegung eines Arbeitskolbens in einem Arbeitszylinder in eine Rotationsbewegung einer Kurbelwelle einen sogenannten Kurbelschlaufenantrieb, bei dem in einer Kurbelschleife ein Gleitstein linear verschieblich sitzt und der Gleitstein rotierbar auf einem Kurbelzapfen einer Kurbelwelle sitzt. Die Kolbenstangen verbinden die Kurbelschlaufen mit den Arbeitskolben.

[0003] Ein besonderer Vorteil dieser Bauart für Hubkolbenmotoren ist, dass einerseits das Kurbelgehäuse, welches den Kurbelmechanismus (Kurbelschleife) enthält, gut gegen die Umgebung abgedichtet werden kann, so dass Öl, welches zur Schmierung des Kurbeltriebes notwendig wird, in einem abgeschlossenen Kurbelgehäuse verbleibt und nicht mit einer Unterseite des Kolbens, wie z. B. bei herkömmlichen Kolben-Pleuel-Hubkolbenmaschinen in Verbindung gelangen kann. Dies ermöglicht es weiterhin, einen Arbeitsraum zwischen dem Kurbelgehäuse und der Unterseite des Arbeitskolbens als Arbeitsraum zu nutzen, da dieser getrennt vom Kurbelgehäuse ist.

[0004] Trotz dieser grundsätzlich sehr guten Eignung dieser Hubkolbenmaschinenbauart (Kurbelschlaufen-Hubkolbenmaschine) als Dampfmotor bzw. allgemein gesagt als Hubkolben-Expansionsmaschine besteht das Bedürfnis, insbesondere die Dichtheit des Kurbelgehäuses gegenüber der Außenumgebung zu verbessern. Insbesondere stellt es eine stetige Herausforderung dar, die Kolbenstange, die ausgehend von der Kurbelschleife diese mit dem Kolben verbindet und eine Trennwand zwischen Kurbelgehäuse und Zylinderraum durchgreifen muss, immer besser abzudichten.

[0005] Hierzu wurden bereits eine Vielzahl von Trennwandlagern entwickelt, die insbesondere für den Einsatz der Kurbelschlaufen-Hubkolbenmaschine als Verbrennungsmotor konzipiert sind.

[0006] Bei einem Einsatz des Kurbelschlaufen-Hubkolbenmaschine als Dampfmotor, kommt es in besonderem Maße darauf an, die Ölfreiheit der Kolbenstange, welche innerhalb des Kurbelgehäuses oszillierend durchdringt, in hohem Maße sicherzustellen, damit auch kleinste Spuren von Schmieröl, welches gegebenenfalls an der Oberfläche oder in Oberflächenrauigkeiten der Kolbenstange durch das Trennwandlager hindurch in einen Außenraum außerhalb des Kurbelgehäuses mitgerissen wird sich nicht mit Arbeitsmedium, welches im vorliegenden Fall ein Dampf eines Arbeitsmediums ist, zu vermengen.

[0007] Insbesondere im mobilen Einsatz, z. B. zur Verwertung der Abwärme von Verbrennungsmotoren in Nutzfahrzeugen kommt es ganz besonders auf eine Gewichtsreduzierung bzw. ein minimales Anlagengewicht an, wenn in Erwägung gezogen wird, eine Hubkolben-Expansionsmaschine zur Nutzbarmachung von Wärmeenergie, die im Abgas des Verbrennungsmotors enthalten ist, zu nutzen.

[0008] Es besteht insbesondere das Bedürfnis, das Arbeitsmedium eines solchen Dampfkreisprozesses sicher frei von Öl zu halten, welches beispielsweise im Kurbeltrieb der Hubkolbenmaschine vorhanden ist. An dieser Problemstellung setzt die vorliegende Erfindung an.

[0009] Eine Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Hubkolbenexpansionsmaschine anzugeben, die insbesondere dafür geeignet ist als Dampfmotor zu arbeiten und eine Vermischung von Arbeitsmedium, insbesondere von dampfförmigem Arbeitsmedium mit Schmieröl oder anderen Betriebsstoffen der Hubkolben-Expansionsmaschine zu verhindern.

[0010] Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung einen Dampfmotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie einen Arbeitszylinder mit den Merkmalen des Anspruchs 15 vor. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

[0011] Bei der vorliegenden Erfindung wird einerseits ein Dampfmotor vorgeschlagen, bei dem sichergestellt ist, dass kein Öl mit der oszillierenden Kolbenstange in einen Bereich gefördert wird, der mit, insbesondere dampfförmigem, Arbeitsmedium in Berührung kommt. Hierdurch wird ein Vermischen von Schmieröl und Arbeitsmedium vermieden.

[0012] Des Weiteren schlägt die Erfindung einen Arbeitszylinder vor, der es ermöglicht, den Arbeitskolben schmiermittelfrei im Arbeitszylinder zu betreiben. Derartige Arbeitszylinder sind grundsätzlich bereits aus dem Bereich des Einsatzes der Kurbelschlaufenmotoren als Verbrennungsmotoren bekannt. Insbesondere wird hierbei auf die WO 2012/072295 A1 verwiesen.

[0013] Die vorliegende Erfindung schlägt aber einen Arbeitszylinder vor, der einerseits einen schmierstofffreien Betrieb eines Arbeitskolbens innerhalb des Arbeitszylinders für den Einsatzzweck der Kurbelschlaufen-Hubkolbenmaschine als Expansionsmaschine, insbesondere als Dampfmotor ermöglicht und andererseits den besonderen Belangen des Betriebs der Kurbelschlaufen-Hubkolbenmaschine als Dampfmotor genüge tut. Hierzu nutzt die Erfindung den Arbeitszylinder mit den Merkmalen des Anspruchs 15.

[0014] Ein erfindungsgemäßer Dampfmotor ist ein Dampfmotor mit mindestens einem, in einem Arbeitszylinder angeordneten Arbeitskolben und mit mindestens einem, in einem Kurbelgehäuse angeordneten Kurbelschlaufengetriebe, zur Umwandlung einer linear oszillierenden Bewegung des Arbeitskolbens in eine Drehbewegung in einer Kurbelwelle. Ein solcher Dampfmotor ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass eine Kolbenstange zumindest in Kolbenstangenlängsrichtung L axial hintereinander zwei Trennwandlager durchgreift, wobei ein erstes Trennwandlager den Arbeitszylinder gegenüber der Umgebung abdichtet und ein zweites Trennwandlager das Kurbelgehäuse gegenüber der Umgebung abdichtet.

[0015] Ein erfindungsgemäßer Dampfmotor hat den Vorteil, dass durch das Vorsehen von zwei beabstandeten Trennwandlagern entlang der Axialrichtung der Kolbenstange (Längsrichtung L) ein Bereich entsteht, in dem einerseits Minimalmengen mitgerissenen Öls auf der Oberfläche der Kolbenstange aus dem Kurbelgehäuse und andererseits Minimalmengen mitgerissenen Dampfes in einen Zwischenraum zwischen Arbeitszylinder und Kurbelgehäuse gelangen, der es ermöglicht, die oben genannten Medien separat aufzufangen und zu verhindern, dass sie sich vermischen.

[0016] Mit der erfindungsgemäßen Konstruktion ist es somit möglich, ein an sich ölgeschmiertes Kurbelschlaufengetriebe mit einer ölfrei laufenden Kolben-/Zylinderpaarung zu betreiben, ohne dass eine Stelle existiert, in der das Arbeitsmedium (Dampf) einerseits und das Schmiermedium (Öl) andererseits miteinander in Verbindung gelangen. Dies hat zur Folge, dass das Arbeitsmedium, egal ob es in Dampfform oder als Flüssigkeit vorliegt, nicht durch Schmiermittel verunreinigt wird und ohne weitere Ölabscheidemaßnahmen oder dergleichen Zusatzaggregate in ei-

nen Dampfkreislauf, in dem der Dampfmotor betrieben wird, zurückgeführt werden kann.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass eine freie Länge L der Kolbenstange zwischen den Trennwandlagern größer ist als ein Hub H des Kurbelschlaufengetriebes.

[0018] Insbesondere durch die Maßnahme, den Zwischenraum zwischen den Trennwandlagern mindestens so groß zu wählen, wie der Hub H des Kurbelschlaufengetriebes ist, ist insbesondere sichergestellt, dass kein Kolbenstangenbereich, der beispielsweise während des Hubs mit Öl aus dem Kurbelgehäuse in Kontakt gelangen kann, jemals das zweite Trennwandlager durchgreift und in irgendeiner Art und Weise in den Arbeitsraum eindringen kann. Somit ist es auch unmöglich, eventuell mitgerissenes Öl an der Oberfläche der Kolbenstange in den Arbeitsraum einzutragen. Umgekehrt werden Kolbenstangenbereiche, die im Arbeitsraum mit Dampf/Arbeitsmedium in Berührung kommen, mit Sicherheit nicht soweit bewegt werden, dass sie auch nur teilweise in das Kurbelgehäuse eintauchen können. Durch diese Maßnahme wird somit eine noch bessere Trennung zwischen Schmieröl einerseits und Arbeitsmedium andererseits erreicht. Eine Verunreinigung des Arbeitsmediums mit Schmiermittel ist weiter verringert.

[0019] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der Dampfmotor gemäß der Erfindung dadurch gekennzeichnet, dass eine statische, d. h. zumindest an der Kolbenstange ortsfest befestigte Dichtung vorhanden ist, die einen ersten Dichtraum bildet, der dazu eingerichtet und ausgebildet ist, Öl, welches aus dem Kurbelgehäuse austritt, aufzufangen.

[0020] Eine weitere Verminderung ungewollten Vermischens zwischen Schmieröl aus dem Kurbelgehäuse, welches das kurbelgehäuseseitige Trennwandlager durchdringt und Arbeitsmedium, welches das arbeitsraumseitige Trennwandlager durchdringt, kann erreicht werden, indem eine räumliche Trennung des Zwischenraumes in einen ersten Teilraum, der für das Auffangen von Schmieröl gedacht ist und in einen zweiten Teilraum, der für das Auffangen von Leckage-Dampf gedacht ist, stattfindet.

[0021] Die Dichtung kann beispielsweise ein längenveränderbarer Dichtbalg oder eine Rollmembrandichtung sein, der einerseits fest auf der Kolbenstange und andererseits am Kurbelgehäuse oder an einer Arbeitszylinderwandung befestigt ist.

[0022] Als zweite Möglichkeit kann eine Radialmembrane (Wellmembrandichtung) vorgesehen sein, die ähnlich einer Lautsprechermembrane entlang ihrer

Radialrichtung gewellt ausgebildet ist und radial innenseitig auf der Kolbenstange, mit dieser mitbewegbar und relativ zur Kolbenstange fest, befestigt ist und radial außenseitig an Gehäuseabschnitten, die einen der Teilräume begrenzen, befestigt ist. Hierdurch kann in einfacher Art und Weise - falls gewünscht - ein Teil der abgegebenen Energie des Dampfmotors nach Art eines Membrankompressors, in Form von Druckluft erhalten werden.

[0023] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Arbeitszylinder und der Kolbenstange mittels der Dichtung ein zweiter Dichtraum gebildet ist, der dazu eingerichtet und ausgebildet ist, flüssiges und/oder gasförmiges Arbeitsmedium, welches aus dem Arbeitszylinder austritt, aufzufangen.

[0024] Mit den oben genannten Maßnahmen gelingt es, auch einen Teilraum für das Arbeitsmedium (Leckage-Arbeitsmedium), welches unbeabsichtigter Weise gegebenenfalls durch das arbeitsraumseitige Trennwandlager tritt, zu bilden und somit eine Auffangmöglichkeit für das Leckage-Arbeitsmedium, sei es in Dampf oder flüssiger Form zu bilden.

[0025] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass die Dichträume mit einer Ölrücklauf-/Dampfrücklauf-/Kondensatrücklaufleitung kommunizieren.

