

(12)

(21)

(51)

(30)

(71

(72

(74

(54)

(57)



Zusammenfassung

Die 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 der Außenwandung des Verstellkolbens und der Innenwandung der Zylinderbohrung angeordneten Dichtungseinrichtung. Die Dichtungseinrichtung umfasst dabei eine Spaltdichtung, ein Ölreservoir, einen Ölfiler und einen Ölabstreifer, wobei der Ölabstreifer an dem dem ersten Druckraum zugewandten Ende der Außenwandung und das Ölreservoir an der Außenwandung zwischen Ölabstreifer und Spaltdichtung angeordnet ist und das Ölreservoir über den Ölfiler mit dem ersten Druckraum in Fluidverbindung steht.

Fig. 3

Längenverstellbare Pleuelstange mit einer Zylinder-Kolben-Einheit mit Spaltdichtung, Ölreservoir, Ölfilter und Ölabbstreifer

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 der Außenwandung des Verstellkolbens und der Innenwandung der Zylinderbohrung angeordneten Dichtungseinrichtung. 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.

Der thermische Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors, insbesondere von Ottomotoren, ist abhängig vom Verdichtungsverhältnis ε , d.h. dem Verhältnis vom Gesamtvolumen vor der Verdichtung zum Kompressionsvolumen ($\varepsilon = (\text{Hubvolumen } V_h + \text{Kompressionsvolumens } V_c) / \text{Kompressionsvolumen } V_c$). 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.

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.

Für die Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses (VCR) existieren unterschiedliche Lösungen, mit denen die Lage des Hubzapfens der Kurbelwelle oder des Kolbenbolzens des Motorkolbens 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 CO₂-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 Kurbeltrieb noch signifikante Einsparungen im Verbrauch und dem CO₂-Ausstoß.

Bereits die Druckschrift US 2,217,721 beschreibt einen Verbrennungsmotor mit einer längenverstellbaren Pleuelstange mit zwei teleskopartig ineinander verschiebbaren Pleuelteilen, 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.

Eine diskontinuierliche Verstellung des Verdichtungsverhältnisses für einen Verbrennungsmotor zeigt die EP 1 426 584 A1, bei der ein mit dem Kolbenbolzen verbundener Exzenter eine Einstellung des Verdichtungsverhältnisses ermöglicht. Dabei erfolgt eine Fixierung des Exzenter 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.

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.

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 längenver-

stellbaren 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 Pleuelstange 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 Pleuellagers, angeordnet ist. Der Verstellkolben trennt den Zylinder in zwei Druckräume, einen oberen und einen unteren Druckraum. Diese beiden Druckräume werden über Rückschlagventile mit Motoröl versorgt, wobei die Versorgung mit Motoröl über die Schmierung des Pleuellagers erfolgt. Hierzu ist eine Öldurchführung vom Pleuellager zum Pleuel und dort über die Rückschlagventile in die Druckräume erforderlich.

Ist die Pleuelstange in der langen Position, befindet sich kein Motoröl in der 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 Pleuelstange 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 in dieser Richtung hydraulisch gesperrt.

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

Die Pleuellänge kann zweistufig verstellt werden, indem eine 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 Pleuellager fließen. Das jeweilige Rückschlageventil verliert entsprechend seine Wirkung. Die beiden Rücklaufkanäle werden durch ein Steuerventil geöffnet 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.

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. Axial ist ohnehin nur der Bauraum zwischen dem kleinen Pleuelauge zur Lagerung des Kolbenbolzens und dem großen Lagerauge zur Lagerung des Kurbelwellenzapfens und ein eventueller Verstellhub der Pleuelstange vorhanden.

Die in einem Verbrennungsmotor von einer Pleuelstange zu übertragenden Kräfte sind beträchtlich, weshalb auch die Drücke in den Druckraum des Verstellmechanismus erheblich sein können. Angesichts der hohen Innendrücke bei einem solchen Verstellmechanismus ist die Dauerfestigkeit der verwendeten Werkstoffe problematisch, aber auch die Konstruktion des Verstellmechanismus im Hinblick auf den geringen Bauraum.

