

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50920/2017
(22) Anmeldetag: 03.11.2017
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2019

(51) Int. Cl.: **F16C 7/06** (2006.01)
F15B 15/14 (2006.01)
F16J 9/00 (2006.01)
F02B 75/04 (2006.01)

(30) Priorität:
03.11.2016 DE 102016120967.8 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:
FR 3043740 A1
DE 102005061061 A1
US 3293993 A

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
iwis motorsysteme GmbH & Co. KG
81369 München (DE)

(72) Erfinder:
Arens Kai Dr.
81377 München (DE)
Riba Zoltan
82140 Olching (DE)
Bodensteiner Martin
80336 München (DE)
Latz Steffen
81669 München (DE)
Heller Malte
81243 München (DE)

(74) Vertreter:
Kopetz Heinrich Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) Längenverstellbare Pleuelstange mit einer Zylinder-Kolben-Einheit mit mehreren Kolbendichtungen

(57) Die Erfindung betrifft eine längenverstellbare Pleuelstange (6.1) für einen Verbrennungsmotor (1), mit einem ersten Pleuelteil (18.1), einem zweiten Pleuelteil (19.1) und mindestens einer Zylinder-Kolben-Einheit (20.1), um das erste Pleuelteil (18.1) relativ zum zweiten Pleuelteil (19.1) zu verstellen, die Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) umfasst eine Zylinderbohrung (22.1), einen in der Zylinderbohrung (22.1) längs bewegbar angeordneten Verstellkolben (21.1), mindestens einen in der Zylinderbohrung (22.1) vorgesehenen Druckraum (24.1) und eine zwischen der Außenwandung des Verstellkolbens (21.1) und der Innenwandung der Zylinderbohrung (22.1) angeordneten Dichtungseinrichtung (23.1). Die Dichtungseinrichtung (23.1) umfasst dabei mindestens zwei Kolbendichtungen (33.1), die in separaten an der Außenwandung des Verstellkolbens (21.1) ausgebildeten Kolbennuten (34.1) angeordnet sind und mit der Innwandung (38.1) der Zylinderbohrung (22.1) in Gleitkontakt stehen. Die Kolbendichtungen (33.1) der Dichtungseinrichtung (23.1) sind als doppeltwirkende Kolbendichtungen (33.1) und zweiteilig ausgebildet, wobei die zweiteiligen Kolbendichtungen (33.1) jeweils einen Positioniering und einen Gleitring, bevorzugt aus Kunststoff, aufweisen.

Weiter betrifft die Erfindung einen Verbrennungsmotor (1) mit einer solchen längenverstellbaren Pleuelstange (6.1) sowie die Verwendung einer Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) für eine längenverstellbare Pleuelstange (6.1) eines Verbrennungsmotors (1).

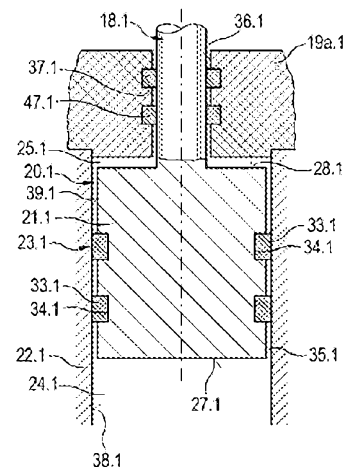


Fig. 3

Beschreibung

LÄNGENVERSTELLBARE PLEUELSTANGE MIT EINER ZYLINDER-KOLBEN-EINHEIT MIT MEHREREN KOLBENDICHTUNGEN

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine längenverstellbare Pleuelstange für einen Verbrennungsmotor, mit einem ersten Pleuelteil, einem zweiten Pleuelteil und mindestens einer Zylinder-Kolben-Einheit, um das erste Pleuelteil relativ zum zweiten Pleuelteil zu verstellen, die Zylinder-Kolben-Einheit umfasst eine Zylinderbohrung, einen in der Zylinderbohrung längs bewegbar angeordneten Verstellkolben, mindestens einen in der Zylinderbohrung vorgesehenen Druckraum und einer zwischen einer Außenwandung des Verstellkolbens und einer Innenwandung der Zylinderbohrung angeordneten Dichtungseinrichtung, wobei die Dichtungseinrichtung mindestens zwei Kolbendichtungen umfasst, wobei jede Kolbendichtung in einer separaten an der Außenwand des Verstellkolbens umlaufenden Nut angeordnet ist und mit der Innenwandung der Zylinderbohrung in Gleitkontakt steht. Weiter betrifft die Erfindung einen Verbrennungsmotor mit einer solchen längenverstellbaren Pleuelstange sowie die Verwendung einer solchen Zylinder-Kolben-Einheit für eine längenverstellbare Pleuelstange eines Verbrennungsmotors.

[0002] Der thermische Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors, insbesondere von Ottomotoren, ist abhängig vom Verdichtungsverhältnis ε , d.h. dem Verhältnis vom Gesamtvolumen vor der Verdichtung zum Kompressionsvolumen ($\varepsilon = (\text{Hubvolumen } V_h + \text{Kompressionsvolumen } V_c) / \text{Kompressionsvolumen } V_c$). Mit steigendem Verdichtungsverhältnis nimmt der thermische Wirkungsgrad zu. Die Zunahme des thermischen Wirkungsgrades über das Verdichtungsverhältnis ist degressiv, allerdings im Bereich heute üblicher Werte noch relativ stark ausgeprägt.

[0003] In der Praxis kann das Verdichtungsverhältnis nicht beliebig gesteigert werden, da ein zu hohes Verdichtungsverhältnis zu einer unbeabsichtigten Selbstentzündung des Verbrennungsgemischs durch Druck- und Temperaturerhöhung führt. Diese frühzeitige Verbrennung führt nicht nur zu einem unruhigen Lauf und dem sogenannten Klopfen bei Ottomotoren, sondern kann auch zu Bauteilschäden am Motor führen. Im Teillastbereich ist die Gefahr der Selbstentzündung geringer, die neben dem Einfluss von Umgebungstemperatur und Druck, auch vom Betriebspunkt des Motors abhängig ist. Entsprechend ist im Teillastbereich ein höheres Verdichtungsverhältnis möglich. In der Entwicklung von modernen Verbrennungsmotoren gibt es daher Bestrebungen, das Verdichtungsverhältnis an den jeweiligen Betriebspunkt des Motors anzupassen.

[0004] Für die Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses (VCR) existieren unterschiedliche Lösungen, mit denen die Lage des Hubzapfens der Pleuelstange oder des Pleuelbolzens des Pleuelbolzens des Pleuelbolzens verändert oder die effektive Länge der Pleuelstange variiert wird. Hierbei gibt es jeweils Lösungen für eine kontinuierliche und diskontinuierliche Verstellung der Bauteile. Eine kontinuierliche Verstellung ermöglicht eine optimale Reduzierung des CO_2 -Ausstoßes und des Verbrauchs aufgrund eines für jeden Betriebspunkt einstellbaren Verdichtungsverhältnisses. Demgegenüber ermöglicht eine diskontinuierliche Verstellung mit zwei als Endanschläge der Verstellbewegung ausgebildeten Stufen konstruktive und betriebstechnische Vorteile und ermöglicht trotzdem im Vergleich zu einem konventionellen Pleueltrieb noch signifikante Einsparungen im Verbrauch und dem CO_2 -Ausstoß.

[0005] Bereits die Druckschrift US 2,217,721 beschreibt einen Verbrennungsmotor mit einer längenverstellbaren Pleuelstange mit zwei teleskopartig ineinander verschiebbaren Stangenteilen, die gemeinsam einen Hochdruckraum ausbilden. Zur Befüllung und Entleerung des Hochdruckraums mit Motoröl und damit zur Längenänderung der Pleuelstange ist ein hydraulischer Verstellmechanismus mit einem Steuerventil mit federvorgespanntem Verschlusselement vorgesehen, das durch den Druck des Motoröls in eine geöffnete Stellung verschiebbar ist.

[0006] Eine diskontinuierliche Verstellung des Verdichtungsverhältnisses für einen Verbrennungsmotor zeigt die EP 1 426 584 A1, bei der ein mit dem Pleuelbolzen verbundener Exzen-

ter eine Einstellung des Verdichtungsverhältnisses ermöglicht. Dabei erfolgt eine Fixierung des Exzenters in der einen oder anderen Endstellung des Schwenkbereichs mittels einer mechanischen Arretierung. Aus der DE 10 2005 055 199 A1 geht ebenfalls die Funktionsweise eines längenvariablen Pleuels hervor, mit dem verschiedene Verdichtungsverhältnisse ermöglicht werden. Die Realisierung erfolgt auch hier über einen Exzenter im kleinen Pleuelauge, das in seiner Position durch zwei Hydraulikzylinder mit veränderbarem Widerstand fixiert wird.