[0026] In der oben genannten zweckmäßigen Ausführungsform ist eine Möglichkeit angegeben, mit der gegebenenfalls abgeschiedenes Schmieröl oder Arbeitsmedium in den entsprechenden Teilräumen den entsprechenden Kreisläufen wieder zugeführt werden kann. So kann beispielsweise aufgefangenes Schmieröl gegebenenfalls wieder einem Schmierölkreislauf, z. B. dem Kurbelgehäuse zugeführt werden. Leckage-Dampf bzw. Leckage-Arbeitsmedium (flüssig) kann gegebenenfalls wieder an geeigneter Stelle dem Dampfprozess eingespeist werden. Dies kann ohne weitere Vorbehandlung der Medien geschehen, da eine Vermengung mit Schmieröl nicht stattgefunden hat.

[0027] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitszylinder radial außerhalb des Arbeitskolbens einen Niederdruckarbeitsraum aufweist.

[0028] In einer bevorzugten Ausführungsform besitzt der Dampfmotor in einer Radialrichtung **R** (von der Kurbelwellenachse aus gesehen), außerhalb der Arbeitskolben liegend, Niederdruckarbeitsräume. Diese Niederdruckarbeitsräume werden durch den Arbeitskolben begrenzt und verfügen über eine wirk-

same Querschnittsfläche, die der Querschnittsfläche des Arbeitskolbens entspricht.

[0029] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitszylinder radial innerhalb des Arbeitskolbens einen Hochdruckarbeitsraum aufweist.

[0030] Da bereits durch die Kolbenstange ein gewisser Teil des Arbeitsraumes bzw. der wirksamen Querschnittsfläche auf der radial innerhalb des Arbeitskolbens „weggenommen wird“, erscheint es besonders zweckmäßig, denjenigen Teilarbeitsraum, der in Radialrichtung (von der Drehachse der Kurbelwelle aus gesehen) innerhalb des Arbeitskolbens im Arbeitszylinder liegt, als Hochdruckarbeitsraum auszubilden. Die Wirkfläche, auf die das Hochdruckarbeitsmedium einwirken kann, ist die verbleibende Fläche des Arbeitskolbens abzüglich der Fläche der Kolbenstange.

[0031] Gegebenenfalls macht es Sinn, zur Anpassung an die Expansionsbedingungen des Arbeitsmediums eine Kolbenstange verdickt auszubilden, so dass beispielsweise gilt, dass eine verbleibende Hochdruckarbeitsfläche A_H sich zur Niederdruckarbeitsfläche A_N im Niederdruckarbeitsraum verhält wie 1:2,25 bis 1:3. Mit einer derartigen Anordnung ist es möglich, eine zweistufige Expansionsmaschine für unter Druck befindliches Arbeitsmedium bereitzustellen. Insbesondere in der Bauform eines zweizylindrigen Dampfmotors in 180°-V-Anordnung oder in Boxeranordnung ergeben sich somit zwei radial weiter außenliegende Niederdruckarbeitsräume und zwei radial weiter innenliegende Hochdruckarbeitsräume.

[0032] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsräume dampfeinlass- und/oder dampfauslassseitig mittels eines Drehschiebers, insbesondere ein Kugeldrehschieber mit zumindest einer Dampfzuführ- und/oder Dampf-abführleitung verbunden ist.

[0033] Eine Versorgung der Niederdruck- und/oder Hochdruckarbeitsräume des erfindungsgemäßen Dampfmotors mit Arbeitsmedium (Hochdruckdampf, Mitteldruckdampf oder Niederdruckdampf) kann mittels entsprechend angesteuerten Einlass- bzw. Auslassorganen stattfinden. Diese Einlass-/ Auslassorgane sind z. B. als Drehschieber, insbesondere als Scheibendrehschieber oder Kugeldrehschieber ausgebildet.

[0034] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Dampfmotor dadurch gekennzeichnet, dass die Drehschieber mechanisch entkoppelt von der Kurbelwelle mittels Hilfsantrieben in Abhängigkeit von dampfmotorspezifischen Steuer-

größen antreibbar sind, z. B. elektrisch, hydraulisch, pneumatisch oder dergleichen.

[0035] Mit oben genannter Maßnahme ist es in besonders vorteilhafter Art und Weise möglich, die Einlass- und Auslasssteuerorgane für das Arbeitsmedium beim erfindungsgemäßen Dampfmotor unabhängig von der momentanen Kurbelwellendrehzahl anzusteuern, da eine mechanische Kopplung an die Kurbelwelle und somit eine Zwangssteuerung vermieden ist. Es empfiehlt sich gegebenenfalls jedes Einlass-/Auslasssteuerorgan getrennt motorisch, z. B. elektromotorisch, anzutreiben, um in weiten Grenzen eine variable Einstellbarkeit und variable Anpassbarkeit des Betriebspunktes des Dampfmotors sicherzustellen. So kann es beispielsweise durchaus auch vorteilhaft sein, einen Phasenversatz zwischen einem Einlassschieber und einem Auslassschieber durch unterschiedliche elektromotorische, hydraulische oder pneumatische Antriebe zu verändern. Auch kann ein systembedingt vorhandener Nachteil einer Schiebersteuerung, der variable Einlass- und Auslasssteuerzeiten oftmals nur schwer zulässt, in einfacher Art und Weise überwunden werden, indem beispielsweise ein Drehschieber oder ein Scheibenschieber pulsierend beschleunigt oder abgebremst angetrieben wird, sodass eine Einlassöffnung des Schiebers kürzer oder länger mit einer korrespondierenden Einlassöffnung des Arbeitszylinders in Verbindung steht. Eine solche Steuerung ist mit mechanisch entkoppeltem Antrieb von Dreh- oder Kugelschiebern, allgemein gesagt Einlasssteuer- und Auslasssteuerorganen, in besonders einfacher Art und Weise möglich.

[0036] Weiterhin wird die erfindungsgemäße Aufgabe durch einen Arbeitszylinder für einen Dampfmotor mit einer Laufbuchse, in der ein Arbeitskolben verschieblich lagerbar ist, gelöst, wobei die Laufbuchse außenseitig vom einem Material umgeben ist, dessen Wärmeleitfähigkeit λ_A kleiner ist als die Wärmeleitfähigkeit λ_H des keramischen Materials der Laufbuchse.

[0037] Zur weiteren Sicherstellung der Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe wird ein Arbeitszylinder für einen Dampfmotor vorgeschlagen, mit dem es zum einen möglich ist, einen ölfreien, das heißt nicht öl-geschmierten Lauf, ohne das Auftreten von Schadensbildern zu ermöglichen. Ein derartiger Trockenlauf, d. h. schmiermittelfreier Lauf kann beispielsweise mit geeigneten keramischen Werkstoffpaarungen für den Arbeitskolben (Kohlenstoff oder Kohlenstoffkeramiken) und dem Arbeitszylinder (hoch abrasiv widerstandsfähige Keramiken wie z. B. SiC) verwirklicht werden. Beim Einsatz eines Arbeitszylinders in einem Dampfmotor ist es allerdings sehr wichtig, dass so wenig wie möglich Wärme, die mit dem Dampf in das System eingetragen wird, durch Wärmeleitung über Zylinderwandungen verloren geht.

Die Erfindung schlägt daher vor, im Gegensatz zur gängigen Konstruktionsprinzipien im Verbrennungsmotorenbau, die Laufbuchse des Arbeitszylinders, in der der Arbeitskolben axial verschieblich gelagert ist, mit einer wärmedämmenden Mantelschicht zu umgeben. Im Gegensatz zum Bau von Verbrennungsmotoren, bei denen es wichtig ist, möglichst viel Wärme aufgrund der heißen Verbrennung von der Zylinderwand weg in den Kühlmantel zu bringen, sind hier die Interessenlage und die thermisch zu erreichenden Zielvorgaben ganz anders, da der Arbeitsdampf beispielsweise mit einer festen Temperatur (z. B. 350°) bei einem vorgegebenen Druck (beispielsweise 20 bar) eingespeist wird. Durch Expansion des Dampfes im Arbeitszylinder kühlt dieser ab.

[0038] Es ist somit nicht zu erwarten, dass eine Zylinderarbeitstemperatur den Temperaturwert des Dampfes am Hochdruckeinlass übersteigt. Dies ist die höchste Temperatur im System. Bei einem Verbrennungsmotor sieht die Beanspruchungslage ganz anders aus. Hier muss Wärme abgeführt werden, um nicht zu einer Überhitzung der Bauteile zu führen.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitszylinder einen Zylindermantel zur Verbindung des Arbeitszylinders mit einem Kurbelgehäuse eines Kurbelgetriebes aufweist, wobei im Zylindermantel die Laufbuchse befestigt ist.

[0040] In einer besonderen Ausführungsform kann die Laufbuchse in einen Zylindermantel eingebettet sein, der zur Verbindung des Arbeitszylinders an anderen Bauteilen des Dampfmotors z. B. dem Kurbelgehäuse oder zur Verbindung mit einem Zylinderkopf ausgebildet ist.

[0041] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass der thermische Isolator als Glasfaserband oder als Steinwolleband, z. B. als Basaltfaserbund ausgebildet ist oder als Isolatorhülse aus einem keramischen Material ausgebildet ist.

[0042] In einer einfachsten möglichen Ausführungsform kann der thermische Isolator beispielsweise als Glasfaserband oder als Basaltband nach Art einer Umwicklung des Arbeitszylinders ausgebildet sein, was zu einer thermischen Isolierung führt. Die Herstellkosten sind hierbei besonders niedrig.

[0043] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass der thermische Isolator Luftkammern und/oder zumindest teilevakuierte Isolierkammern besitzt, welche von einem Zylindermantel umgrenzt sind.

[0044] Als thermischer Isolator ist es selbstverständlich auch möglich, entsprechende Luftkammern oder zumindest teilevakuierte Luftkammern vorzusehen, bei denen dann das vorhandene Gas (Luft) als Isolator wirkt und einen Wärmetransport nach außen gut ver-/behindert.

[0045] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass der thermische Isolator Luftkammern und/oder zumindest teilevakuierte Isolierkammern besitzt, welche von einem Zylindermantel umgrenzt sind.

[0046] Die Luftkammern oder die zumindest teilweise evakuierten Isolierkammern können beispielsweise durch den Zylindermantel, beispielsweise im Wege des Umgießens gebildet sein.

[0047] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass die Laufbuchse aus einem hinsichtlich Abrasion und Verschleiß besonders widerstandsfähigen keramischen Material, z. B. Siliziumcarbid (SiC), besteht und der thermische Isolator ebenfalls aus einem keramischen Material, z. B. Al_2O_3 , Zirkondioxid (ZrO_2) besteht.

[0048] Die Ausbildung der Laufbuchse aus einem harten widerstandsfähigen, insbesondere gegen Abrasion widerstandsfähigen keramischen Material z. B. Siliziumkarbid hat sich im Bereich der Konstruktion von Verbrennungsmotoren mit schmierölfreien Kolbenzylinderpaarungen bereits bewährt.

[0049] Als thermischer Isolator, der ebenfalls eine keramische Werkstoffbasis hat, kommt z. B. Al_2O_3 in Betracht.

[0050] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass eine Außenseite der Laufbuchse bezüglich einer Zylinderlängsachse eine Konizität aufweist und der Konuswinkel α zwischen einer Zylinderlängsachse und/oder Außenseite weniger als 3° , insbesondere $0,5^\circ$ bis 1° beträgt.

[0051] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Arbeitszylinder dadurch gekennzeichnet, dass der thermische Isolator als keramische Hülse ausgebildet ist, die die Laufbuchse außenseitig umgibt und eine zur Außenseite der Laufbuchse korrespondierend konisch ausgebildete Innenseite besitzt, die den gleichen Konuswinkel α besitzt wie die konische Außenfläche der Laufbuchse.