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.

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 Kurbelwelle 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 einfache Spaltdichtungen oder Kolbendichtungen verwendet. Während Spaltdichtungen konstruktionsbedingt eine gewisse Le-

ckage aufweisen, können Kolbendichtungen als berührende Dichtungseinrichtungen eine Leckage nahezu vermeiden. 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. Hohe Temperaturen in der längenverstellbaren Pleuelstange könnten neben einer verstärkten Alterung des Motoröls zu Schäden an der Hydraulikmittelversorgung und zu Problemen an weiteren Bauteilen der längenverstellbaren Pleuelstange aufgrund thermischer Ausdehnungen führen.

Obwohl in vielen Bereichen der Technik Kolbenhubmaschinen hinlänglich bekannt sind und im Bereich der Automobilindustrie Hubkolben-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 Spaltdichtungen in Zylinder-Kolben-Einheiten längenverstellbarer Pleuelstangen auch einem Verschleiß, da der Spalt zwischen Zylinder und Verstellkolben zur Erzielung einer für die extreme Druckdifferenz ausreichende Dichtwirkung verhältnismäßig klein gewählt werden muss, so dass sich Rußpartikel und Späne zwischen der Zylinderwandung und dem Kolbenmantel verklemmen können, was zu starken Beschädigungen an den Oberflächen und letztlich zu einem Verschleiß und Ausfall der Zylinder-Kolben-Einheit führen kann.

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, geringem Bauraum, hohen Temperaturbelastungen und Verschmutzungen des Motoröls eine verbesserten dauerhafte Dichtwirkung ermöglicht.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Dichtungseinrichtung eine Spaltdichtung, ein Ölreservoir, einen Ölfiler und einen Ölabstreifer umfasst, wobei der Ölabstreifer an dem dem ersten Druckraum zugewandten Ende der Außenwandung und in einem Abstand zur ersten Stirnseite angeordnet und das Ölreservoir an der Außenwandung zwischen Ölabstreifer und Spaltdichtung angeordnet ist, und wobei das Ölreservoir über den Ölfiler mit dem ersten Druckraum in Fluidverbindung steht. Der Ölabstreifer, der umlaufend an dem dem ersten Druckraum zugewandten Ende der Außenwandung angeordnet ist und in Kontakt mit der Innenwandung der Zylinderbohrung steht, verhindert das Eindringen von Rußpartikeln, Spänen und anderen Schmutzteilen aus dem Motoröl in den Spalt der Spaltdichtung, so dass der Spalt der berührungslosen Spaltdichtung relativ klein gewählt werden kann. Bei einer Bewegung des Verstellkolbens in der Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit entsteht hinter dem Ölabstreifer ausgehend von den hohen Systemdrücken in einer solchen Zylinder-Kolben-Einheit ein hoher Unterdruck, der ohne einen Druckausgleich parallel zum Ölabstreifer zu einem einseitigen Ausreißen des am Verstellkolben angeordneten Ölabstreifers oder gar zu einem vollständigen Einziehen des Ölabstreifers in die Spaltdichtung und einem nachfolgenden Ausfall der Zylinder-Kolben-Einheit führen kann. Daher ist zwischen dem Ölabstreifer und der eigentlichen Spaltdichtung der Dichtungseinrichtung ein Ölreservoir vorgesehen, das über einen Ölfiler mit dem ersten Druckraum in Fluidverbindung steht. Dieser parallel zum Ölabstreifer angeordnete Bypass verhindert durch einen schnellen Druckausgleich ein Einziehen des Ölabstreifers in die Spaltdichtung, wobei zwischen Ölreservoir und dem ersten Druckraum ein Ölfiler vorgesehen ist, um ein Einströmen von Partikeln aus dem Motoröl in das Ölreservoir und schlussendlich in die Spaltdichtung zu verhindern. Da diese erfindungsgemäße Dichtungseinrichtung einen Eintrag von Rußpartikeln und Spänen aus dem Motoröl mittels des Ölabstreifers und des Ölfilters verhindert, kann der Spalt der Spaltdichtung relativ klein gewählt werden und so eine sehr gute Dichtwirkung erzielt werden.