[0007] Die WO 2013/092364 A1 beschreibt eine längenverstellbare Pleuelstange für einen Verbrennungsmotor mit zwei teleskopartig ineinander verschiebbaren Stangenteilen, wobei ein Stangenteil einen Zylinder und das zweite Stangenteil ein längsverschiebbares Kolbenelement ausbildet. Zwischen dem Verstellkolben des ersten Stangenteils und dem Zylinder des zweiten Stangenteils ist ein Hochdruckraum ausgebildet, der über einen hydraulischen Verstellmechanismus mit einem Ölkanal und einem öldruckabhängigen Ventil mit Motoröl versorgt wird. Eine ähnliche längenverstellbare Pleuelstange für einen Verbrennungsmotor mit teleskopartig verschiebbaren Stangenteilen ist in der WO 2015/055582 A2 gezeigt.

[0008] Gemäß der WO 2015/055582 A2 soll das Verdichtungsverhältnis im Verbrennungsmotor durch die Pleuellänge verstellt werden. Die Pleuellänge beeinflusst das Kompressionsvolumen im Verbrennungsraum, wobei das Hubvolumen durch die Position des Kurbelwellenzapfens und die Zylinderbohrung vorgegeben ist. Eine kurze Pleuelstange führt daher zu einem geringeren Verdichtungsverhältnis als eine lange Pleuelstange bei ansonsten gleichen geometrischen Abmessungen, z.B. Kolben, Zylinderkopf, Kurbelwelle, Ventilsteuerung etc.. Bei den bekannten längenverstellbaren Pleuelstangen wird die Pleuellänge hydraulisch zwischen zwei Stellungen variiert. Dabei ist die gesamte Pleuelstange mehrteilig ausgeführt, wobei die Längenänderung durch einen Teleskopmechanismus erfolgt, der mittels eines doppelwirkenden Hydraulikzylinders verstellbar ist. Das kleine Pleuelauge, üblicherweise zur Aufnahme des Kolbenbolzens, ist mit einer Kolbenstange verbunden (teleskopierbarer Stangenteil). Der zugehörige Verstellkolben ist axial verschiebbar in einem Zylinder geführt, der in dem Pleuelteil mit dem großen Pleuelauge, üblicherweise zur Aufnahme des Kurbelwellenzapfens, angeordnet ist. Der Verstellkolben trennt den Zylinder in zwei Druckräume, einen oberen und einen unteren Druckraum. Diese beiden Druckräume werden über einen hydraulischen Verstellmechanismus mit Motoröl versorgt, wobei dessen Versorgung mit Motoröl über die Schmierung des Pleuellagers erfolgt. Hierzu ist eine Öldurchführung vom Kurbelwellenzapfen über das Pleuellager zum Pleuel und dort über die Rückschlagventile des Verstellmechanismus in die Druckräume erforderlich.

[0009] Ist die Pleuelstange in der langen Position, befindet sich kein Motoröl in dem oberen Druckraum. Die untere Druckraum hingegen ist vollständig mit Motoröl gefüllt. Während des Betriebs wird die Pleuelstange aufgrund der Gas- und Massenkräfte alternierend auf Zug und Druck belastet. In der langen Position des Pleuels wird eine Zugkraft durch den mechanischen Kontakt mit einem oberen Anschlag des Verstellkolbens aufgenommen. Die Pleuellänge ändert sich dadurch nicht. Eine einwirkende Druckkraft wird über die Kolbenfläche auf den ölgefüllten unteren Druckraum übertragen. Da das Rückschlagventil dieser Kammer den Ölrücklauf unterbindet, steigt der Öldruck an, wobei in dem unteren Druckraum sehr hohe dynamische Drücke von deutlich über 1.000 bar entstehen können. Die Pleuellänge ändert sich nicht. Das Pleuel ist durch den Systemdruck in dieser Richtung hydraulisch gesperrt.

[0010] In der kurzen Stellung des Pleuels drehen sich die Verhältnisse um. Der untere Druckraum ist leer, der obere Druckraum ist mit Motoröl gefüllt. Eine Zugkraft bewirkt einen Druckanstieg in dem oberen Druckraum. Eine Druckkraft wird durch einen mechanischen Anschlag aufgenommen.

[0011] Die Pleuellänge kann zweistufig verstellt werden, indem einer der beiden Druckräume entleert wird. Hierfür wird von dem Verstellmechanismus jeweils eines der beiden Rückschlagventile im Zulauf überbrückt oder ein zugeordneten Rücklaufkanal geöffnet. Durch diese Rücklaufkanäle kann Motoröl unabhängig von der Druckdifferenz zwischen dem Druckraum und der Versorgungseinrichtung in das Kurbelgehäuse fließen. Das jeweilige Rückschlageventil verliert entsprechend seine Wirkung. Die beiden Rücklaufkanäle werden durch ein Steuerventil geöffnet.

net und geschlossen, wobei immer genau ein Rücklaufkanal offen, der andere geschlossen ist. Der Aktuator zur Schaltung der beiden Rücklaufkanäle wird hier hydraulisch durch den Versorgungsdruck angesteuert.

[0012] Der Bauraum für eine solche Pleuelstange ist sowohl axial als auch radial begrenzt. In Kurbelwellenrichtung wird der Bauraum durch die Lagerbreite und den Abstand der Gegengewichte begrenzt. In axialer Richtung ist ohnehin nur der Bauraum zwischen dem kleinen Pleuelauge zur Lagerung des Kolbenbolzens und dem großen Lagerauge zur Lagerung des Pleuelwellenzapfens und ein eventueller Verstellhub der Pleuelstange vorhanden.

[0013] Die in einem Verbrennungsmotor von einer Pleuelstange zu übertragenden Kräfte sind beträchtlich, weshalb auch die Drücke in den Druckräumen der Zylinder-Kolben-Einheit erheblich sein können. Angesichts der hohen Innendrucke bei einer Zylinder-Kolben-Einheit ist die Dauerfestigkeit der verwendeten Werkstoffe problematisch, aber auch die Konstruktion der Komponenten im Hinblick auf den geringen Bauraum.

[0014] Ein weiterer Aspekt einer längenverstellbaren Pleuelstange mit einer Zylinder-Kolben-Einheit für den Einsatz in einem Verbrennungsmotor ist, dass der hydraulische Verstellmechanismus üblicherweise von dem Motoröl des Verbrennungsmotors gespeist wird, dessen Viskosität nicht nur mit der Betriebstemperatur sondern auch mit zunehmender Betriebsdauer abnimmt und in dem schädliche Partikel in den Verstellmechanismus des Pleuels eingetragen werden. Neben Rußpartikeln, die bei der Verbrennung im Motor entstehen können, werden über das Motoröl auch Gussrestpartikel oder Späne aus der Herstellung und Bearbeitung des Motors transportiert. Unabhängig von einer Viskositätsabnahme des Motoröls sowie den durch das Motoröl in den Verstellmechanismus transportierten Partikeln, muss der Verstellmechanismus einer längenverstellbaren Pleuelstange auf Dauer funktionsfähig bleiben.

[0015] Im Hinblick auf die extremen Druckdifferenzen in den Druckräumen einer Zylinder-Kolben-Einheit für eine längenverstellbare Pleuelstange von deutlich über 1.000 bar und dem Einfluss der Kraftübertragung über die Pleuelstange an die Pleuelwelle auf die Leistung des Verbrennungsmotors, werden in herkömmlichen längenverstellbaren Pleuelstangen berührende Dichtungseinrichtungen oder konstruktiv ausgebildete Dichtungen eingesetzt. Eine Leckage aus dem jeweils gesperrten Druckraum führt zu einem Einrücken des Verstellkolbens in den jeweiligen Druckraum, wodurch ein Arbeitsbetrag entsprechend der Kraft auf den Verstellkolben und dem Weg des Verstellkolbens dissipiert wird, was zum Leistungsverlust des Verbrennungsmotors führt. Dieser Leistungsverlust ist entsprechend den jeweiligen Konstruktionen der Zylinder-Kolben-Einheiten von dem verbesserten thermischen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors durch ein variables Verdichtungsverhältnis abzuziehen. In herkömmlichen längenverstellbaren Pleuelstangen mit einer Zylinder-Kolben-Einheit werden als Dichtungseinrichtungen zumeist einfache Spaltdichtungen verwendet. Im Gegensatz zu Kontaktdichtungen, die als berührende Dichtungseinrichtungen eine Leckage verhindern, weisen Spaltdichtungen konstruktionsbedingt eine gewisse Leckage auf. Die Vorteile von Spaltdichtungen sind die einfache Montage, aufgrund der geringeren Bauteilanzahl und ein geringerer Bauraum der Zylinder-Kolben-Einheit. Demgegenüber verursacht die systemimmanente Leckage bei Spaltdichtungen neben einem Leistungsverlust auch eine Erwärmung des Systems. Kontaktdichtungen, beispielsweise Kolben- oder Stangendichtungen, die zwischen den längs verschieblichen Bauteilen einer Zylinder-Kolben-Einheit angeordnet werden können, können eine Leckage von Motoröl aus dem Druckraum annähernd vollständig verhindern und einen entsprechenden Leistungsverlust vermeiden. Jedoch sind Kontaktdichtungen sehr empfindlich gegenüber Rußpartikeln und Spänen im Motoröl, die zu starken Beschädigungen an den Oberflächen der Dichtungseinrichtung und letztendlich zu einer Fehlfunktion oder Ausfall der Dichtungseinrichtung führen können. Diese Gefährdung steigt mit höheren Systemdrücken, da die Partikel aus dem Motoröl in ansteigendem Maße zwischen den Pleuelmangeln und die Zylinderwandung gefördert werden und sich dort an den Dichtungsflächen eingraben.