[0052] Eine Konizität, insbesondere eine gegenläufig ausgebildete Konizität der Laufbuchse und des thermischen Isolators an gegebenenfalls vorhandenen Berührflächen kann gegebenenfalls unterschied-

liche Wärmedehnungen (μ -Werte) der verwendeten Materialien in einfacher Art und Weise ausgleichen, da mit steigender Temperatur die zueinander passenden Hülsen (Laufbuchse und thermische Isolator) durch verschieben entlang der Konizität immer in thermischen Berührung bleiben können.

[0053] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus der nachgelagerten Beschreibung der Ausführungsbeispiele.

Fig. 1: einen erfindungsgemäßen Dampfmotor (Hubkolben-Expansionsmaschine) in einem Querschnitt in einer ersten Ausführungsform.

Fig. 2: einen erfindungsgemäßen Dampfmotor (Hubkolben-Expansionsmaschine) in einem Querschnitt in einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 2a: das Detail X aus **Fig. 2** in schematisierter Ansicht mit einer ersten Ausführungsform einer Dichtung.

Fig. 2b: das Detail X aus **Fig. 2** in schematisierter Ansicht mit einer zweiten Ausführungsform einer Dichtung.

Fig. 2c: das Detail X aus **Fig. 2** in schematisierter Ansicht mit einer dritten Ausführungsform einer Dichtung.

Fig. 3a: stark schematisiert eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Arbeitszylinders;

Fig. 3b: stark schematisiert eine Abwandlung der ersten Ausführungsform gemäß **Fig. 3a**.

Fig. 4: eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Arbeitszylinders.

Fig. 5: eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Arbeitszylinders.

Fig. 6: eine vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Arbeitszylinders.

[0054] Eine erfindungsgemäße Hubkolben-Expansionsmaschine, im Folgenden Dampfmotor **1** bezeichnet, ist in einer ersten Ausführungsform in **Fig. 1** gezeigt. Ein solcher Dampfmotor **1** ist beispielsweise als Zwei-Zylinder-Motor ausgebildet. Für die weitere Beschreibung ist, ausgehend von einer Kurbelwellenmittelachse **M**, eine Radialrichtung **R** definiert. Des Weiteren ist als Längsrichtung **L** eine Richtung entlang einer Längsachse der Kolbenstangen definiert. Bezüglich der Längsrichtung **L** ist eine Zylinderradialrichtung **R_Z** definiert, welche eine Radialrichtung um die Längsrichtung **L** definiert.

[0055] Für die weitere Beschreibung wird der Inhalt der Druckschriften DE 40 178 22 A1, DE 40 178 19 A1 und DE 35 404 41 C2 durch Bezugnahme hierin aufgenommen. In all diesen Druckschriften wird ein Kugeldrehschieber als Zuführorgan für Frischgas bzw.

als Abführorgan für Verbrennungsgas einer Brennkraftmaschine beschrieben. Ein solcher Kugeldreh-schieber kann mit Vorteil für den erfindungsgemäßen Dampfmotor **1** eingesetzt werden.

[0056] Des Weiteren wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung unter Dampf ein gasförmiges Arbeitsmedium verstanden, welches in der Lage ist, unter Expansion Arbeit zu verrichten. Das Arbeitsmedium (der Dampf) kann dabei in einem thermodynamischen Kreisprozess verarbeitet werden. Das expansionsfähige Arbeitsmedium (der Dampf) wird im erfindungsgemäßen Dampfmotor unter Verrichtung von Arbeit expandiert. Im Rahmen eines bekannten thermodynamischen Kreislaufes kann das Arbeitsmedium an anderer Stelle des Kreislaufes, beispielsweise nach einem Kondensator, auch in flüssiger Form vorliegen.

[0057] Der erfindungsgemäße Dampfmotor **1** in den nachfolgenden, näher beschriebenen Ausführungsformen ist beispielhaft mit einem Eingangsdampfdruck von 20 bar, einer Eingangs-Dampf-temperatur von 350° C betreibbar. Als Nenndrehzahl ist der Dampfmotor **1** auf eine Nenndrehzahl von etwa 1500 Umdrehungen/min. ausgelegt. Selbstverständlich kann der erfindungsgemäße Dampfmotor mittels konstruktiver Anpassungen auch für höhere oder niedrigere Eingangs-Dampfdrücke, für höhere oder niedrigere Eingangs-Dampf-temperaturen und/oder für höhere und/oder niedrigere Nenndrehzahlen ausgelegt sein.

[0058] Als Bohrung des Arbeitszylinders ist im vorliegenden Beispiel ein Bohrungsdurchmesser von 75 mm vorgesehen. Ein Hub **H** der Kolbenmaschine liegt ebenfalls bei 75 mm.

[0059] Der erfindungsgemäße Dampfmotor **1** kann als einstufige Expansionsmaschine betrieben werden. Im Folgenden wird der erfindungsgemäße Dampfmotor **1** anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben, welches als zweistufige Hubkolben-Expansionsmaschine arbeitet. Bei der zweistufigen Hubkolben-Expansionsmaschine (Dampfmotor **1**) gemäß der Erfindung wird in einem Hochdruck-Expansionsraum zunächst Arbeitsmedium (Dampf) mit den oben erwähnten Eingangs-Zustandsgrößen (Eingangsdampfdruck, Eingangstemperatur) auf ein Zwischendruckniveau expandiert. Ausgehend von diesem Zwischendruckniveau wird das Arbeitsmedium in eine Niederdruck-Expansionskammer geleitet, in welcher das Arbeitsmedium, ausgehend vom Zwischendruckniveau auf ein Niederdruckniveau expandiert wird.

[0060] Der erfindungsgemäße Dampfmotor **1** besitzt ein Kurbelgehäuse **2**, einen ersten Arbeitszylinder **3a** und einen zweiten Arbeitszylinder **3b**. In den Arbeitszylindern **3a**, **3b** sind Arbeitskolben **4** in der Längsrichtung **L** verlagerbar angeordnet. Die Arbeitskolben

4 stehen jeweils mit Kolbenstangen **5** mit einer Kurbelschleife **6** in Verbindung. Die Kurbelschleife **6** sitzt in einem Innenraum **7** des Kurbelgehäuses **2**. Innerhalb der Kurbelschleife ist ein Gleitstein **8** angeordnet, welcher in einer Richtung vertikal zur Zeichenebene der **Fig. 1**, innerhalb der Kurbelschleife **6** verschieblich gelagert ist. Der Gleitstein **8** sitzt auf einem Kurbelzapfen (nicht gezeigt) einer Kurbelwelle **9**. Die Kurbelwelle **9** ist in geeigneten Lagern **10** im Kurbelgehäuse **2** drehbar um die Mittelachse **M** gelagert. Die Kolbenstangen **5** durchgreifen entlang ihrer Längsrichtung **L** ein erstes Trennwandlager **20**, welches in einer Außenwandung des Kurbelgehäuses **2** angeordnet ist.

[0061] Im weiteren Verlauf, entlang der Längsrichtung **L** durchgreifen die Kurbelstangen **5** ein zweites Trennwandlager **30** und sind am freien Ende der Kolbenstangen **5** mit dem Arbeitskolben **4** verbunden. Das zweite Trennwandlager **30** ist beispielsweise als dampfdichte Stopfbuchse ausgebildet, jedenfalls als dampfdichtes Gebilde, welches in der Lage ist, unter Druck stehendes Arbeitsmedium (Dampf) bis auf geringe Leckage-Mengen gegenüber einer Umgebung **100** abzudichten.

[0062] Die Aufgabe des ersten Trennwandlagers **20** ist es, eine Ölbenetzung mit Schmieröl, welches im Innenraum **7** des Kurbelgehäuses zur Schmierung des Kurbeltriebes vorgesehen ist, möglichst nicht nach außen gelangen zu lassen. Derartige Trennwandlager sind beispielsweise aus der DE 10 2010 053 271.1 bekannt. Sie haben eine hohe Abdichteffektivität. Eine 100%-ige Abdichtung ist allerdings schon aufgrund von Fertigungstoleranzen nicht gänzlich sicherzustellen. Alleine schon aufgrund von Oberflächenrauigkeiten auf einer Oberseite der Kolbenstange **5** kann es vorkommen, dass die Kolbenstange **5** beim Durchlaufen des ersten Trennwandlagers **20** in einen Außenbereich radial außerhalb des Trennwandlagers an der Oberfläche mitzieht.

[0063] Ziel der Erfindung ist es nunmehr, ein solches Leckage-Öl zuverlässig daran zu hindern, mit dem Arbeitsmedium (Dampf) in Kontakt zu kommen, damit eine Verunreinigung des Arbeitsmediums (Dampf) mit Schmieröl sicher nicht auftreten kann. Hierzu ist erfindungsgemäß vorgesehen, das erste Trennwandlager **20** und das zweite Trennwandlager **30** vorzusehen, welche zwischen sich einen Abstand **A**, also eine freie Länge haben. Das Vorsehen zweier beabstandeter Trennwandlager **20**, **30** ermöglicht es, ein in Kontakt gelangen von Schmieröl aus dem Kurbelgehäuse **2** mit einem Arbeitsmedium im Arbeitszylinder zu vermeiden. Dies gelingt insbesondere dann ohne weitere Hilfsmittel besonders gut, wenn der Abstand **A** zwischen den Trennwandlagern gleich oder größer ist als der Hub **H** des Arbeitskolbens **4** im Arbeitszylinder **3a**, **3b**, weil dann ein Gegebenenfalls mit

Öl benetzter Oberflächenabschnitt der Pleuellstange **5** auch bei maximalem Pleuell **H** nicht in einen Kontaktbereich des zweiten Pleuellwandlagers **30** mit der Pleuellstange **5** gelangen kann und somit eine Vermischung von Leckage-Dampf und Schmieröl unterbunden ist.

[0064] Eine Kernidee der Erfindung ist somit das Vorsehen zweier getrennter Pleuellwandlagers **20**, **30**, wobei das erste Pleuellwandlager **20** dazu vorgesehen und ausgebildet ist, Öl von der Pleuellstange **15** in möglichst hohem Maße abzustreifen und das zweite Pleuellwandlager **30** dazu vorgesehen und ausgebildet ist, Leckage-Dampf möglichst nicht aus dem Pleuellzylinder **3a**, **3b** in die Umgebung **100** zu entlassen, vorzusehen und somit eine Vermischung von Schmieröl aus dem Pleuellgehäuse **2** mit dem Pleuellmedium zu vermeiden.

[0065] Eine derartige erfindungsgemäße Konstruktion des Pleuellmotors **1** ist möglich, wenn es gelingt, die Pleuellkolben **4** schmierstofffrei, d. h. ungeschmiert in den entsprechenden Pleuellzylindern **3a**, **3b** laufen lassen zu können, ohne wesentlichen Verschleiß zu verursachen.

[0066] Hierzu wurde eine geeignete Pleuell-Zylinderpaarung gefunden, die es ermöglicht, die Pleuellkolben-Expansionsmaschine (den Pleuellmotor **1**) mit einer schmierstofffreien Pleuell-Zylinderpaarung zu betreiben. Als Ausführungsbeispiel sei hier erwähnt, dass der Pleuellkolben **4** beispielsweise als Kohlenstoffkolben ausgebildet ist. Ein solcher Kohlenstoffkolben weist zumindest im Kontaktbereich mit dem Pleuellzylinder **3a** bzw. **3b** eine Lauffläche oder eine Laufflächenbeschichtung oder einen Laufkörper auf, der aus einer Kohlenstoffkeramik besteht. Als Pleuellzylinder **4** hat sich insbesondere ein abrasiv hoch widerstandsfähiges Keramikmaterial, z. B. Siliziumkarbid, bewährt.