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, mehr-eckige oder anderweitige Querschnittsformen des Verstellkolbens und der Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit.

Eine zweckmäßige Ausführungsform sieht vor, dass das Ölreservoir als eine an der Außenwandung umlaufende Nut ausgebildet ist. Die umlaufende Nut an der Außenwandung des Verstellkolbens ermöglicht eine einfache Herstellung des Ölreservoirs zwischen Ölabstreifer und Spaltdichtung und gleichzeitig auch eine gute Einbindung eines Ölfilters.

Für eine sichere Versorgung des Ölreservoirs mit Motoröl können zwischen dem ersten Druckraum und dem Ölreservoir mindestens ein Ölzulaufkanal, bevorzugt mindestens zwei Ölzulaufkanäle, vorgesehen sein. Eine sinnvolle Ausbildung sieht dabei vor, dass der Ölfilter im Ölreservoir angeordnet ist und den mindestens einen Zulaufkanal gegenüber dem Ölreservoir abgrenzt. Die Lage des Ölfilters vor dem Auslauf des mindestens einen Ölzulaufkanals im Ölreservoir ermöglicht eine sichere Anordnung und Positionierung des Ölfilters sowie eine sichere Funktion der Filtrierung des gesamten aus dem ersten Druckraum in das Ölreservoir einströmenden Motoröls. Eine einfache Variante sieht dabei vor, dass der Ölfilter zylinderförmig ausgebildet ist und als Filterring im Ölreservoir eine große Filterfläche gegenüber dem Ölzulaufkanal ausbildet.

Alternativ kann der Ölfilter an einer ersten, den ersten Druckraum begrenzenden, Stirnseite des Verstellkolbens zwischen dem ersten Druckraum und dem Ölzulaufkanal angeordnet sein. Die Anordnung des Ölfilters an der ersten Stirnseite reduziert zwar die Gefahr eines Zusetzen des Ölfilters durch Partikel aus dem Motoröl, jedoch ist die Größe des Ölfilters durch die Fläche der ersten Stirnseite und die notwendige Fixierung des Ölfilters und des Ölabstreifers im Randbereich der ersten Stirnseite begrenzt. Weiter ist die Anordnung des Ölfilters an der ersten Stirnseite im ersten Druckraum eine exponierte Lage und birgt Nachteile in der Funktionssicherheit. Darüber hinaus sind sowohl für die Anordnung und Ausbildung des Ölfilters als auch für das Ölreservoir andere konstruktive Lösungen denkbar, wobei neben einer guten Funktionalität und einem geringen Herstellungsaufwand auch auf eine geringstmögliche Zunahme des Motorölvolumens des Druckraums geachtet werden muss.

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 die Dichtungseinrichtung an der dem zweiten Druckraum

zugewandten Seite der Außenwandung des Verstellkolbens einen zweiten Ölabstreifer aufweisen, wobei an der Außenwandung zwischen zweitem Ölabstreifer und Spaltdichtung ein zweites Ölreservoir angeordnet sein, und über einen zweiten Ölfiter mit dem zweiten Druckraum in Fluidverbindung stehen. Durch die Anordnung eines zweiten Ölabstreifers und eines zweiten Ölreservoirs mit Ölfiter auf der dem zweiten Druckraum zugewandten Seite der Spaltdichtung zwischen Außenwandung des Verstellkolbens und Innenwandung der Zylinderbohrung, ist auf beiden Seiten des zweiseitig wirkenden Verstellkolbens die Funktionssicherheit der erfindungsgemäßen Dichtungseinrichtung gewährleistet.