[0016] Obwohl in vielen Bereichen der Technik Pleuelhubmaschinen hinlänglich bekannt sind und im Bereich der Automobilindustrie Pleuelhub-Motoren beständig optimiert, verbessert und

weiterentwickelt werden, ist die Dichtungssituation bei Zylinder-Kolben-Einheiten längenverstellbarer Pleuelstangen trotz umfangreicher Entwicklungs- und Forschungsarbeiten weiterhin unbefriedigend, insbesondere im Hinblick auf die notwendige Lebensdauer längenverstellbarer Pleuelstangen gegenüber der gesamten Laufzeit von Verbrennungsmotoren. Im Gegensatz zu herkömmlichen Hubkolbenmaschinen unterliegen berührende Kolbendichtungen in einer Zylinder-Kolben-Einheit längenverstellbarer Pleuelstangen zusätzlich zum Verschleiß durch die metallische Berührung einer erhöhten Belastung durch den geringen zur Verfügung stehenden Bauraum, die extreme Temperaturbelastung durch extrem hohe Drücke und wechselnden Krafrichtungen sowie die Verschmutzung des Motoröls mit Rußpartikeln und Spänen. Dies führt zu einem schnellen Verschleiß der Kolbendichtungen und Riefenbildungen in den Wandungen der Zylinder-Kolben-Einheit und schlussendlich zu einem Versagen der Dichtungseinrichtung und Leistungsverlust des Verbrennungsmotors. Entsprechend werden in neueren Entwicklungen längenverstellbarer Pleuelstangen bevorzugt Spaltdichtungen eingesetzt, die zumindest den Vorteil einer geringeren Bauteilanzahl eines geringen Bauraums ermöglichen. Funktional unterliegen solche Spaltdichtungen in Zylinder-Kolben-Einheiten längenverstellbarer Pleuelstangen trotzdem einem deutlichen Verschleiß, da der Spalt zwischen Zylinder und Verstellkolben zur Erzielung einer für die extreme Druckdifferenz ausreichende Dichtwirkung verhältnismäßig klein gewählt werden muss.

[0017] Pleuelstangen mit Dichtungsvorrichtungen sind beispielsweise in der FR 3043740 A1 beschrieben.

[0018] Unabhängig davon, ob als Dichtungseinrichtung für eine Zylinder-Kolben-Einheit eine berührungslose Spaltdichtung oder eine Kontaktdichtung eingesetzt wird, führt der hohe Systemdruck in der Zylinder-Kolben-Einheit dazu, dass sich Rußpartikel und Späne aus dem Motoröl zwischen die Zylinderwandung und dem Kolbenmantel eindringen und sich zwischen den Dichtungsoberflächen verklemmen, was zu starken Beschädigungen an den Oberflächen und letztlich zu einem Verschleiß und Ausfall der Zylinder-Kolben-Einheit führen kann.

[0019] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine längenverstellbare Pleuelstange mit einer Zylinder-Kolben-Einheit mit einer verbesserten Dichtungseinrichtung bereitzustellen, die trotz hoher Druckdifferenzen und geringem Bauraum, eine verbesserte dauerhafte Dichtwirkung ermöglicht.

[0020] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Kolbendichtungen der Dichtungseinrichtung als doppelt wirkende Kolbendichtungen und zweiteilig ausgebildet sind, wobei die zweiteiligen Kolbendichtungen jeweils einen Positionierring und einen Gleitring, bevorzugt aus Kunststoff, aufweisen. Das Vorsehen von mindestens zwei Kolbendichtungen verringert den Druckabfall, der bedingt durch die extrem hohen Systemdrucke über jede der separaten Kolbendichtungen abgebaut werden muss und reduziert entsprechend die Gefahr des Eintragens von Partikeln aus dem Motoröl und vermeidet nachfolgend eine Beschädigung der Dichtungsoberfläche durch diese Partikel. Darüber hinaus ermöglicht der stufenweise Abbau der hohen Systemdrucke in der Zylinder-Kolben-Einheit den Einsatz einfacherer und kostengünstigerer Kolbendichtungen mit einem flacheren Aufbau, die auch in dem geringen zur Verfügung stehenden Bauraum einer Zylinder-Kolben-Einheit ohne konstruktive Kompensationsmaßnahmen verwendet werden können. Für einen sicheren Druckaufbau sind die Kolbendichtungen dabei jeweils in einer separaten an der Außenwandung des Verstellkolbens umlaufenden Nut angeordnet, die nicht nur eine Abdichtung der Kolbendichtung gegenüber dem Verstellkolben gewährleistet, sondern auch trotz der hohen Systemdrucke und der Relativbewegung gegenüber der Innenwandung der Zylinderbohrung mit geringem Aufwand eine sichere Positionierung der Kolbenabdichtung ermöglicht. Zur Verstärkung der positiven Effekte eines stufenweisen Druckabbaus und Begrenzungen des auf die einzelnen Kolbendichtungen wirkenden Druckabfalls kann die Dichtungseinrichtung drei, bevorzugt mindestens vier Kolbendichtungen umfassen. Durch die Ausbildung als doppeltwirkende Kolbendichtungen wird nicht nur die alternierende Relativbewegung zwischen dem Verstellkolben und der Zylinderbohrung erleichtert und ein negativer Einfluss auf die Dichtwirkung vermieden, sondern auch eine zweiseitige Wirkung der Zylinder-Kolben-Einheit ermöglicht. Hinsichtlich der Zweiteiligkeit ermöglicht der

Positionerring, üblicherweise ein formstabiler O-Ring, eine sichere Anordnung der Kolbendichtung in Vorspannung gegenüber der umlaufenden Nut in der Außenwandung des Verstellkolbens. Demgegenüber ermöglicht der Gleitring, vorzugsweise aus einem reibungsarmen Kunststoffmaterial, mit einem rechteckförmigen Körper und einer mittig in Richtung der Innenwandung der Zylinderbohrung vorstehenden Dichtlippe, eine gute Abdichtung bei hoher Druckbeständigkeit und ein gutes reibungsarmes Gleitvermögen gegenüber der Innenwandung der Zylinderbohrung.

[0021] Üblicherweise sind der Verstellkolben und die Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit rotationssymmetrisch ausgebildet, aber nicht auf eine solche geometrische Form beschränkt. Eine längenverstellbare Pleuelstange gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst auch ovale, mehreckige oder anderweitige Querschnittsformen des Verstellkolbens und der Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit.

[0022] Eine sinnvolle Ausgestaltung sieht vor, dass die Dichtungseinrichtung einen Abstreifer umfasst, wobei der Abstreifer an einem dem Druckraum zugewandten Ende der Außenwandung des Verstellkolbens angeordnet ist. Der Abstreifer der zwischen dem mit Motoröl gefüllten Druckraum und der in Richtung des Druckraums ersten Kolbendichtung angeordnet ist, verhindert oder reduziert den Eintrag von Rußpartikeln und Spänen aus dem Motoröl in den Spalt zwischen Verstellkolben und Zylinderbohrung und schlussendlich zwischen Kolbendichtung und Innenwandung der Zylinderbohrung. Dadurch wird die Gefahr von Verschleiß, Schädigung und Ausfall der Dichtungseinrichtung reduziert und damit letztendlich die Lebensdauer der Zylinder-Kolben-Einheit deutlich erhöht.

[0023] Eine besondere Ausführungsform sieht vor, dass der Verstellkolben der Zylinder-Kolben-Einheit als zweiseitig wirkender Verstellkolben ausgebildet ist, wobei der in der Zylinderbohrung längs bewegbar angeordnete Verstellkolben einen ersten Druckraum und einen zweiten Druckraum zur Aufnahme von Motoröl ausbildet und jeweils einseitig begrenzt. Ein zweiseitig wirkender Verstellkolben ermöglicht die Verstellung des Hubs der Kolbenstange sowohl in Richtung eines größeren Verdichtungsverhältnisses als auch in Richtung eines geringeren Verdichtungsverhältnisses mit einer einzelnen Zylinder-Kolben-Einheit. Es wird also derselbe Verstellkolben, anders als bei der DE 10 2005 055 199 A1, zur bidirektionalen Verstellung des Kolbenhubs, bzw. des Verdichtungsverhältnisses verwendet. Günstigerweise kann hier ein Stufenkolben eingesetzt werden, mittels dessen größerer Stirnseite bei entsprechender Druckbeaufschlagung die Pleuelstange in ihre ausgefahrene Stellung gedrückt wird. Aufgrund der vorherrschenden Kraftverhältnisse in einem Verbrennungsmotor reicht die kleinere Stirnfläche für die Verstellung in die entgegengesetzte Richtung üblicherweise aus. Dabei kann der Verstellkolben an den dem ersten Druckraum und zweiten Druckraum zugewandten Enden der Außenwandung, jeweils einen Abstreifer aufweisen.