[0067] Mit dieser Pleuell-Zylinder-Materialkombination, die bereits aus dem Pleuellkraftmaschinenbau vorbekannt ist, gelingt ein schmierölfreier Betrieb der Pleuellpaarung zwischen dem Pleuellkolben **4** und dem Pleuellzylinder **3a**, **3b**, sodass im pleuellmediumführenden Bereich, das heißt im pleuellführenden Bereich des Pleuellzylinders **4** kein Schmiermittel erforderlich ist. Diese Erkenntnis nutzend und durch das erfindungsgemäße Vorsehen zweier getrennter Pleuellwandlagers ist es möglich, eine Pleuellkolben-Expansionsmaschine in der Pleuellschleifenbauart als Pleuellmotor mit Vorteil einzusetzen, weil durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen eine Verunreinigung des Pleuellmediums mit Schmieröl vermieden werden kann. Hierdurch entfallen aufwendige Reinigungs- und Öl/Dampftrennungsvorrichtungen im Pleuellkreislauf. Dieser Vorteil lässt sich insbesondere beim mobilen Einsatz des erfindungsgemäßen Pleuellmotors **1** nutzen, beispielsweise bei ei-

ner Umwandlung von in Abgas eines Pleuellmotors enthaltenen Pleuellenergie in Pleuellenergie mittels des Pleuellmotors **1**. Eine derartige Nutzung von Abwärme aus Abgasen von Pleuellmotoren, z. B. Lkw-Dieselmotoren, ist vor dem Hintergrund stetig steigender Anforderungen hinsichtlich minimalem Verbrauch zunehmend wünschenswert.

[0068] Um einen mobilen Einsatz sinnvoll möglich zu machen ist jedoch von entscheidender Bedeutung, dass ein Pleuellmotor **1** bzw. weitere Gerätschaften, die zur Ausbildung eines Pleuellkraftprozesses notwendig sind, so leicht wie möglich sind. Ebenfalls ist es essentiell, dass derartige Pleuellkreisläufe und Aggregate hierfür möglichst kostengünstig aufgebaut werden können. Mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Pleuellmotors **1** kann auf eine Ölabscheidevorrichtung zum Trennen von Leckage-Öl aus Leckage-Dampf bzw. Pleuellmedium verzichtet werden, da eine Vermischung von Leckage-Öl mit Leckage-Pleuellmedium vermieden ist.

[0069] Im Folgenden wird die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Pleuellmotors kurz erläutert. Der Pleuellmotor **1** kann als einstufige Pleuellkolben-Expansionsmaschine betrieben werden, oder auch nach Art eines Pleuellpleuellmotors mit einer Hochdruckstufe und einer Niederdruckstufe. Im Falle eines Betriebs in Pleuellpleuellweise, d. h. mit einem Hochdruckpleuellraum und einem Niederdruckpleuellraum befindet sich der Hochdruckpleuellraum bevorzugt zwischen der pleuellstangenseitigen Unterseite des Pleuellkolbens **4** und einem das zweite Pleuellwandlager **30** enthaltende Pleuellabschlusstück **31**. Der Niederdruckpleuellraum ist bevorzugt zwischen einer in Radialrichtung äußeren freien Oberseite des Pleuellkolbens **4** und einem Pleuellzylinderkopf **32** bzw. einem Pleuellzylinderabschlusstück **32** gebildet.

[0070] Sowohl der Hochdruckpleuellraum wie auch der Niederdruckpleuellraum ist mit mindestens einem Pleuellversorgungskanal **34/35** ausgestattet, welche jeweils mit einem Pleuellsteuerorgan **34a**, **35a** zusammenwirken. Die Pleuellsteuerorgane **34a**, **35a** können als klassische Pleuellflachschieber, Pleuellscheibenschieber oder dergleichen ausgebildet sein. Besonders bevorzugt sind die Pleuellsteuerorgane **34a**, **35a** als Pleuellkugeldrehschieber in der eingangs genannten Bauart gemäß einer der PleuellDruckschriften DE 40 178 22 A1, DE 40 178 19 A1 und DE 35 404 41 C2 ausgebildet. Bevorzugt ist eine PleuellDrehachse der Pleuellkugeldrehschieber senkrecht zur PleuellLängsrichtung **L** und versetzt zu dieser angeordnet.

[0071] Weiterhin bevorzugt besteht keine mechanische PleuellKopplung der Pleuellkugeldrehschieber **34a**, **35a** mit der PleuellKurbelwelle. Sie sind bevorzugt mittels eines separaten PleuellAntriebes (z. B. PleuellMotoren **40**, **41**) antreibbar. Die PleuellMotoren **40**, **41** können ohne Weiteres unabhängig voneinander und mechanisch entkoppelt von der PleuellKurbelwellenposition/-drehung betätigt werden. Eine

explizite Steuerung der Motoren **41**, **40** kann sich aber selbstverständlich an Sensorsignalen, die beispielsweise eine Kurbelwellenstellung oder eine Kurbelwellendrehzahl repräsentieren, orientieren. Mit einer derartigen Anordnung ist es aber möglich, Steuerzeiten im Verhältnis zur Kurbelwellenstellung/Kurbelwellendrehzahl über die Zeit in Grenzen zu variieren, um den Lauf des Dampfmotors zu optimieren.

[0072] Des Weiteren kann vorgesehen sein, die Motoren **41**, **40** pulsierend anzutreiben, so dass gegebenenfalls über eine unterschiedlich schnelle Bewegung des Kugeldrehschiebers während einer Umdrehung eine Variation der Öffnungszeiten bzw. Schließzeiten des Schiebers erreicht werden kann.

[0073] In einer Weiterentwicklung der Ausführungsform gemäß des erfindungsgemäßen Dampfmotors **1**, gemäß **Fig. 1**, ist vorgesehen, dass die Kolbenstange **5** mindestens mit einer Dichtung **200** zusammenwirkt, welche einen Dichtraum für Leckage-Dampf aus dem Arbeitszylinder oder für Leckage-Öl aus dem Kurbelgehäuse bildet und insbesondere dieser Dichtraum enthaltend das Leckage-Öl bzw. Leckage-Dampf/Leckage-Arbeitsmedium kontrolliert aus dem Dichtraum ausführbar ist. Dies z. B. mittels einer Auslassleitung (nicht dargestellt).

[0074] In einer weiteren Ausführungsform kann die Kolbenstange auch zwei Dichtungen **200** besitzen, welche einen Dichtraum für Leckage-Dampf und einen Dichtraum für Leckage-Öl umgrenzen.

[0075] Im Folgenden werden anhand der **Fig. 2a**, **Fig. 2b** und **Fig. 2c** unterschiedliche Ausführungsformen der Dichtungen **200**/Dichträume schematisch dargestellt und beschrieben.

[0076] In einer ersten Ausführungsform ist die Dichtung **200** als Rollmembrandichtung ausgebildet und ist einendig auf einem umlaufenden Vorsprung **201** mit der Kolbenstange **5** verbunden. Alternativ kann der Vorsprung **201** auch entfallen und die Dichtung **200** kann mit ihrem umgestülpten ersten Endbereich **202** auf der Kolbenstange **5** selbst dicht und fest mit dieser verbunden angeordnet sein. Durch die feste Verbindung entsteht eine sogenannte statische Dichtung, wobei keine Relativbewegung mehr zwischen einem dichtenden Element (Dichtungen **200**) und einem abzudichtenden Element (Kolbenstange **5**) stattfindet. Solche Dichtungen **200** können auch im Dauerlauf als vollständig dichte Verbindungen ausgebildet werden.

[0077] In der oberen Bildhälfte von **Fig. 2a** ist die Dichtung **200** in einer Stellung gezeigt, in der die Kolbenstange **5** in der Längsrichtung **L** ganz nach links ausgelenkt ist. Schematisch und nicht maßstäblich ist in der unteren Bildhälfte der **Fig. 2a** die Dichtung **200** in einer Stellung gezeigt, in der die Kolbenstange in

der Längsrichtung **L** ganz nach rechts verfahren ist. Anderendig ist die Dichtung **200** beispielsweise an dem Trennwandlager **20** oder an einem anderen geeigneten Gehäuseteil dichtend befestigt.

[0078] Mit dieser Dichtungstechnik entsteht ein Dichtraum **300**, welcher in der Lage ist, Leckage-Öl **301**, welches an der Oberfläche der Kolbenstange **5** das erste Trennwandlager **20** durchdringt, aus dem Kurbelgehäuse **2** entweichen kann. Dieses gelangt in den Dichtraum **300** und die Dichtung **200** verhindert zuverlässig, dass Leckage-Öl **301** gegebenenfalls mit Leckage-Dampf **401**, welcher das zweite Trennwandlager **30** durchdringen kann, vermischt wird. Hierdurch gelingt es, eine vollständige Trennung zwischen Schmieröl und Arbeitsmedium herbeizuführen.

[0079] In einer zweiten Ausführungsform der Dichtung **200** gemäß **Fig. 2b** ist diese Dichtung als sich radial, das heißt in Zylinderradialrichtung **R_Z** erstreckende Wellmembrandichtung ausgebildet. Sie ist an ihrem in Zylinderradialrichtung **R_Z** inneren Ende auf dem Vorsprung **201** der Kolbenstange **5** oder auf der Kolbenstange **5** direkt diese dichtend umgebend angeordnet. Eine derartige Wellmembrandichtung teilt den Bereich zwischen den Trennwandlagern **20**, **30** in einen Dampfbereich (erster Dichtraum) und einen Schmierölbereich (zweiter Dichtraum) auf, die vollständig dicht voneinander getrennt sind. Der Dampfbereich (in **Fig. 2b** links von der Dichtung **200**) und der Schmierölbereich (in **Fig. 2b** der Bereich rechts von der Wellmembrandichtung **200**) können über geeignete Auslässe gesammelte Leckage-Dampf/Leckage-Arbeitsmedium bzw. gesammeltes Leckage-Öl dem Arbeitsmedienkreis bzw. den Schmierstoffkreis des Dampfmotors **1** wieder zugänglich machen.

[0080] In einer weiteren Ausführungsform gemäß der Erfindung (**Fig. 2c**) ist die Dichtung **200** als längenveränderbarer Dichtbalg ausgebildet, welcher einendig dicht mit dem Vorsprung **201** der Kolbenstange **5** oder direkt auf der Kolbenstange **5** befestigt ist und anderendig am Trennwandlager **20** dichtend angebracht ist. Selbstverständlich kann die Dichtung **200** dieser Ausführungsform auch an einem anderen geeigneten Gehäuseteil vorgesehen sein. Im Beispiel gemäß **Fig. 2c** ist die Dichtung **200** zur Schaffung eines Dichtraums für Leckage-Öl gezeichnet. Selbstverständlich ist eine derartige Dichtung alternativ oder zusätzlich auch möglich, um einen Dichtraum für Leckage-Dampf zu bilden. In einem solchen Fall ist die Dichtung **200** zwischen der Kolbenstange **5** und einem Gehäuseteil des zweiten Trennwandlagers **30** derart angeordnet, dass ein Dichtraum für Leckage-Dampf gebildet ist, der getrennt von der Umgebung **100** bzw. getrennt von einem Dichtraum für Leckage-Öl vorliegt.

[0081] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Arbeitszylinder **500** zum Einsatz bei einem erfindungsgemäßen Dampfmotor **1**. Der Arbeitszylinder **500** besitzt eine Laufbuchse **501**, in der ein Arbeitskolben **4** (vgl. **Fig. 1**, **Fig. 2**) verschieblich lagerbar ist. Die Laufbuchse **501** ist außenseitig von einem Material umgeben, dessen Wärmeleitfähigkeit λ_A kleiner ist als die Wärmeleitfähigkeit λ_H des keramischen Materials der Laufbuchse **501**. Als keramisches Material für die Laufbuchse **501** kommt insbesondere ein abrasiv besonders widerstandsfähiges keramisches Material in Frage. Beispielhaft seien hier Siliziumcarbid, Zirkonoxid... genannt.