Eine sinnvolle Ausgestaltung der längenverstellbaren Pleuelstange sieht vor, dass die Spaltdichtung zwischen der Außenwandung des Verstellkolbens und der Innenwandung der Zylinderbohrung ein Spaltmaß von höchstens 20 µm, bevorzugt von höchstens 10 µm, aufweist. Bei einem Durchmesser des Verstellkolbens einer Zylinder-Kolben-Einheit einer längenverstellbaren Pleuelstange von ca. 12 bis 18 mm, maximal 20 mm, ermöglicht ein derart geringes Spaltmaß der Spaltdichtung, d.h. des durchschnittlichen Abstands des umlaufenden Spalts zwischen Außenwandung des Verstellkolbens und Innenwandung der Zylinderbohrung, eine deutliche Verbesserung der Dichtwirkung und entsprechend der Leistung des Verbrennungsmotors durch die Begrenzung des Absinkens des Verstellkolbens in den Druckraum der Zylinder-Kolben-Einheit.

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

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 einen Zylinderbohrung, einen in dem Zylinderbohrung längs bewegbar angeordneten Verstellkolben, mindestens einen in den Zylinderbohrung vorgesehenen Druckraum und die zwischen der Außenwandung des Verstellkolbens und der Innenwandung der Zylinderbohrung angeordneten Dichtungseinrichtung, wobei die Dichtungseinrichtung eine Spaltdichtung, ein Ölreservoir, einen Ölfiter und einen Ölabstreifer umfasst, der Ölabstreifer an dem dem ersten Druckraum zugewandten Ende der Außenwandung und das Ölreservoir an der Außenwandung zwischen Ölabstreifer und Spaltdichtung angeordnet ist, und wobei das Ölreservoir über den Ölfiter mit dem ersten Druckraum in Verbindung steht. Der Einsatz einer mittels Motoröl des Verbrennungsmotors hydraulisch verstellbaren Zylinder-Kolben-Einheit für eine längenverstellbare Pleuelstange mit einer solchen Spaltdichtung mit Ölreservoir und Ölabstreifer ermöglicht

trotz der sehr kleinen Abmessung der Zylinder-Kolben-Einheit und des extrem hohen Systemdrucks die Verwendung eines relativ kleinen Spaltmaßes der Spaltdichtung, da Rußpartikel und Späne aus dem Motoröl nicht in den Spalt gelangen können, um so eine für den hohen Systemdruck notwendige Dichtwirkung zu erzielen, die bei einer Belastung ein Einrücken des Verstellkolbens in den Druckraum und einen entsprechenden Leistungsverlust vermeidet. 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. In den Zylinder-Kolben-Einheiten herkömmlicher längenverstellbarer Pleuelstangen werden entweder Spaltdichtungen mit einem mittleren Spaltmaß eingesetzt, um den Leistungsverlust bei einem Einrücken des Verstellkolbens in den Druckraum in Grenzen zu halten und gleichzeitig ein Ausspülen der vom Motoröl eingetragenen Partikel zu ermöglichen, um entsprechende Beschädigungen an den Oberflächen der Außenwandung des Verstellkolbens und der Innenwandung der Zylinderbohrung zu vermeiden. Alternativ sind auch berührende Dichtungen, wie Kolbendichtungen, bekannt, die durch die größere Bauteilanzahl und die aufwändigere Montage kostenintensiver sind und einen größeren Bauraum erfordern, aber eine Leckage sicher verhindern, jedoch wegen den im Motoröl vorhandenen Partikeln und den im Bereich der Dichtungseinrichtung auftretenden Schäden eine geringere Betriebssicherheit und Lebensdauer aufweisen.

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. Dadurch können die im Motorölkreislauf vorhandenen Drücke bei der Verstellung und Arretierung des Verstellkolbens in der Zylinderbohrung der Zylinder-Kolben-Einheit zur Anwendung kommen. Die besondere Ausgestaltung der Dichtungseinrichtung mit einer Spaltdichtung, einem Ölabstreifer, einem Ölreservoir und einem Ölfiler verhindert, dass die im Motoröl vorhandenen Rußpartikel und Späne in den Spalt der Spaltdichtung eindringen und die Außenwandung des Verstellkolbens und die Innenwandung der Zylinderbohrung beschädigen.

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.