[0024] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass der Verstellkolben an einer zweiten Stirnseite, die den zweiten Druckraum begrenzt, eine Kolbenstange aufweist, die sich durch eine Stangenbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit erstreckt, wobei mindestens zwei Stangendichtungen vorgesehen sind, jede Stangendichtung in einer umlaufenden Nut in der Stangenbohrung angeordnet ist und mit der Kolbenstange in Gleitkontakt steht. Durch die zwei separaten Stangenbohrungen, die sicher in den separaten umlaufenden Nuten in der Stangenbohrung angeordnet sind, kann auch im Bereich der Kolbenstange ein Druckabbau des hohen Systemdrucks in mehreren Stufen erfolgen und entsprechend einfach konstruierte und kostengünstiger hergestellte Stangendichtungen verwendet werden. Dabei stehen die Stangendichtungen für eine sichere Dichtungsfunktion und die Bewegbarkeit der Kolbenstange gegenüber der Stangenbohrung mit der Kolbenstange im Gleitkontakt. Sinnvollerweise ist ein Stangenabstreifer vorgesehen, wobei der Stangenabstreifer an einem dem zweiten Druckraum zugewandten Ende der Stangenbohrung angeordnet ist. Der Stangenabstreifer verhindert dadurch ein Eintragen von Rußpartikeln und Spänen aus dem Motoröl zwischen die Kolbenstange und die Stangenbohrung und vermeidet damit einen Verschleiß, Beschädigung und letztendlich einen Ausfall der Dichtungseinrichtung zwischen Kolbenstange und Stangenbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit.

[0025] Für einen einfachen Aufbau der längenverstellbaren Pleuelstange kann das erste Pleuelteil mit dem Verstellkolben der Zylinder-Kolben-Einheit verbunden sein und das zweite Pleuelteil die Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit aufweisen.

[0026] Des Weiteren bezieht sich die Erfindung auf die Verwendung einer Zylinder-Kolben-Einheit mit einer Dichtungseinrichtung für eine längenverstellbaren Pleuelstange eines Verbrennungsmotors mit einem ersten Pleuelteil und einem zweiten Pleuelteil, die mittels der Zylinder-Kolben-Einheit verstellbar sind, um das erste Pleuelteil relativ zum zweiten Pleuelteil zu bewegen, die Zylinder-Kolben-Einheit umfasst eine Zylinderbohrung, einen in der Zylinderbohrung längs bewegbar angeordneten Verstellkolben, mindestens einen in der Zylinderbohrung vorgesehenen Druckraum und die zwischen der Außenwandung des Verstellkolbens und der Innenwandung der Zylinderbohrung angeordneten Dichtungseinrichtung, wobei die Dichtungseinrichtung mindestens zwei Kolbendichtungen umfasst, jede Kolbendichtung in einer separaten an der Außenwandung des Verstellkolbens umlaufenden Nut angeordnet ist und mit der Innenwandung der Zylinderbohrung in Gleitkontakt steht, wobei die Kolbendichtungen als doppelwirkende Kolbendichtungen und zweiteilig ausgebildet sind, wobei die zweiteiligen Kolbendichtungen jeweils einen Positionierring und einen Gleitring, bevorzugt aus Kunststoff, aufweisen. Der Einsatz von mehreren Kolbendichtungen in der Zylinder-Kolben-Einheit einer längenverstellbaren Pleuelstange ermöglicht trotz des extrem hohen Systemdrucks und der relativ kleinen Baugröße der Zylinder-Kolben-Einheit eine gute Abdichtung des Druckraums und über den stufenweisen Abbau des hohen Systemdrucks den Einsatz von Kolbendichtungen mit kleinen Abmessungen. Dabei erfolgt die Aktuierung der Zylinder-Kolben-Einheit mittels der an den Pleuelteilen angreifenden Gas- und Massenkräfte des Verbrennungsmotors, während die Position der Pleuelteile durch das in dem mindestens einen Druckraum vorhandene Motoröl arretiert wird.

[0027] In einem weiteren Aspekt bezieht sich die Erfindung auf einen Verbrennungsmotor mit mindestens einem Hubkolben und mit zumindest einem einstellbaren Verdichtungsverhältnis in einem Zylinder und einer mit dem Hubkolben verbundenen längenverstellbaren Pleuelstange entsprechend der vorbeschriebenen Ausführungsformen. Bevorzugt sind sämtliche Hubkolben eines Verbrennungsmotors mit einer derartigen längenverstellbaren Pleuelstange ausgestattet, erforderlich ist dies jedoch nicht. Die Kraftstoffeinsparung eines solchen Verbrennungsmotors kann beträchtlich sein und bis zu 20 % betragen, wenn in Abhängigkeit von dem jeweiligen Betriebszustand das Verdichtungsverhältnis entsprechend eingestellt wird. Zweckmäßigerweise kann die Zylinder-Kolben-Einheit der längenverstellbaren Pleuelstange an die Motorölhydraulik des Verbrennungsmotors angeschlossen sein. Damit können die im Motorölkreislauf vorhandenen Drücke zur Verstellung und Arretierung des Verstellkolbens in der Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit zur Anwendung kommen. Darüber hinaus kann auch der Verstellmechanismus der längenverstellbaren Pleuelstange mittels des unter Druck stehenden Motoröls angesteuert werden.

[0028] Eine weitere Modifikation sieht vor, dass der Systemdruck des Motoröls im Druckraum der Zylinder-Kolben-Einheit zwischen 1000 bar und 3000 bar, bevorzugt zwischen 2000 bar und 3000 bar, beträgt. Die Begrenzung des Systemdrucks ermöglicht die sichere konstruktive Auslegung des Innendurchmessers der Zylinderbohrung und der Wandstärke des Zylinders, und ermöglicht damit eine sichere konstruktive Auslegung der erfindungsgemäßen längenverstellbaren Pleuelstange.

[0029] Gemäß einer Weiterbildung können ein Steuertrieb mit mindestens einer Steuerkette, einer Spann- und/oder Führungsschiene, und/oder einem Kettenspanner vorgesehen sein, der die Kurbelwelle mit der mindestens einen Nockenwelle des Verbrennungsmotors verbindet. Der Steuertrieb ist insofern wichtig, weil dieser maßgeblichen Einfluss auf die dynamische Belastung des Verbrennungsmotors und somit auch auf die längenverstellbare Pleuelstange haben kann. Bevorzugt wird dieser so ausgestaltet, dass keine zu hohen dynamischen Kräfte über den Steuertrieb eingeleitet werden. Alternativ kann ein solcher Steuertrieb auch mit einer Stirnradverzahnung oder einem Antriebsriemen, beispielsweise einem Zahnriemen ausgebildet sein, der mittels einer Spannvorrichtung mit Spannrolle vorgespannt ist.

[0030] Im Folgenden wird eine Ausführungsform anhand einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- [0031]** Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch einen Verbrennungsmotor,
- [0032]** Fig. 2 eine schematische Darstellung der längenverstellbaren Pleuelstange aus Fig. 1 in teilweiser geschnittener Darstellung,
- [0033]** Fig. 3 eine Schnittansicht einer Ausführungsform eines Verstellkolbens der Zylinder-Kolben-Einheit aus Fig. 2,
- [0034]** Fig. 4 eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform eines Verstellkolbens der Zylinder-Kolben-Einheit aus Fig. 2.

[0035] In Fig. 1 ist in schematischer Darstellung ein Verbrennungsmotor (Ottomotor) 1 dargestellt. Der Verbrennungsmotor 1 hat drei Zylinder 2.1, 2.2 und 2.3, in denen sich jeweils ein Hubkolben 3.1, 3.2, 3.3 auf und ab bewegt. Des Weiteren umfasst der Verbrennungsmotor 1 eine Kurbelwelle 4, die mittels Kurbelwellenlager 5.1 - 5.4 drehbar gelagert ist. Die Kurbelwelle 4 ist mittels der Pleuelstangen 6.1, 6.2 und 6.3 jeweils mit dem zugehörigen Hubkolben 3.1, 3.2 und 3.3 verbunden. Für jede Pleuelstange 6.1, 6.2 und 6.3 weist die Kurbelwelle 4 einen exzentrisch angeordneten Kurbelwellenzapfen 7.1, 7.2 und 7.3 auf. Das große Pleuelauge 8.1, 8.2, und 8.3 ist jeweils auf dem zugehörigen Kurbelwellenzapfen 7.1, 7.2 und 7.3 gelagert. Das kleine Pleuelauge 9.1, 9.2 und 9.3 ist jeweils auf einem Kolbenbolzen 10.1, 10.2 und 10.3 gelagert und so mit dem zugehörigen Hubkolben 3.1, 3.2 und 3.3 schwenkbar verbunden. Dabei ist den Begriffen kleines Pleuelauge 9.1, 9.2 und 9.3 und großes Pleuelauge 8.1, 8.2 und 8.3 weder eine absolute noch relative Größenzuordnung zu entnehmen, sondern sie dienen lediglich zur Unterscheidung der Bauteile und Zuordnung zu dem in Fig. 1 dargestellten Verbrennungsmotor. Entsprechend können die Abmessungen der Durchmesser der kleinen Pleuelaugen 9.1, 9.2 und 9.3 kleiner, gleich groß oder größer als die Abmessungen der Durchmesser der großen Pleuelaugen 8.1, 8.2, und 8.3 sein.