[0082] Die Laufbuchse **501** ist außenseitig von einem Material umgeben, welches gegenüber dem Material der Laufbuchse **501** ein stärkerer thermischer Isolator ist. Beispielsweise kann dieses Material, welches im Folgenden mit dem Bezugszeichen **502** gekennzeichnet ist, ebenfalls ein keramisches Material, z. B. ein Aluminiumoxid (Al_2O_3) oder Zirkondioxid (ZrO_2) sein. Das Material **502** kann aber auch ein gasförmiges Material, z. B. Luft, sein, welches in geeigneten Kammern eingeschlossen ist. Solche Kammern können beispielsweise von einem Zylindermantel **503** ausgebildet werden. In der Ausführungsform gemäß **Fig. 3a** ist das thermisch isolierende Material eine keramische Hülse aus Al_2O_3 , welche in dem Zylindermantel **503** eingebettet ist.

[0083] In einer weiteren Ausführungsform ist die Laufbuchse **501** an ihrer Außenseite konisch ausgebildet und weist einen Konuswinkel α auf, der bevorzugt weniger als 3° , insbesondere $0,5^\circ$ bis 1° beträgt.

[0084] Korrespondierend und gegenkonisch mit dem gleichen Konuswinkel α ist eine Isolatorhülse **504** vorgesehen, in die in Längsrichtung **L** gesehen, die Laufbuchse **501** eingesteckt ist. In der stark schematisierten Darstellung gemäß **Fig. 3b** ist ein solcher erfindungsgemäßer Arbeitszylinder im Querschnitt dargestellt. Dieser Arbeitszylinder sitzt in einer entsprechenden Aufnahme eines Kurbelgehäuses **2**, wobei in Längsrichtung, beabstandet vom Kurbelgehäuse **2**, ein Zylinderkopf **505** schematisch dargestellt ist. Der Zylinderkopf **505** ist mittels geeigneter Zylinderkopfschrauben oder Stehbolzen **506** gegenüber dem Kurbelgehäuse **2** verspannt. Weiterhin schematisch dargestellt ist ein Dampfeinlass/-auslass **34;35**.

[0085] In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Arbeitszylinders **500** ist die Laufbuchse **501** aus keramischen Material - wie vorbeschrieben - gebildet. Der Zylindermantel **503** ist beispielsweise mittels O-Ring-Dichtungen **506a** gegenüber einer Außenseite der Laufbuchse **501** abgedichtet. Der Zylindermantel **503** bildet gegenüber der Laufbuchse **501** eine oder mehrere Kammern **507**. Die Kammer **507** kann zum Zwecke der Wärmeiso-

lation beispielsweise zumindest teilvakuiert oder mit einem gegenüber dem Material der Laufbuchse **501** schlechter wärmeleitendem Gas oder einer Flüssigkeit mit gegenüber dem Material der Laufbuchse **501** niedrigerer Wärmeleitfähigkeit ausgefüllt sein.

[0086] Der Arbeitszylinder **500** gemäß **Fig. 4** kann in vergleichbarer Art und Weise mittels geeigneter Befestigungseinrichtungen vergleichbar zur Ausführungsform gemäß **Fig. 3b** zwischen einem Zylinderkopf **505** und einem Kurbelgehäuse **2** eines Dampfmotors **1** verspannt angeordnet sein.

[0087] In einer weiteren Ausführungsform (**Fig. 5**) ist eine Laufbuchse **501** aus keramischen Material, welches gegenüber Abrasion eine besonders hohe Widerstandsfähigkeit aufweist zum Zwecke ihrer außenseitigen Isolation mit einem bandförmigen Isolationsmaterial **502** umwickelt. Als solches bandförmiges Isolationsmaterial kommt beispielsweise ein Glasfaserband oder ein Basaltwolleband zum Einsatz, welches bevorzugt mit Überlappungen **508** außenseitig um die Laufbuchse **501** gewickelt ist.

[0088] Eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Arbeitszylinders **500** ist in **Fig. 6** gezeigt. Die Laufbuchse **501** sitzt dabei im Betriebszustand, beispielsweise in der Anwendung in einem Dampfmotor **1** zwischen einem Kurbelgehäuse **2** und einem Zylinderkopf **505**. Schematisch dargestellt sind in der **Fig. 6** Befestigungsbolzen **506**, mit denen der Zylinderkopf **505**, den Arbeitszylinder **500** einspannend am Kurbelgehäuse **2** befestigt ist. In der Ausführungsform gemäß **Fig. 6** ist das Isoliermaterial **502**, welches die Laufbuchse **501** außenseitig umgibt, aus einem geeigneten temperaturbeständigen, Poren aufweisenden Kunststoff- oder Keramikisolationsmaterial ausgebildet, beispielsweise einem hitzebeständigen Schaum oder dergleichen. Der erfindungsgemäße Arbeitszylinder **500** kann bevorzugt bei einem Dampfmotor **1**, der beispielsweise mit einem Dampfeingangsdruck von 20 bar und einer Dampfeingangstemperatur von $350^\circ C$ betrieben wird, zum Einsatz kommen. Die Außenseite der Laufbuchse **501** wird somit höchstens Temperaturen von $350^\circ C$ erreichen. Als thermischer Isolator genügt somit gemäß der erfindungsgemäßen Ausführungsform nach **Fig. 6** ein entsprechend wärmebeständiger und z. B. poren aufweisender Kunststoff. Wesentlich ist, dass das die Laufbuchse **501** umgebende Material **502** eine geringere Wärmeleitfähigkeit λ besitzt als das keramische Material der Laufbuchse **501**.

Bezugszeichenliste

1	Dampfmotor
2	Kurbelgehäuse
3a	erster Arbeitszylinder
3b	zweiter Arbeitszylinder

4	Arbeitskolben
5	Kolbenstange
6	Kurbelschlaufe
7	Innenraum
8	Gleitstein
9	Kurbelwelle
10	Lager
20	erstes Trennwandlager
30	zweites Trennwandlager
31	Bodenabschlussstück
32	Zylinderkopf
100	Umgebung
200	Dichtung
201	Vorsprung
202	Endbereich
500	Arbeitszylinder
501	Laufbuchse
502	Material
503	Zylindermantel
504	Isolatorhülse
505	Zylinderkopf
506	Stehbolzen
506a	O-Ring-Dichtungen
507	Kammer
508	Überlappungen
α	Konuswinkel
λ	Wärmeleitfähigkeit
A	Abstand
H	Hub
M	Mittelachse
R	Radialrichtung
L	Längsrichtung
R_Z	Zylinderradialrichtung

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102010038538 A1 [0002]
- DE 102010038543 A1 [0002]
- DE 102010038532 A1 [0002]
- DE 102010038546 A1 [0002]
- DE 102010038542 A1 [0002]
- WO 2012/072295 A1 [0012]
- DE 4017822 A1 [0055, 0070]
- DE 4017819 A1 [0055, 0070]
- DE 3540441 C2 [0055, 0070]
- DE 102010053271 [0062]

Patentansprüche

1. Dampfmotor mit mindestens einem, in einem Arbeitszylinder (500) angeordneten Arbeitskolben (4) und mit mindestens einem in einem Kurbelgehäuse (2) angeordneten Kurbelschlaufengetriebe (6) zur Umwandlung einer linear oszillierenden Bewegung des Arbeitskolbens (4) in eine Drehbewegung einer Kurbelwelle (9), **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kolbenstange (5) zumindest in Kolbenstangenrichtung axial hintereinander zwei Trennwandlager durchgreift, wobei ein erstes Trennwandlager (20) den Arbeitszylinder (500) gegenüber der Umgebung abdichtet und ein zweites Trennwandlager (30) das Kurbelgehäuse (2) gegenüber der Umgebung abdichtet.

2. Dampfmotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine freie Länge L der Kolbenstange (5) zwischen den Trennwandlagern größer als ein Hub (H) des Kurbelschlaufengetriebes (6) ist.

3. Dampfmotor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine statische, d. h. zumindest an der Kolbenstange (5) ortsfest befestigte Dichtung vorhanden ist, die einen ersten Dichtraum bildet, der dazu eingerichtet und ausgebildet ist, Leckage-Öl, welches das zweite Trennwandlager (30) passiert hat und aus dem Kurbelgehäuse (2) austritt, aufzufangen.

4. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine statische, d. h. an der Kolbenstange (5) ortsfest befestigte Dichtung (200) vorhanden ist, die einen zweiten Dichtraum bildet, der dazu eingerichtet und ausgebildet ist, flüssiges und/oder gasförmiges Leckage-Arbeitsmedium, welches das erste Trennwandlager (20) passiert hat und aus dem Arbeitszylinder (500) austritt, aufzufangen.

5. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtung (200) einendig unbeweglich bezüglich der Kolbenstange (5) an dieser befestigt ist und anderend relativ zu einem Gehäuseteil des Dampfmotors 1, z. B. einem Trennwandlagergehäuse oder einem Kurbelgehäuseabschnitt unbeweglich befestigt ist oder anderend an einen arbeitszylinderseitigen Gehäuseabschnitt befestigt ist.

6. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtung (200) als Rollmembrandichtung ausgebildet ist.

7. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtung (200) als Wellmembrandichtung ausgebildet ist.

8. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtung (200) als längenveränderbarer Dichtbalg ausgebildet ist.

9. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichträume mit einer Ölrücklauf-/Dampfdruckrücklauf-/Kondensatrücklaufleitung kommunizieren.

10. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitszylinder (500) radial außerhalb des Arbeitskolbens (4) einen Niederdruckarbeitsraum aufweist.

11. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitszylinder (500) radial innerhalb des Arbeitskolbens (500) einen Hochdruckarbeitsraum aufweist.

12. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Arbeitsräume dampfeinlass- und/oder dampfauslassseitig mittels eines Drehschiebers, insbesondere mittels eines Kugeldrehschiebers mit zumindest einer Dampfzuführ- und/oder Dampfabführleitung verbunden sind.

13. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehschieber mechanisch entkoppelt von der Kurbelwelle (9) mittels Hilfsantrieben in Abhängigkeit von dampfmotorspezifischen Steuergrößen antreibbar sind, z. B. elektrisch, hydraulisch, pneumatisch oder dergleichen.

14. Dampfmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Drehachse des Drehschiebers bzw. Drehachsen der Drehschieber, insbesondere der Kugeldrehschieber nicht parallel, d. h. windschief zur Kolbenstangenlängsachse verlaufen, insbesondere in einer Draufsicht, rechtwinklig beabstandet zur Kolbenstangenlängsachse verlaufen.

15. Arbeitszylinder für einen Dampfmotor mit einer Laufbuchse, in der ein Arbeitskolben verschieblich lagerbar ist, wobei die Laufbuchse außenseitig von einem Material umgeben ist, dessen Wärmeleitfähigkeit λ_A kleiner ist als die Wärmeleitfähigkeit λ_H des keramischen Materials der Laufbuchse.

16. Arbeitszylinder nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitszylinder (500) einen Zylindermantel (503) zur Verbindung des Arbeitszylinders (500) mit einem Kurbelgehäuse (2) eines Kurbelgetriebes aufweist, wobei im Zylindermantel (503) die Laufbuchse befestigt ist.

17. Arbeitszylinder nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermische Isolator als Glasfaserband ausgebildet ist oder als Isolatorhülse aus einem keramischen Material ausgebildet ist.

18. Arbeitszylinder nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermische Isolator Luftkammern und/oder zumindest teilevakuierte Isolierkammern besitzt, welche von einem Zylindermantel (504) umgrenzt sind.

19. Arbeitszylinder nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laufbuchse aus einem hinsichtlich Abrasion und Verschleiß besonders widerstandsfähigen keramischen Material, z. B. Siliziumcarbid (SiC) besteht und der thermische Isolator ebenfalls aus einem keramischen Material, z. B. Al_2O_3 , ZrO_2 besteht.