Gemäß einer Weiterbildung können ein Steuertrieb mit mindestens einer Steuerkette, einer Spann- und/oder Führungsschiene, und/oder einem Kettenspanner vorgesehen sein, der die Pleuellstange mit der mindestens einen Pleuellstange des Pleuellstanges verbindet. Der Steuertrieb ist insofern wichtig, weil dieser maßgeblichen Einfluss auf die dynamische Belastung des Pleuellstanges und somit auch auf die längenverstellbare Pleuellstange 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 Pleuellstangeverstellung oder einem Pleuellstangenantrieb, beispielsweise einem Pleuellstangenantrieb, ausgebildet sein, der mittels einer Pleuellstangeverstellung mit Pleuellstangeverstellung ist.

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

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch einen Pleuellstangenmotor,

Fig. 2 eine schematische Darstellung der längenverstellbaren Pleuellstange aus Fig. 1 in teilweiser geschnittener Darstellung,

Fig. 3 eine Schnittansicht einer ersten Ausführungsform eines Pleuellstanges der Pleuellstange-Einheit aus Fig. 2, und

Fig. 4 eine Schnittansicht einer zweiten Ausführungsform eines Pleuellstanges der Pleuellstange-Einheit aus Fig. 2.

In Fig. 1 ist in schematischer Darstellung ein Pleuellstangenmotor (Ottomotor) 1 dargestellt. Der Pleuellstangenmotor 1 hat drei Zylinder 2.1, 2.2 und 2.3, in denen sich jeweils ein Pleuellstange 3.1, 3.2, 3.3 auf und ab bewegt. Des Weiteren umfasst der Pleuellstangenmotor 1 eine Pleuellstange 4, die mittels Pleuellstangenlager 5.1 – 5.4 drehbar gelagert ist. Die Pleuellstange 4 ist mittels der Pleuellstangen 6.1, 6.2 und 6.3 jeweils mit dem zugehörigen Pleuellstange 3.1, 3.2 und 3.3 verbunden. Für jede Pleuellstange 6.1, 6.2 und 6.3 weist die Pleuellstange 4 einen exzentrisch angeordneten Pleuellstangenzapfen 7.1, 7.2 und 7.3 auf. Das große Pleuellstangenauge 8.1, 8.2, und 8.3 ist jeweils auf dem zugehörigen Pleuellstangenzapfen 7.1, 7.2 und 7.3 gelagert. Das kleine Pleuellstangenauge 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.

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 angeedrückt 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 Volumen V_h und V_c ergibt sich das Verdichtungsverhältnis ϵ . Im Detail errechnet sich das Verdichtungsverhältnis ϵ 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 ϵ zwischen 10 und 14.

Damit in Abhängigkeit vom Betriebspunkt (n , T , Drosselklappenstellung) des Verbrennungsmotors 1 das Verdichtungsverhältnis ϵ 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 Vollastbereich.

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.

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 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 und die Spannungen im Werkstoff des zweiten Pleuelteils 19.1 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.

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. Anschließend an den Ölversorgungskanal 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.

Aus dem ersten Druckraum 24.1 führt ein Rücklaufkanal 40.1 zum Steuerventil 32.1. Ein durch ein Rückschlagventil 41.1 absperrender 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.

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 und 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 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.

Fig. 3 zeigt eine Schnittansicht der Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 der längenverstellbaren Pleuelstange 6.1 aus Fig. 2 mit einem zweistufigen Verstellkolben 21.1, der in der Zylinderbohrung 22.1 längs beweglich 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 eine Spaltdichtung 33.1, die sich zumindest über den mittleren Bereich der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 erstreckt, ein Ölreservoir 34.1 und ein Ölabstreifer 35.1, der an dem der ersten Stirnseite 27.1 zugewandten Ende der Außenwandung 39.1, bzw. dem der zweiten Stirnseite 28.1 zugeordneten Ende der Außenwandung 39.1 angeordnet ist. Das Ölreservoir 34.1 ist zwischen dem Ölabstreifer 35.1 und der Spaltdichtung 33.1 angeordnet und als umlaufende Nut in der Außenwandung 39.1 des Verstellkolbens 21.1 ausgebildet. In dem umlaufenden, nutförmigen Ölreservoir 34.1 ist ein zylinderförmiger ÖlfILTER 36.1 positioniert, der das Ölreservoir 34.1 in ein der Innenwandung 38.1 der Zylinderbohrung 22.1 zugewandten Teil und einem hinteren Teil der über einen Ölzulaufkanal 37.1 mit dem ersten Druckraum 24.1 bzw. dem zweiten Druckraum 25.1 verbunden ist. Bevorzugt ist der zylinderförmige ÖlfILTER 36.1 an einer Stufe in dem Ölreservoir 34.1 positioniert, um den hinteren Teil des Ölreservoirs 34.1 gut gegen den der Innenwandung 38.1 zugewandten Teil abzudichten. In dem hinteren Teil des Ölreservoirs 34.1 befindet sich ungefiltertes Motoröl, das über den ersten Druckraum 24.1 bzw. den zweiten Druckraum 25.1 in das Ölreservoir 34.1 einströmt, während in dem an der Innenwandung 38.1 angrenzenden vorderen Teil des Ölreservoirs 34.1 über den zylinderförmigen ÖlfILTER 36.1 gefiltertes Motoröl sich befindet.