[0036] Die Kurbelwelle 4 ist mit einem Kurbelwellenkettenrad 11 versehen und mittels einer Steuerkette 12 mit einem Nockenwellenkettenrad 13 gekoppelt. Das Nockenwellenkettenrad 13 treibt eine Nockenwelle 14 mit ihren zugehörigen Nocken zur Betätigung der Ein- und Auslassventile (nicht näher dargestellt) eines jeden Zylinders 2.1, 2.2 und 2.3 an. Das Leertrum der Steuerkette 12 wird mittels einer schwenkbar angeordneten Spannschiene 15 gespannt, die mittels eines Kettenspanners 16 an diese angedrückt wird. Das Zugtrum der Steuerkette 12 kann entlang einer Führungsschiene gleiten. Die wesentliche Funktionsweise dieses Steuertriebs einschließlich der Kraftstoffeinspritzung und Zündung mittels Zündkerze wird nicht näher erläutert und als bekannt vorausgesetzt. Die Exzentrizität der Kurbelwellenzapfen 7.1, 7.2 und 7.3 gibt maßgeblich den Hubweg H_K vor, insbesondere wenn, wie im vorliegenden Fall, die Kurbelwelle 4 exakt zentrisch unter den Zylindern 2.1., 2.2 und 2.3 angeordnet ist. Der Hubkolben 3.1 ist in Fig. 1 in seiner untersten Stellung dargestellt, während der Hubkolben 3.2 in seiner obersten Stellung dargestellt ist. Die Differenz ergibt im vorliegenden Fall den Hubweg H_K . Die verbleibende Höhe H_C (siehe Zylinder 2.2) ergibt die verbleibende Kompressionshöhe im Zylinder 2.2. In Verbindung mit dem Durchmesser des Hubkolbens 3.1, 3.2 oder 3.3 bzw. der zugehörigen Zylinder 2.1, 2.2 und 2.3 ergibt sich aus dem Hubweg H_K das Hubvolumen V_h und aus der verbleibenden Kompressionshöhe H_C errechnet sich das Kompressionsvolumen V_c . Selbstverständlich hängt das Kompressionsvolumen V_c maßgeblich von der Gestaltung des Zylinderdeckels ab. Aus diesen Volumina V_h und V_c ergibt sich das Verdichtungsverhältnis e . Im Detail errechnet sich das Verdichtungsverhältnis e aus der Summe des Hubvolumens V_h und des Kompressionsvolumens V_c dividiert durch das Kompressionsvolumen V_c . Heute übliche Werte für Ottomotoren liegen für e zwischen 10 und 14.

[0037] Damit in Abhängigkeit vom Betriebspunkt (n , T , Drosselklappenstellung) des Verbrennungsmotors 1 das Verdichtungsverhältnis e angepasst werden kann, sind erfindungsgemäß die Pleuelstangen 6.1, 6.2 und 6.3 in ihrer Länge verstellbar ausgestaltet. Hierdurch kann im Teillastbereich mit einem höheren Verdichtungsverhältnis gefahren werden als im Vollastbe-

reich.

[0038] In Fig. 2 ist beispielhaft die längenverstellbare Pleuelstange 6.1 dargestellt, die identisch zu den Pleuelstangen 6.2 und 6.3 ausgestaltet ist. Die Beschreibung gilt daher entsprechend. Die Pleuelstange 6.1 weist einen Pleuelstangenkopf 17.1 mit dem besagten kleinen Pleuelauge 9.1, einem ersten Pleuelteil 18.1, das teleskopierbar in einem zweiten Pleuelteil 19.1 geführt ist, auf. Die relative Bewegung des ersten Pleuelteils 18.1 in Längsrichtung zum zweiten Pleuelteil 19.1 erfolgt mittels einer Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 mit einem Verstellkolben 21.1. und einer Zylinderbohrung 22.1 sowie einer Dichtungseinrichtung 23.1 zwischen dem Verstellkolben 21.1 und der Zylinderbohrung 22.1. Am zweiten Pleuelteil 19.1 ist eine untere Lagerschale 19b.1 angeordnet, die zusammen mit dem unteren Bereich des zweiten Pleuelteils 19.1 das große Pleuelauge 8.1 umgibt. Die untere Lagerschale 19b.1 und das zweite Pleuelteil 19.1 werden in üblicher Weise mittels Befestigungsmitteln miteinander verbunden. Das untere Ende des ersten Pleuelteils 18.1 ist mit dem Verstellkolben 21.1 verbunden, der in der Zylinderbohrung 22.1 des zweiten Pleuelteils 19.1 verschiebbar geführt ist. Am oberen Ende weist das zweite Pleuelteil 19.1 einen Deckel 19a.1 auf, durch den das erste Pleuelteil 18.1 hindurch geführt und abgedichtet ist. Somit dichtet der Deckel 19a.1 insgesamt die Zylinderbohrung 22.1 ab. Der Verstellkolben 21.1 ist als Stufenkolben ausgestaltet. Unterhalb des Verstellkolbens 21.1 ist ein erster Druckraum 24.1 mit kreisförmigem Querschnitt ausgebildet und oberhalb des Verstellkolbens 21.1 ist ein kreisringförmiger zweiter Druckraum 25.1 ausgebildet. Der Verstellkolben 21.1 und die Zylinderbohrung 22.1 sind Bestandteil eines Verstellmechanismus zur Veränderung der Pleuelstangenlänge. Zu dem Verstellmechanismus gehört auch eine unten näher beschriebene hydraulische Schaltung 26.1, die entsprechend für einen Zu- bzw. Ablauf des Hydraulikfluids in bzw. aus den Druckräumen 24.1 und 25.1 und somit für eine Fixierung des mittels der an der Pleuelstange 6.1 wirkenden Kräfte aktuierten Verstellkolbens 21.1 sorgt.

[0039] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Abschnitt des zweiten Pleuelteils 19.1 im Bereich der Druckräume 24.1 und 25.1 sowie des Verstellkolbens 21.1 im Querschnitt kreisringförmig (mit Ausnahme eventuell vorhandener Hydraulikfluidleitungen) ausgestaltet. Andere geometrische Abmessungen sind denkbar. Entsprechend ergibt sich hier die Wandstärke D_w aus dem zugehörigen Außenradius r_a des oberen Abschnitts des zweiten Pleuelteils 19.1 abzüglich des Innenradius r_i der Zylinderbohrung 22.1. Bei einer solchen symmetrischen Ausgestaltung ist die Wandstärke D_w über den Umfang des zweiten Pleuelteils 19.1 gleichmäßig dick und die Spannungen im Werkstoff des zweiten Pleuelteils 19.1 gleichmäßig gering, so dass aufgrund eines relativ großen Kolbendurchmessers für den Verstellkolben 21.1 der in der Pleuelstange 6.1 auftretende maximale Systemdruck in beherrschbaren Grenzen bleibt.

[0040] Im Folgenden wird anhand der Fig. 2 die in der Pleuelstange 6.1 verwendete hydraulische Schaltung 26.1 näher erläutert. Der Verstellkolben 21.1 der Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 ist als Stufenkolben ausgebildet. Unter einem Stufenkolben wird im Allgemeinen ein zweiseitig wirkender Kolben mit unterschiedlich großen Wirkflächen verstanden. Eine erste Stirnseite 27.1 ist kreisförmig ausgestaltet und dem ersten Druckraum 24.1 zugeordnet. Eine zweite Stirnseite 28.1 ist kreisringförmig ausgestaltet und dem zweiten Druckraum 25.1 zugeordnet. Die hydraulische Schaltung 26.1 wird mit Motoröl betrieben. Hierzu steht ein Ölversorgungskanal 29.1 mit dem großen Pleuelauge 8.1 in Verbindung, wodurch Motoröl der hydraulischen Schaltung 26.1 zugeführt werden kann oder gegebenenfalls aus dieser abfließt. Von des Ölversorgungskanals 29.1 ist eine Rückströmdrossel 30.1 mit einem Rückschlagventil und einer parallel dazu geschalteten Drossel vorgesehen. Von der Rückströmdrossel 30.1 aus gelangt das Motoröl über den Kanal 31.1 zu einem Steuerventil 32.1. Das Steuerventil 32.1 umfasst einen Stellkolben 32a.1, der gegen eine Druckfeder 32b.1 verschiebbar geführt ist.