20. Arbeitszylinder nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Außenseite der Laufbuchse bezüglich einer Zylinderlängsachse eine Konizität aufweist und der Konuswinkel α weniger als 3° , insbesondere $0,5^\circ$ bis 1° beträgt.

21. Arbeitszylinder nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermische Isolator als keramische Hülse ausgebildet ist, die die Laufbuchse außenseitig umgibt und eine zur Außenseite der Laufbuchse korrespondierend konisch ausgebildete Innenseite besitzt, die den gleichen Konuswinkel α besitzt, wie die konische Außenfläche der Laufbuchse.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

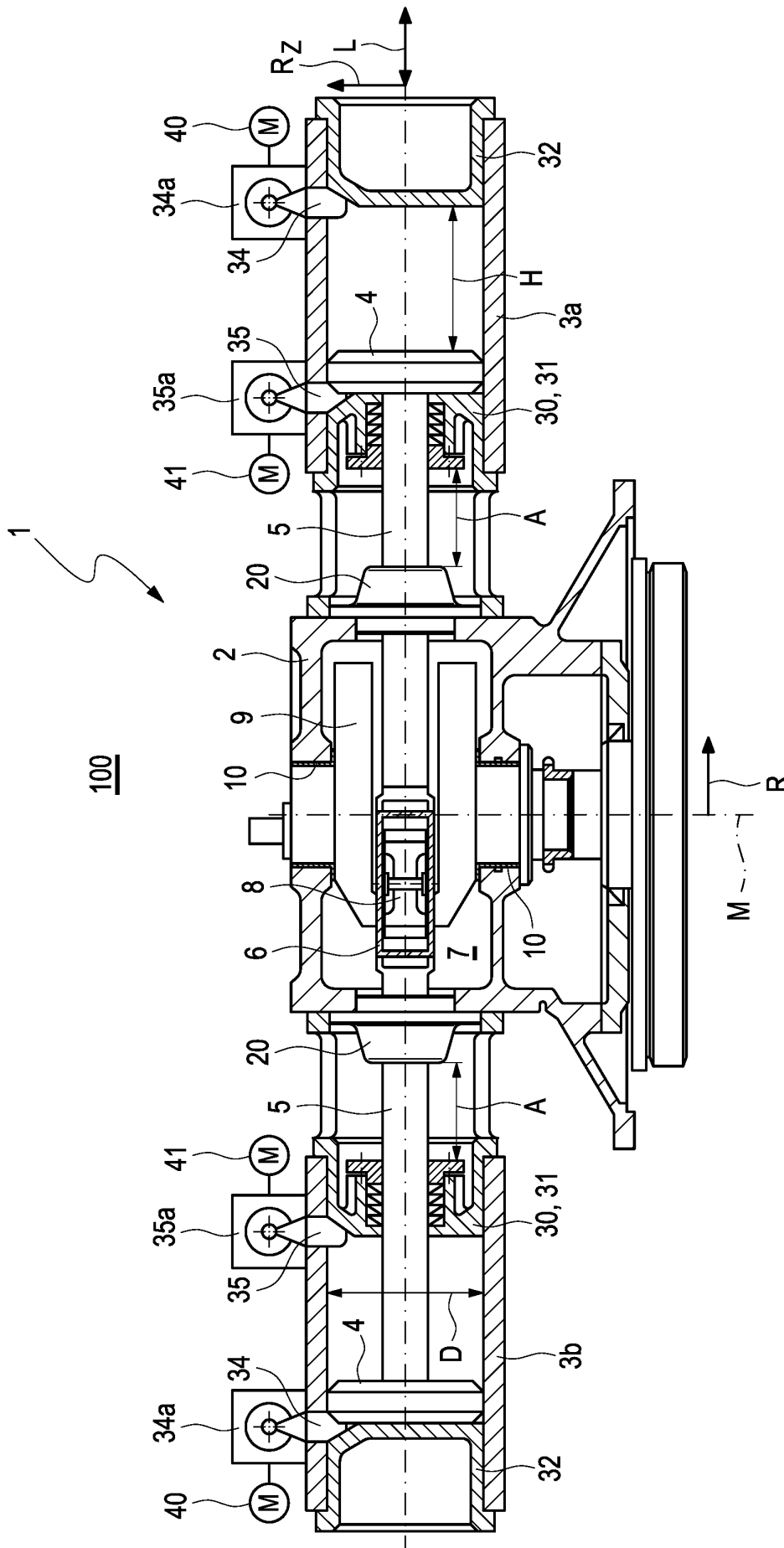


Fig. 1

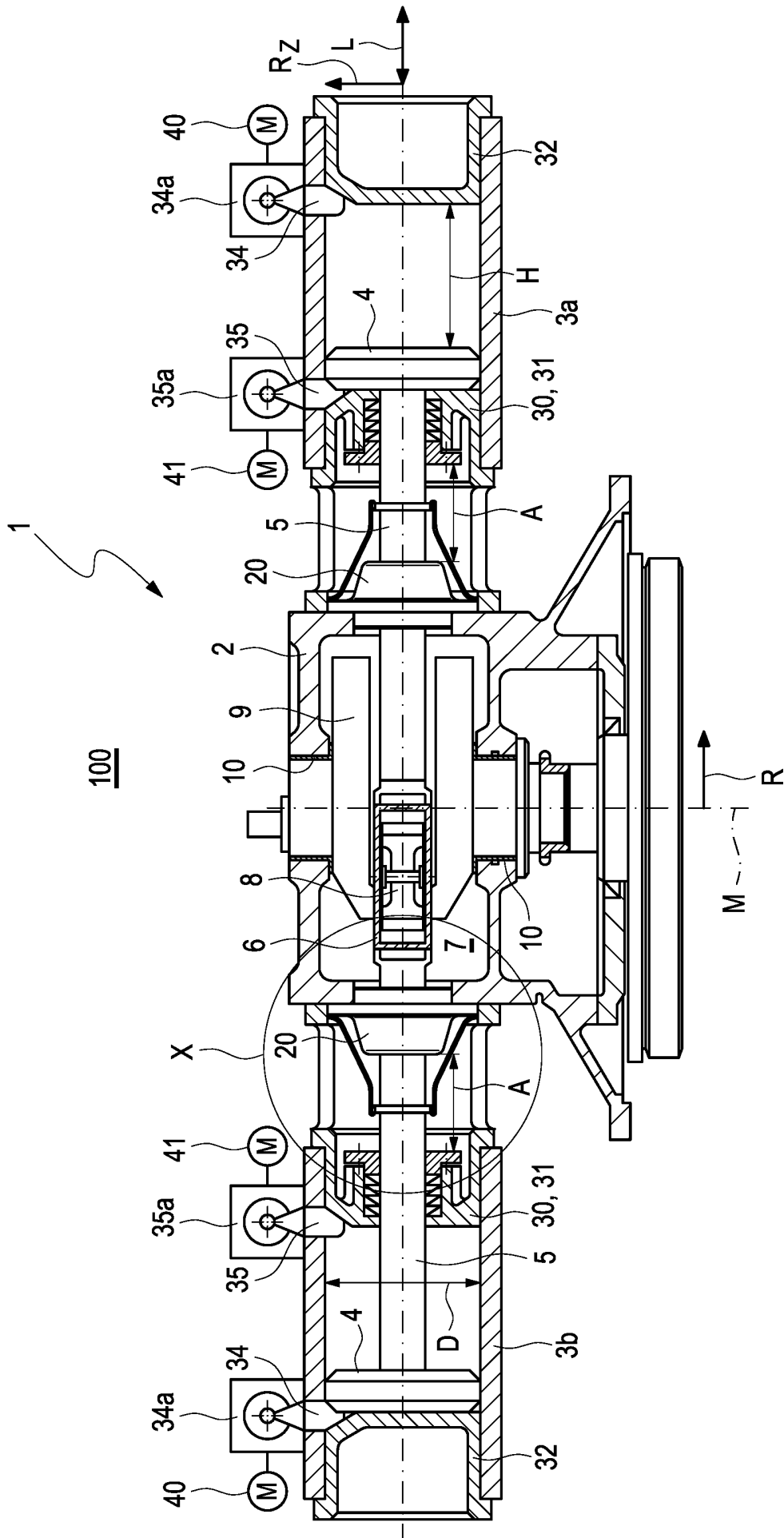


Fig. 2

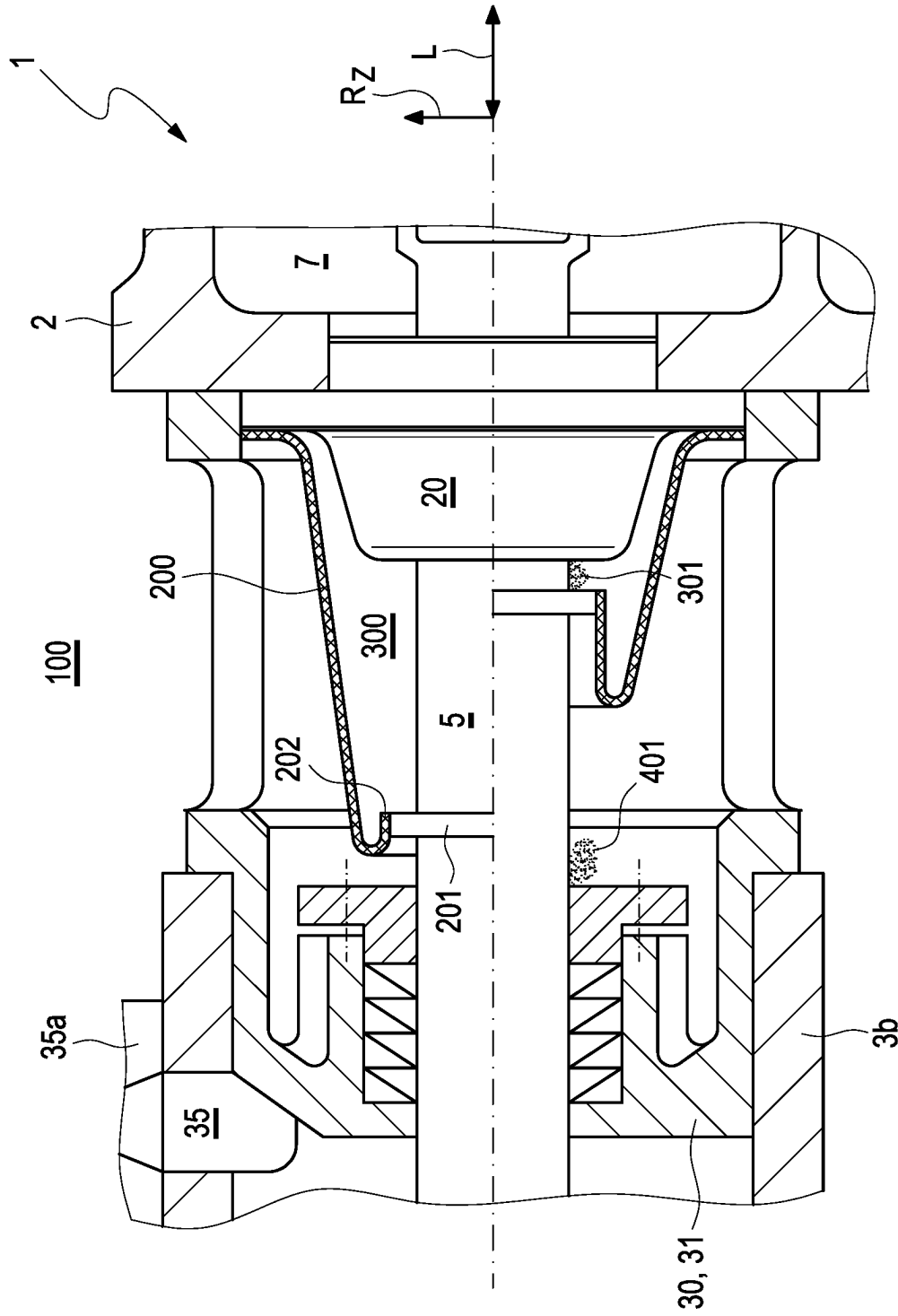


Fig. 2 a

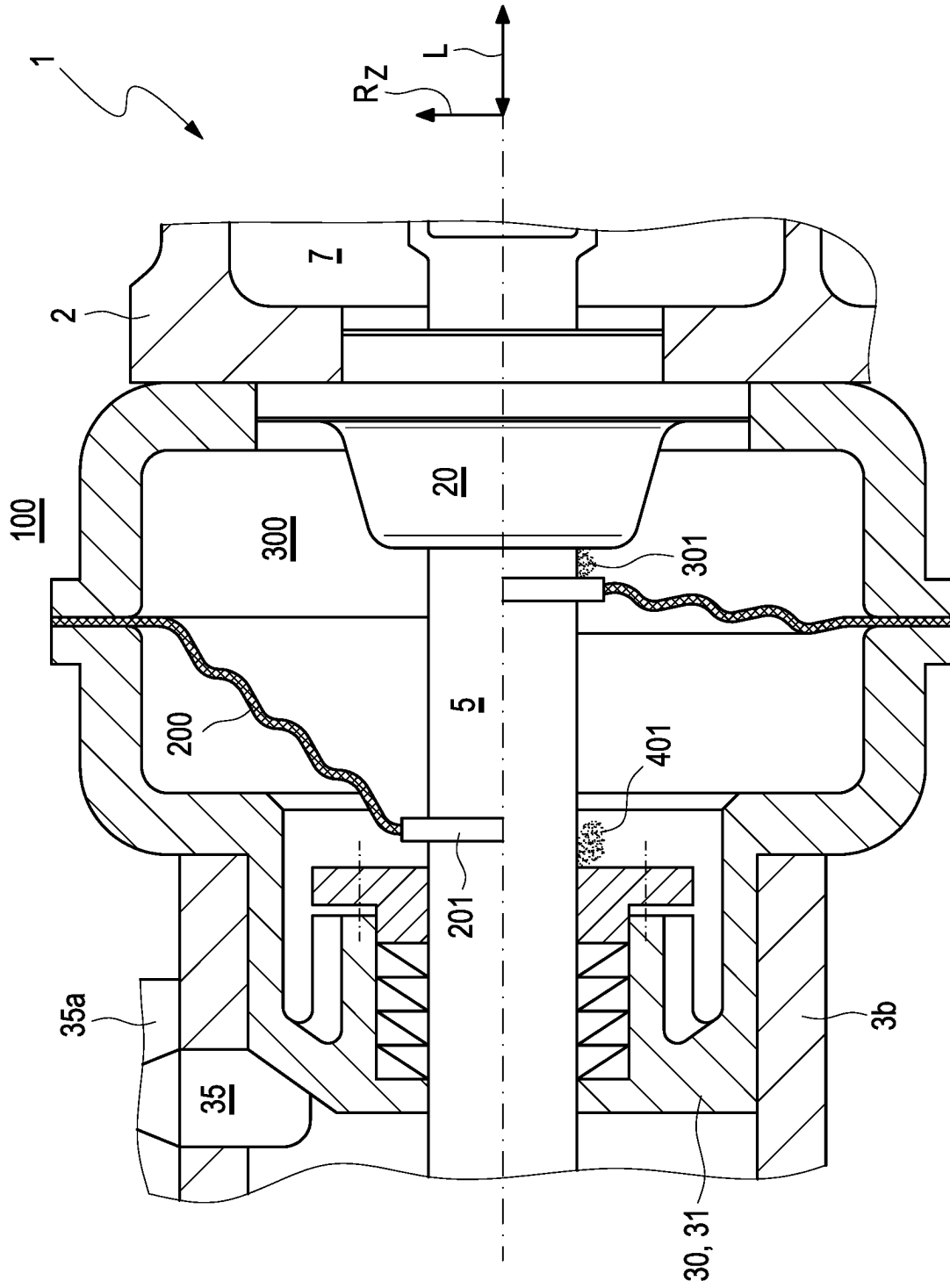


Fig. 2 b

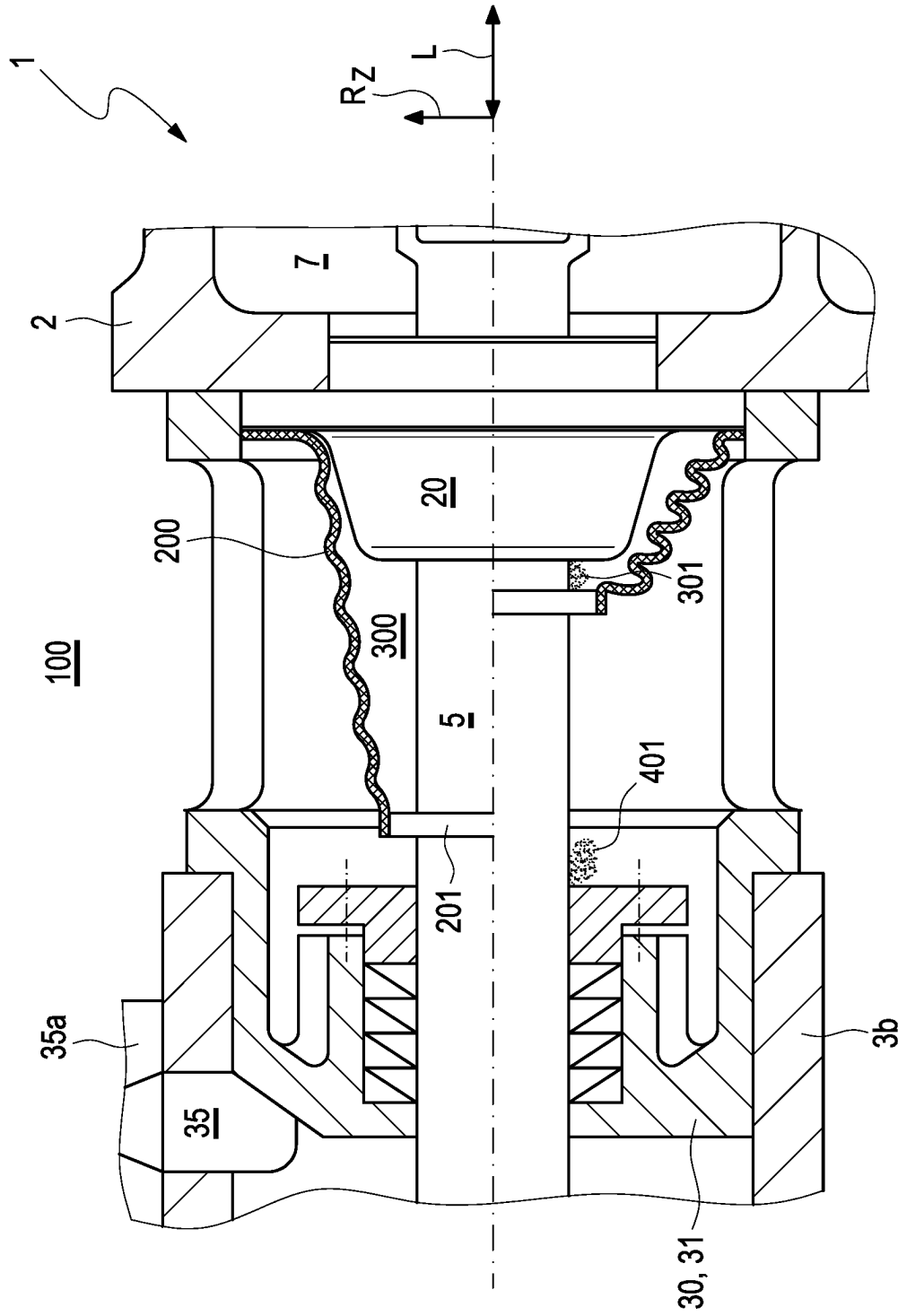
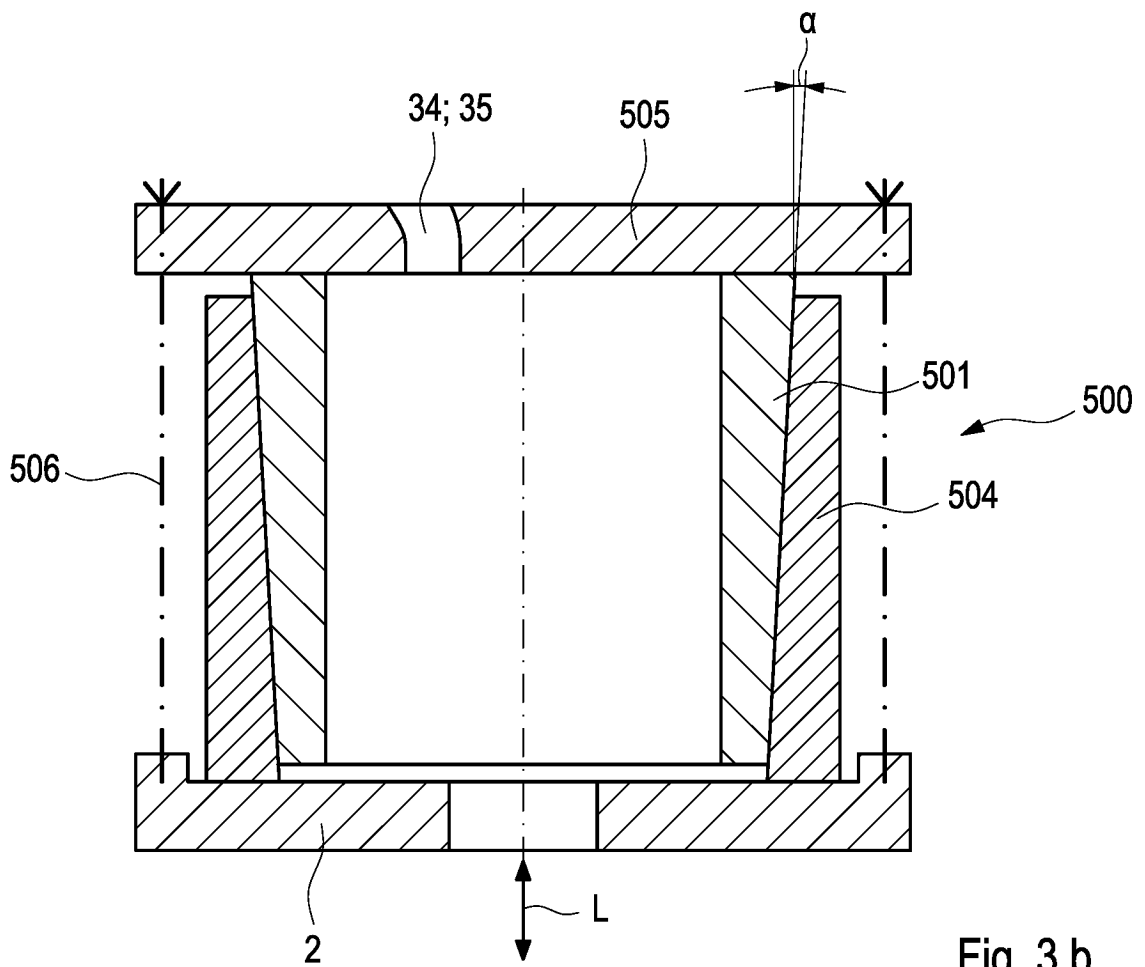
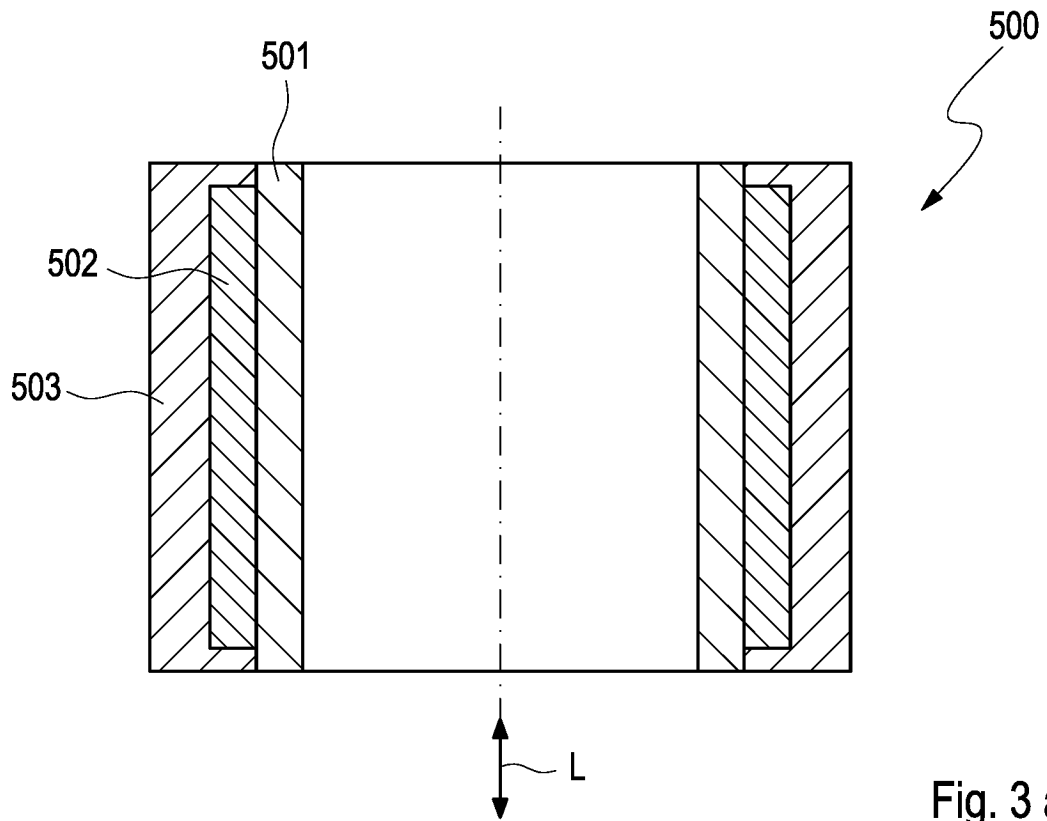