Während das Spaltmaß S der Spaltdichtung 33.1 bei einer herkömmlichen Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 für eine teleskopierbare Pleuelstange 6.1, mit einem Durchmesser des Verstellkolben 21.1 von zwischen 12 und 20 mm, mindestens 30 μm , typischerweise über 50 μm , beträgt, kann die Dichtungseinrichtung 23.1 einer erfindungsgemäßen längenverstellbaren Pleuelstange 6.1 eine Spaltdichtung 33.1 aufweisen, bei der das Spaltmaß S unter 20 μm , bevorzugt unter 10 μm , beträgt. Dadurch kann die Spaltdichtung 33.1 eine Leckage des in dem ersten Druckraum 24.1 bzw. dem zweiten Druckraum 25.1 befindlichen Motoröl durch die Spaltdichtung 33.1 hindurch fast vollständig verhindern und so ein Absinken des Verstellkolbens 21.1 bei einer Druckbeaufschlagung durch die längenverstellbare Pleuelstange 6.1 vermeiden. Bei einer Veränderung der

Position des Verstellkolbens 21.1 in der Zylinderbohrung 22.1 der Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 mittels der hydraulischen Schaltung 26.1, um die Länge der Pleuelstange 6.1 und entsprechend des Verdichtungsverhältnisses im Verbrennungsmotor 1 zu verändern, wird das an der Innenwandung 38.1 der Zylinderbohrung 22.1 anhaftende Motoröl und die im Motoröl befindlichen Partikel vom Ölabstreifer 35.1 im ersten Druckraum 24.1 bzw. dem zweiten Druckraum 25.1 gehalten, so dass das im Ölreservoir 34.1 befindliche Motoröl, das gegebenenfalls in den Spalt der Spaltdichtung 33.1 einströmen kann, über den Ölfiler 36.1 gefiltert ist und ein Eintrag von Partikeln aus dem Motoröl in die Spaltdichtung 33.1 sicher verhindert wird.

In Fig. 4 ist eine weitere Ausführungsform eines Verstellkolbens 21.1 der Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 der längenverstellbaren Pleuelstange 6.1 aus Fig. 2 in einer Schnittansicht gezeigt. Dieser Verstellkolben 21.1 ist lediglich einseitig mit einem Ölabstreifer 35.1, einem Ölreservoir 34.1, einem Ölzulaufkanal 37.1 und einem Ölfiler 36.1 ausgebildet und wird entsprechend in einer einseitig wirkenden Zylinder-Kolben-Einheit 20.1 eingesetzt. Dabei ist der Ölfiler 36.1 als Filterscheibe an der ersten Stirnseite 27.1 angeordnet, so dass das Motoröl aus dem ersten Druckraum 24.1 zunächst durch den Ölfiler 36.1 und dann durch ein oder mehrere Ölzulaufkanäle 37.1 in das Ölreservoir 34.1 einströmt. Im Gegensatz zu dem zylinderförmigen Ölfiler 36.1 in Fig. 3, der durch die Zylinderfläche eine größere Filterfläche aufweist, verbleiben die von diesem scheibenförmigen Ölfiler 36.1 zurückgehaltenen Rußpartikel und Späne aus dem Motoröl in dem ersten Druckraum 24.1, so dass die Gefahr einer kompletten Verstopfung der Filterfläche entsprechend verringert ist. Darüber hinaus kann das als umlaufende Nut am Verstellkolben 21.1 ausgebildete Ölreservoir 34.1 flacher ausgebildet sein.