[0041] Aus dem ersten Druckraum 24.1 führt ein Rücklaufkanal 40.1 zum Steuerventil 32.1. Ein durch ein Rückschlagventil 41.1 absperrbarer Ölkanal 42.1 steht ebenfalls mit dem Steuerventil 32.1 in Verbindung und führt zum ersten Druckraum 24.1. Der erste Rücklaufkanal 40.1 ist in der in Fig. 2 gezeigten Stellung des Stellkolbens 32a.1 verschlossen. Öl aus dem ersten Druckraum 24.1 kann aufgrund des geschlossenen Rückschlagventils 41.1 nicht entweichen. Der Verstellkolben 21.1 fährt oder ist in der finalen ausgefahrenen oberen Stellung und ist dort

hydraulisch gesperrt. Hierdurch befindet sich die Pleuelstange 6.1 in ihrer längeren Stellung. Aus dem zweiten Druckraum 25.1 führt eine Rücklaufleitung 43.1 zum Steuerventil 32.1. In der in Fig. 2 dargestellten Stellung des Steuerventils 32.1 kann Motoröl aus dem zweiten Druckraum 25.1 über die Rücklaufleitung 43.1 und das Steuerventil 32.1 sowie den Auslass 44.1 ins Kurbelgehäuse abfließen. In dem ebenfalls aus dem zweiten Druckraum 25.1 zum Steuerventil 32.1 abgehenden Ölkanal 45.1 ist ein weiteres Rückschlagventil 46.1 angeordnet.

[0042] Wird aber nunmehr der Druck des in die hydraulische Schaltung 26.1 einströmenden Motoröls über die Ölpumpe des Verbrennungsmotors erhöht, kommt es zu einem Verschieben des Stellkolbens 32a.1 im Steuerventil 32.1 entgegen der Kraft der Druckfeder 32b.1. Hierdurch wird der erste Rücklaufkanal 40.1 geöffnet und das Motoröl kann aus dem ersten Druckraum 24.1 über den Kanal 31.1 und die Rückstromdrossel 30.1 abfließen. Hierdurch sinkt der Verstellkolben 21.1 ab. Gleichzeitig wird die Rücklaufleitung 43.1 geschlossen und über den Ölkanal 45.1 und das Rückschlagventil 46.1 der zweite Druckraum 25.1 mit Motoröl gefüllt. Sobald der Verstellkolben 21.1 am unteren Anschlag anliegt, ist der Verstellkolben 21.1 in dieser Stellung hydraulisch arretiert, solange ein ausreichender Druck am Steuerventil 32.1 anliegt, und die Pleuelstange 6.1 nimmt ihre kurze Stellung ein. Diese eingefahrene Stellung ist vorteilhaft bei Volllast, wohingegen die ausgefahrene Stellung entsprechend Fig. 2 für den Teil- und Niedriglastbetrieb vorteilhaft ist. Hinsichtlich der weiteren Wirkungs- und Funktionsweise wird ergänzend auf die WO 2015/055582 A2 verwiesen, die den hier gezeigten Verstellmechanismus und Varianten hierzu im Detail beschreibt, die ebenfalls Anwendung finden können.

[0043] Figur 3 zeigt eine Schnittansicht der Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 der längsverstellbaren Pleuelstange 6.1 aus Figur 2 mit einem zweistufigen Verstellkolben 21.1 der in der Zylinderbohrung 22.1 längsbeweglich verschiebbar ist. Die zwischen der Innenwandung 38.1 der Zylinderbohrung 22.1 und der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 vorgesehene Dichtungseinrichtung 23.1 umfasst zwei Kolbendichtungen 33.1, die jeweils in einer separaten umlaufenden Kolbennut 34.1 in der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 angeordnet sind. Die auf dem Verstellkolben 21.1 in ihrer Position fixierten und gegenüber der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 abgedichteten Kolbendichtungen 33.1 stehen mit der Innenwandung 38.1 der Zylinderbohrung 22.1 in Gleitkontakt. Entsprechend dichten die Kolbendichtungen 33.1 den ersten Druckraum 24.1 ab und verhindern ein Hindurchtreten des Motoröls aus dem ersten Druckraum 24.1 durch den Spalt 35.1 zwischen der Außenwandung 38.1 des Verstellkolbens 21.1 und der Innenwandung 39.1 der Zylinderbohrung 22.1. Die Kolbendichtungen 33.1 können entsprechend der Position des bidirektional wirkenden Verstellkolbens 21.1 sowohl in Richtung des ersten Druckraums 24.1 als auch in Richtung des zweiten Druckraums 25.1 als beidseitig wirkende Kolbendichtungen 33.1 eine Abdichtung erzielen. Dabei sind die Kolbendichtungen 33.1 zweiteilig ausgebildet mit einem Positionierring, der mit einer Vorspannung in der Kolbennut 34.1 angeordnet ist und eine sichere Abdichtung bewirkt, so wie mit einem Gleitring aus einem reibungsarmen Kunststoffmaterial der trotz des Gleitkontakts zur Innenwandung 38.1 der Zylinderbohrung 22.1 mit einer in beide Richtungen wirkenden Dichtlippe eine gute Abdichtung gegenüber der Innenwandung 38.1 ermöglicht.

[0044] In der in Figur 2 und Figur 3 gezeigten ausgefahrenen Position der längsverstellbaren Pleuelstange 6.1 herrscht im ersten Druckraum 24.1 während in der Kompressions- und Verbrennungsphase im ersten Zylinder 2.1 des Verbrennungsmotors 1 ein sehr hoher Systemdruck von deutlich über 1.000 bar. Durch den Einsatz von mehreren Kolbendichtungen 33.1 erfolgt der Druckabbau in der Dichtungseinrichtung 23.1 zwischen dem ersten Druckraum 24.1 und dem zweiten Druckraum 25.1, der in der ausgefahrenen Stellung der Pleuelstange 6.1 unter atmosphärischem Druck steht, in mehreren Schritten entsprechend der Anzahl der Kolbendichtungen 33.1. Die Reduzierung des auf die einzelne Kolbendichtung 33.1 wirkenden Drucks ermöglicht den Einsatz von Kolbendichtungen 33.1 mit einer gegenüber dem hohen Systemdruck reduzierten Druckbelastbarkeit.

[0045] Das erste Pleuelteil 18.1 umfasst eine Kolbenstange 18a, die sich in Richtung der Achse des ersten Pleuelteils 18.1 von der zweiten Stirnseite 28.1 des Verstellkolbens 23.1 in Richtung des kleinen Pleuelauges 9.1 erstreckt. Wie in Figur 3 zu erkennen, erstreckt sich die Kolben-

stange 18a.1 durch eine Stangenbohrung 36.1 in dem Deckel 19a.1 des zweiten Pleuelteils 19.1, der die Zylinderbohrung 22.1 in Richtung des kleinen Pleuelauges 9.1 begrenzt. In der Stangenbohrung 36.1 sind im Abstand zueinander zwei umlaufende Bohrungsnuten 37.1. vorgesehen, in denen jeweils eine Stangendichtung 47.1 angeordnet ist. Dabei sitzen die Stangendichtungen 47.1 unter einer Vorspannung in den Bohrungsnuten 37.1 um eine möglichst gute Dichtwirkung zwischen der Stangendichtung 47.1 und der Stangenbohrung 36.1 zu erzielen. Ähnlich zu den Kolbendichtungen 33.1 können die Stangendichtungen 47.1 zweiteilig aufgebaut sein, mit einem außen angeordneten Positionierring und einem innenliegenden Gleitring aus Kunststoff, der mit der Kolbenstange 18a.1 im Gleitkontakt steht, um den zweiten Druckraum 25.1 sicher abzudichten und einen stufenweisen Abbau des Systemdrucks im zweiten Druckraum 25.1 zu ermöglichen.

[0046] In Figur 4 ist eine weitere Ausführungsform eines Verstellkolbens 21.1 der Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 der längenverstellbaren Pleuelstange 6.1 aus Figur 2 in einer Schnittansicht gezeigt. Dieser Verstellkolben 21.1 ist an seiner Außenwandung 39.1 mit sechs im Abstand zueinander angeordneten Kolbennuten 34.1 versehen, wobei in den vier mittleren Kolbennuten 34.1 vier im Abstand zueinander angeordnete Kolbendichtungen 33.1 angeordnet sind. Da die Kolbendichtungen 33.1 jeweils im Abstand zueinander in separaten Kolbennuten 34.1 angeordnet sind, wird sowohl eine gute Dichtwirkung zwischen den Kolbendichtungen 33.1 und der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 erzielt, als auch in Verbindung mit dem Gleitkontakt zwischen den Kolbendichtungen 33.1 und der Innenwandung 38.1 der Zylinderbohrung 22.1 eine stufenweise Druckreduzierung des hohen Systemdrucks im ersten Druckraum 24.1 bzw. zweiten Druckraum 25.1 ermöglicht. Durch die Verringerung des von den einzelnen Kolbendichtungen 33.1 zu verwirklichenden Druckabfalls können auch Kolbendichtungen 33.1 mit einem mittleren maximal zulässigen Druck eingesetzt werden.