Fig. 2 c



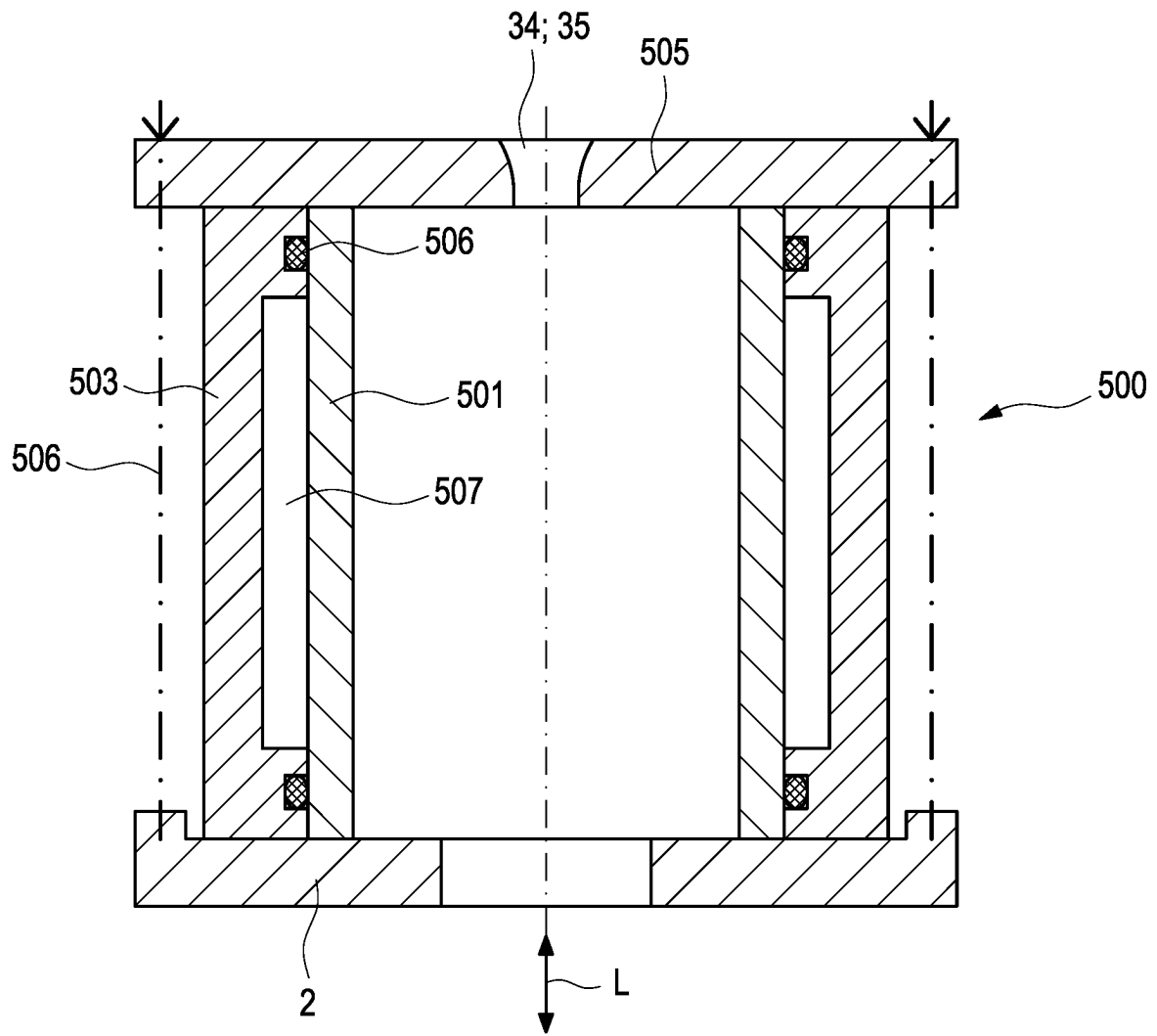


Fig. 4

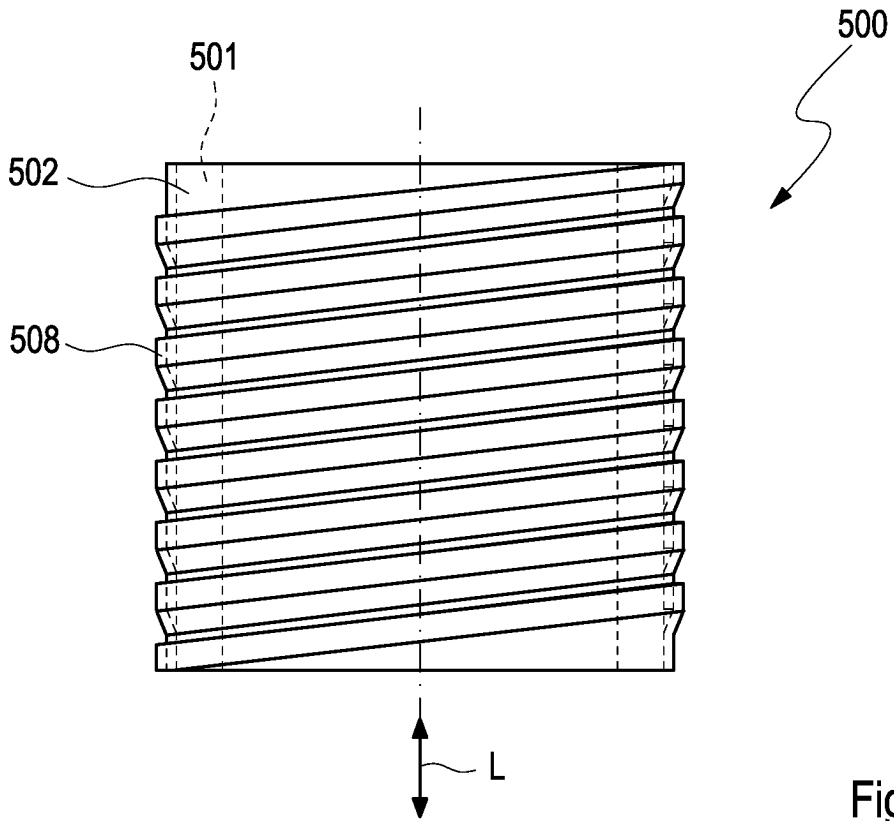


Fig. 5

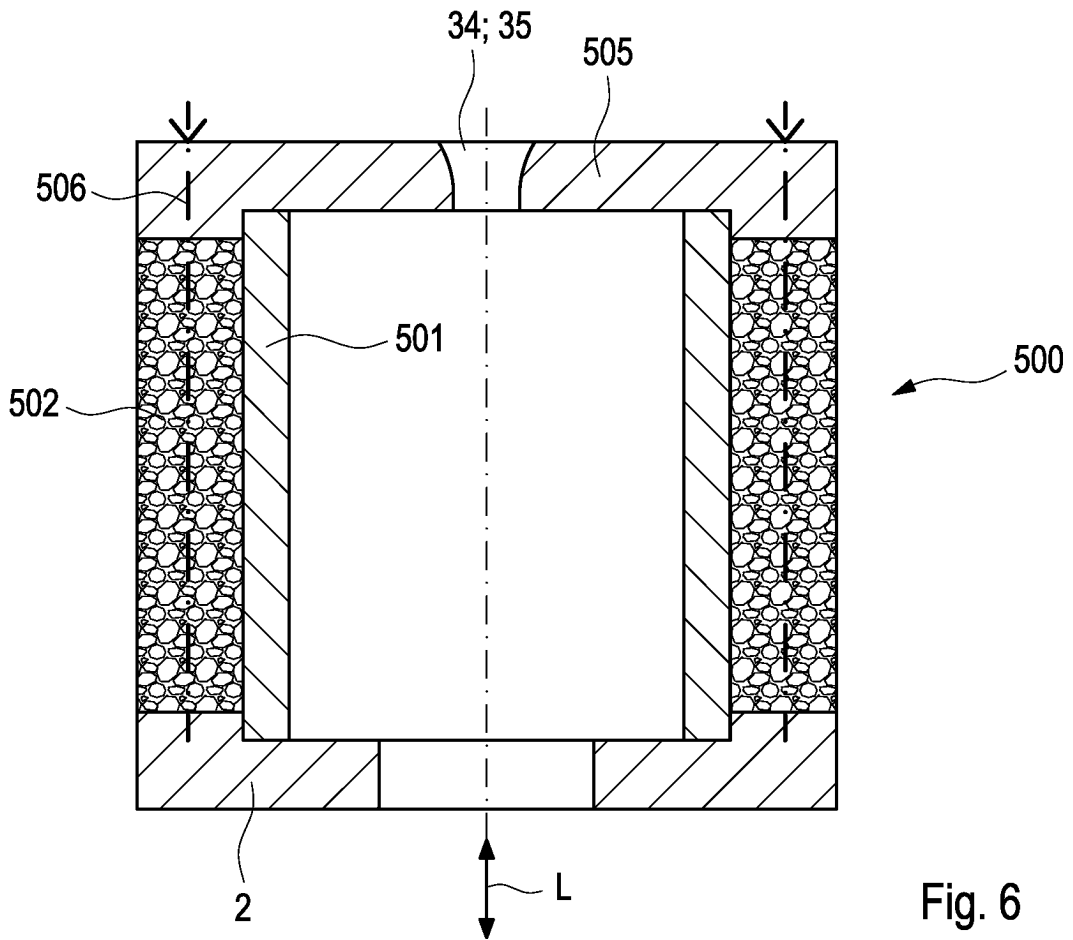


Fig. 6