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	Nockenwellenkettenrad
14	Nockenwelle
15	Spannschiene
16	Kettenspanner
17.1	Pleuelstangenkopf
18.1	erstes Pleuelteil
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	Spaltdichtung
34.1	Ölreservoir
35.1	Ölabstreifer
36.1	Ölfilter
37.1	Ölzulaufkanal
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

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

Ansprüche

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),
dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtungseinrichtung (23.1) eine Spaltdichtung (33.1), ein Ölreservoir (34.1), einen ÖlfILTER (36.1) und einen Ölabstreifer (35.1) umfasst, wobei der Ölabstreifer (35.1) an dem dem ersten Druckraum (24.1) zugewandten Ende der Außenwandung (39.1) und das Ölreservoir (34.1) an der Außenwandung (39.1) zwischen Ölabstreifer (35.1) und Spaltdichtung (33.1) angeordnet ist, und wobei das Ölreservoir (34.1) über den ÖlfILTER (36.1) mit dem ersten Druckraum (24.1) in Fluidverbindung steht.
2. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass das Ölreservoir (34.1) als eine an der Außenwandung (36.1) umlaufende Nut ausgebildet ist.
3. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Ölzulaufkanal (37.1) zwischen dem ersten Druckraum (24.1) und dem Ölreservoir (34.1) vorgesehen ist.
4. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der ÖlfILTER (36.1) im Ölreservoir (34.1) angeordnet ist und den mindestens einen Ölzulaufkanal (37.1) gegenüber dem Ölreservoir (34.1) abgrenzt.
5. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass der Verstellkolben (21.1) eine den ersten Druckraum (24.1) begrenzende erste Stirnseite (27.1) aufweist und der ÖlfILTER (36.1) an der ersten Stirnseite (27.1) zwischen dem ersten Druckraum (24.1) und dem Ölzulaufkanal (37.1) angeordnet ist.

6. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
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) den ersten Druckraum (24.1) und einen zweiten Druckraum (25.1) zur Aufnahme von Motoröl ausbildet und jeweils einseitig begrenzt.
7. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtungseinrichtung (23.1) an dem dem zweiten Druckraum (25.1) zugewandten Ende der Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) einen zweiten Ölabstreifer (35.1) aufweist, wobei an der Außenwandung (39.1) zwischen zweitem Ölabstreifer (35.1) und Spaltdichtung (33.1) ein zweites Ölreservoir (34.1) angeordnet ist, und wobei das zweite Ölreservoir (34.1) über einen zweiten ÖlfILTER (36.1) mit dem zweiten Druckraum (25.1) in Fluidverbindung steht.
8. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die Spaltdichtung (33.1) zwischen der Außenwandung (39.1) des Verstellkolbens (21.1) und der Innenwandung (38.1) der Zylinderbohrung (22.1) ein Spaltmaß (S) von höchstens 20 µm, bevorzugt von höchstens 10 µm, aufweist.
9. Längenverstellbare Pleuelstange (6.1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
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.
10. 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),

dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtungseinrichtung (23.1) eine Spaltdichtung (33.1), ein Ölreservoir (34.1), einen Ölfiler (36.1) und einen Ölabstreifer (35.1) umfasst, wobei der Ölabstreifer (35.1) an dem dem ersten Druckraum (24.1) zugewandten Ende der Außenwandung (39.1) und das Ölreservoir (34.1) an der Außenwandung (39.1) zwischen Ölabstreifer (35.1) und Spaltdichtung (33.1) angeordnet ist, und wobei das Ölreservoir (34.1) über den Ölfiler (36.1) mit dem ersten Druckraum (24.1) in Fluidverbindung steht.