[0047] In den der ersten Stirnseite 27.1 und der zweiten Stirnseite 28.1 angrenzenden Kolbennuten 34.1 an der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 sind Abstreifer 48.1 vorgesehen, die bei einer Bewegung des Verstellkolbens 21.1 in der Zylinderbohrung 22.1 ein Eindringen von Partikeln aus dem Motoröl in den Spalt 35.1 zwischen Verstellkolben 21.1. und Zylinderbohrung 22.1 verhindern. Die Motoröl-Abstreifer 48.1 ist dabei sicher in den an den Enden der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 gelegenen Kolbennuten 34.1 positioniert. Im Gegensatz zu Spaltdichtungen erfolgt bei dieser berührenden Dichtungseinrichtung 23.1 der Druckabfall in Stufen über mehrere Kolbendichtungen 33.1, sodass die Abstreifer 48.1 bei einer Bewegung des Verstellkolbens 21.1 nicht in den Spalt 35.1 hineingesogen werden.

[0048] Auch zwischen den Stangendichtungen 47.1 in den Bohrungsnuten 37.1 der Stangenbohrung 36.1 und dem zweiten Druckraum 25.1 ist ein weiterer Abstreifer 48.1 vorgesehen, der ebenfalls in einer Bohrungsnut 37.1 angeordnet ist und das Eindringen von Partikeln aus dem Motoröl zwischen Stangenbohrung 36.1 und Kolbenstange 18a.1 verhindert.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Verbrennungsmotor
2.1,2.2,2.3	Zylinder
3.1,3.2,3.3	Hubkolben
4	Kurbelwelle
5.1,5.2,5.3,5.4	Kurbelwellenlager
6.1,6.2,6.3	Pleuelstange
7.1,7.2,7.3	Kurbelwellenzapfen
8.1,8.2,8.3	großes Pleuelauge
9.1,9.2,9.3	kleine Pleuelauge
10.1,10.2,10.3	Kolbenbolzen
11	Kurbelwellenketterad
12	Steuerkette
13	Nockenwellenkettensrad
14	Nockenwelle
15	Spannschiene
16	Kettenspanner
17.1	Pleuelstangenkopf
18.1	erstes Pleuelteil
18a.1	Kolbenstange
19.1	zweites Pleuelteil
19a.1	Deckel
19b.1	Lagerschale
20.1	Zylinder-Kolben-Einheit
21.1	Verstellkolben
22.1	Zylinderbohrung
23.1	Dichtungseinrichtung
24.1	erster Druckraum
25.1	zweiter Druckraum
26.1	hydraulische Schaltung
27.1	erste Stirnseite
28.1	zweite Stirnseite
29.1	Ölversorgungs kanal
30.1	Rückströmdrossel
31.1	Kanal
32.1	Steuerventil
32a.1	Stellkolben
32b.1	Druckfeder
33.1	Kolbendichtung
34.1	Kolbennut

35.1	Spalt
36.1	Stangenbohrung
37.1	Bohrungsnut
38.1	Innenwandung
39.1	Außenwandung
40.1	Rücklaufkanal
41.1	Rückschlagventil
42.1	Ölkanal
43.1	Rücklaufleitung
44.1	Auslass
45.1	Ölkanal
46.1	Rückschlagventil
47.1	Stangendichtung
48.1	Ölabstreifer
D_w	Wandstärke
V_h	Hubvolumen
V_c	Kompressionsvolumen
H_C	Kompressionshöhe
H_K	Hubweg
r_i	Innendurchmesser
r_a	Außendurchmesser
S	Spaltmaß
ε	Verdichtungsverhältnis
n	Drehzahl
T	Temperatur

Patentansprüche

1. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) für einen Verbrennungsmotor (1), insbesondere einen Ottomotor, mit einem ersten Pleuelteil (18.1) und einem zweiten Pleuelteil (19.1), das erste Pleuelteil (18.1) weist ein kleines Pleuelauge (9.1) zur Aufnahme eines Kolbenbolzens (10.1) und das zweite Pleuelteil (19.1) weist ein großes Pleuelauge (8.1) zur Aufnahme eines Kurbelwellenzapfens (7.1) auf, wobei das erste Pleuelteil (18.1) gegenüber dem zweiten Pleuelteil (19.1) bewegbar ist, um den Abstand zwischen dem großen Pleuelauge (8.1) und dem kleinen Pleuelauge (9.1) zu verstellen, und mit mindestens einer Zylinder-Kolben-Einheit (20.1), um das erste Pleuelteil (18.1) relativ zum zweiten Pleuelteil (19.1) zu verstellen, die Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) umfasst eine Zylinderbohrung (22.1), einen in der Zylinderbohrung (22.1) längs bewegbar angeordneten Verstellkolben (21.1), mindestens einen in der Zylinderbohrung (22.1) vorgesehenen ersten Druckraum (24.1) zur Aufnahme von Motoröl des Verbrennungsmotors, der Druckraum (24.1) ist einseitig von dem bewegbaren Verstellkolben (21.1) begrenzt, und einer zwischen einer Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) und einer Innenwandung (38.1) der Zylinderbohrung (22.1) angeordneten Dichtungseinrichtung (23.1), wobei die Dichtungseinrichtung (23.1) mindestens zwei Kolbendichtungen (33.1) umfasst, wobei jede Kolbendichtung (33.1) in einer separaten an der Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) umlaufenden Kolbennut (34.1) angeordnet ist und mit der Innenwandung (38.1) der Zylinderbohrung (22.1) in Gleitkontakt steht,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kolbendichtungen (33.1) der Dichtungseinrichtung (23.1) als doppelwirkende Kolbendichtungen (33.1) und zweiteilig ausgebildet sind, wobei die zweiteiligen Kolbendichtungen (33.1) jeweils einen Positionierring und einen Gleitring, bevorzugt aus Kunststoff, aufweisen.
2. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtungseinrichtung (23.1) mindestens drei, bevorzugt mindestens vier Kolbendichtungen (33.1) umfasst.
3. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtungseinrichtung (23.1) einen Abstreifer (48.1) umfasst, wobei der Abstreifer (48.1) an einem dem ersten Druckraum (24.1) zugewandten Ende der Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) angeordnet ist.
4. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der Verstellkolben (21.1) der Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) als zweiseitig wirkender Verstellkolben (21.1) ausgebildet ist, wobei der in der Zylinderbohrung (22.1) längs bewegbar angeordnete Verstellkolben (21.1) einen ersten Druckraum (24.1) und einen zweiten Druckraum (25.1) zur Aufnahme von Motoröl ausbildet und jeweils einseitig begrenzt.
5. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass der Verstellkolben (21.1) an einer zweiten Stirnseite (28.1), die den zweiten Druckraum (25.1) begrenzt, eine Kolbenstange (18a.1) aufweist, die sich durch eine Stangenbohrung (36.1) der Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) erstreckt, wobei mindestens zwei Stangendichtungen (47.1) vorgesehen sind, wobei jede Stangendichtung (47.1) in einer umlaufenden Nut (37.1) in der Stangenbohrung (36.1) angeordnet ist und mit der Kolbenstange (18a.1) in Gleitkontakt steht.
6. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Abstreifer (48.1) vorgesehen ist, wobei der Abstreifer (48.1) an einem dem zweiten Druckraum (25.1) zugewandten Ende der Stangenbohrung (36.1) angeordnet ist.

7. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass das erste Pleuelteil (18.1) mit dem Verstellkolben (21.1) der Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) verbunden ist und das zweite Pleuelteil (19.1) die Zylinderbohrung (22.1) der Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) aufweist.
8. Verwendung einer Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) mit einer Dichtungseinrichtung (23.1) für eine längenverstellbare Pleuelstange (6.1) eines Verbrennungsmotors (1) mit einem ersten Pleuelteil (18.1) und einem zweiten Pleuelteil (19.1), die mittels der Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) verstellbar sind, um das erste Pleuelteil (18.1) relativ zum zweiten Pleuelteil (19.1) zu bewegen, die Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) umfasst eine Zylinderbohrung (22.1), einen in der Zylinderbohrung (22.1) längs bewegbar angeordneten Verstellkolben (21.1), mindestens einen in der Zylinderbohrung (22.1) vorgesehenen ersten Druckraum (24.1) und die zwischen der Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) und der Innenwandung (38.1) der Zylinderbohrung (22.1) angeordneten Dichtungseinrichtung (23.1), wobei die Dichtungseinrichtung (23.1) mindestens zwei Kolbendichtungen (33.1) umfasst, wobei jede Kolbendichtung (33.1) in einer separaten an der Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) umlaufenden Kolbennut (34.1) angeordnet ist und mit der Innenwandung (38.1) der Zylinderbohrung (22.1) in Gleitkontakt steht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kolbendichtungen als doppeltwirkende Kolbendichtungen (33.1) und zweiteilig ausgebildet sind, wobei die zweiteiligen Kolbendichtungen (33.1) jeweils einen Positionierring und einen Gleitring, bevorzugt aus Kunststoff, aufweisen.
9. Verbrennungsmotor (1) mit mindestens einem Hubkolben (3.1,3.2,3.3) und mit zumindest einem einstellbaren Verdichtungsverhältnis in einem Zylinder (2.1,2.2,2.3) und einer mit dem Hubkolben (3.1,3.2,3.3) verbundenen längenverstellbaren Pleuelstange (6.1) (6.1,6.2, 6.3) nach einem der Ansprüche 1 bis 9.
10. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) der längenverstellbaren Pleuelstange (6.1,6.2,6.3) an die Motorölhydraulik des Verbrennungsmotors (1) angeschlossen ist.
11. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass der Systemdruck des Motoröls im ersten Druckraum (24.1) der Zylinder-Kolben-Einheit (20.1) zwischen 1.000 bar und 3.000 bar, bevorzugt zwischen 2.000 bar und 2.500 bar, beträgt.
12. Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Steuertrieb mit mindestens einer Steuerkette (12), einer Spann- und/oder Führungsschiene (15), und/oder einem Kettenspanner (16) vorgesehen ist, der die Kurbelwelle (4) mit der mindestens einen Nockenwelle (14) des Verbrennungsmotors (1) verbindet.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3

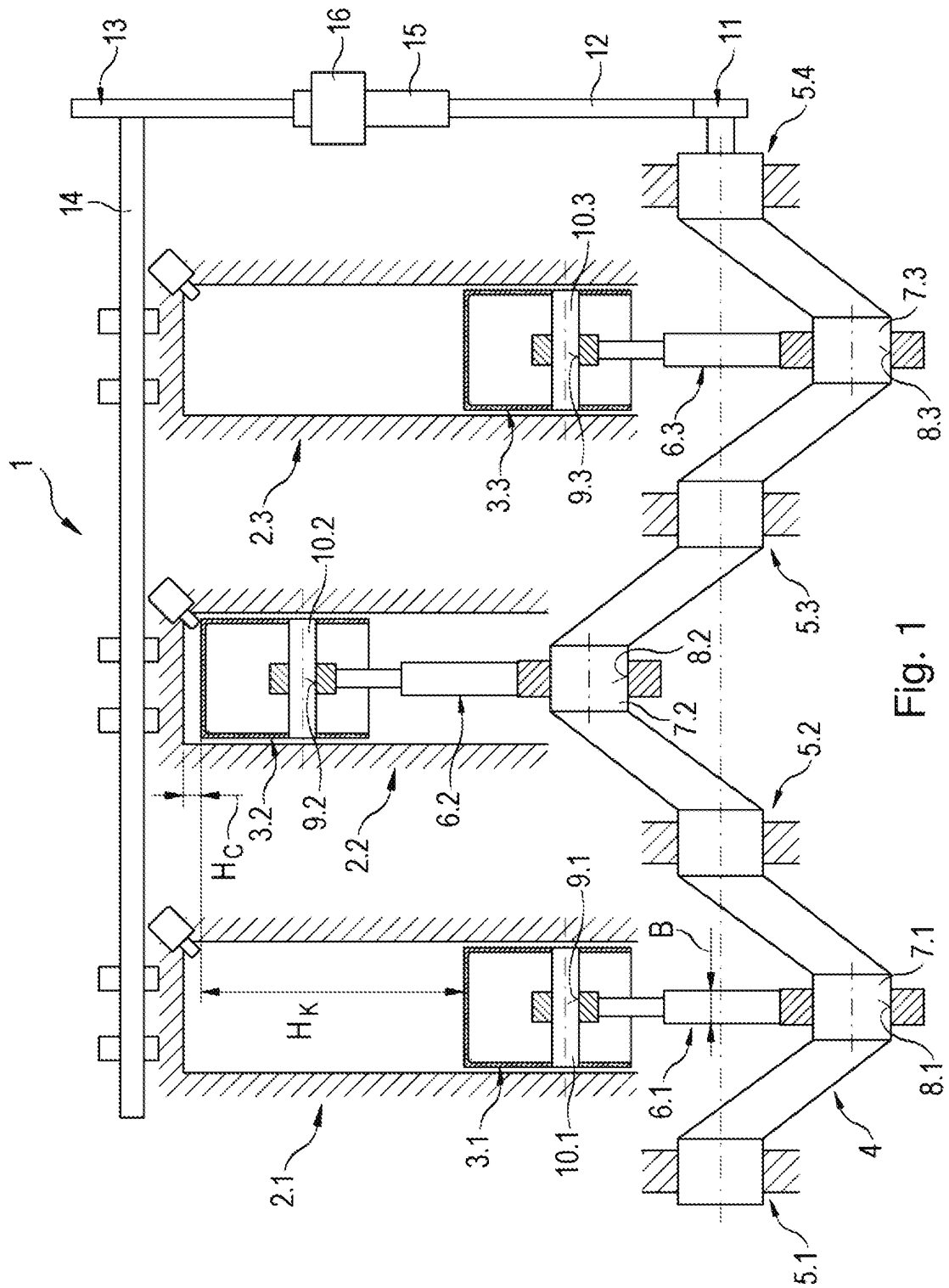


Fig. 1

16 / 17

3/3

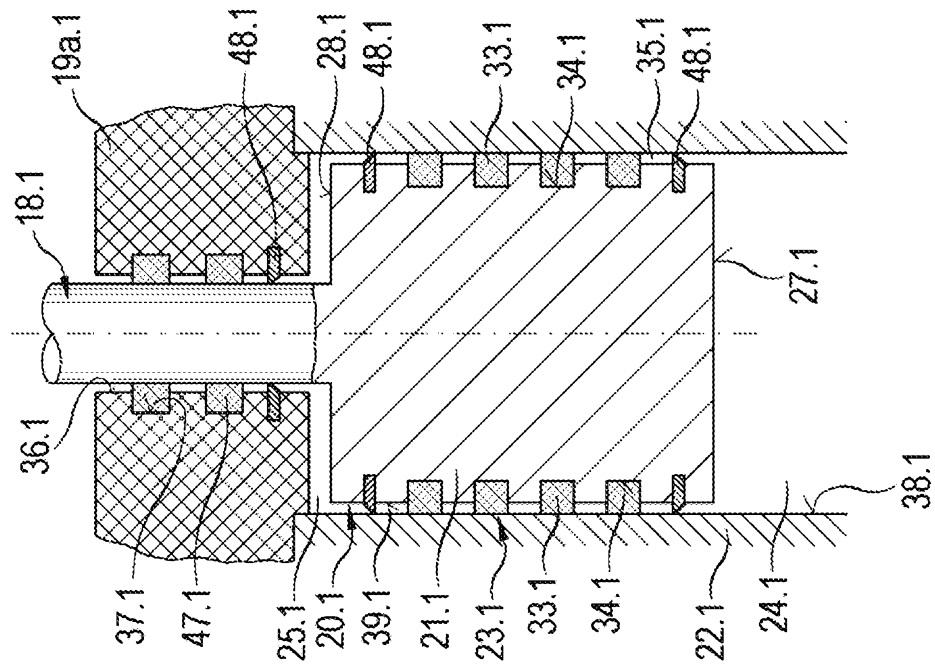


Fig. 4

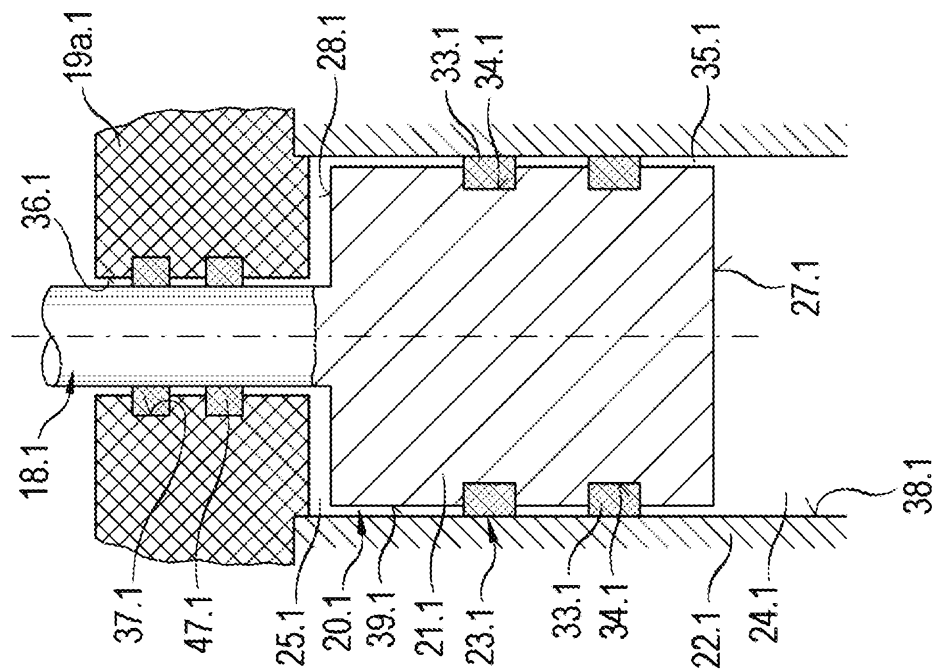


Fig. 3