11. 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.

12. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 11,

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.

13. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 11 oder 12,

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.

14. Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13,

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.

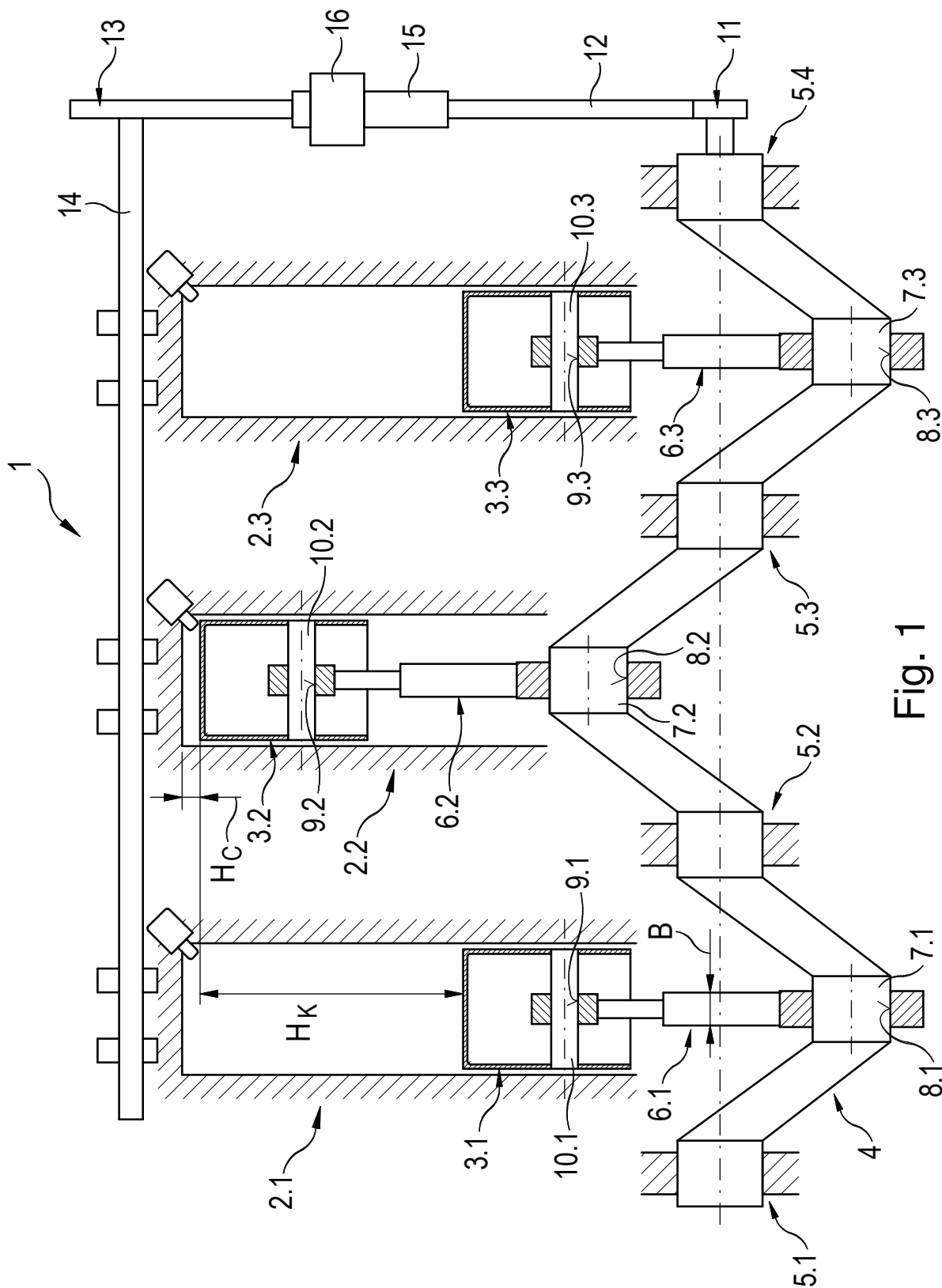


Fig. 1

2/3

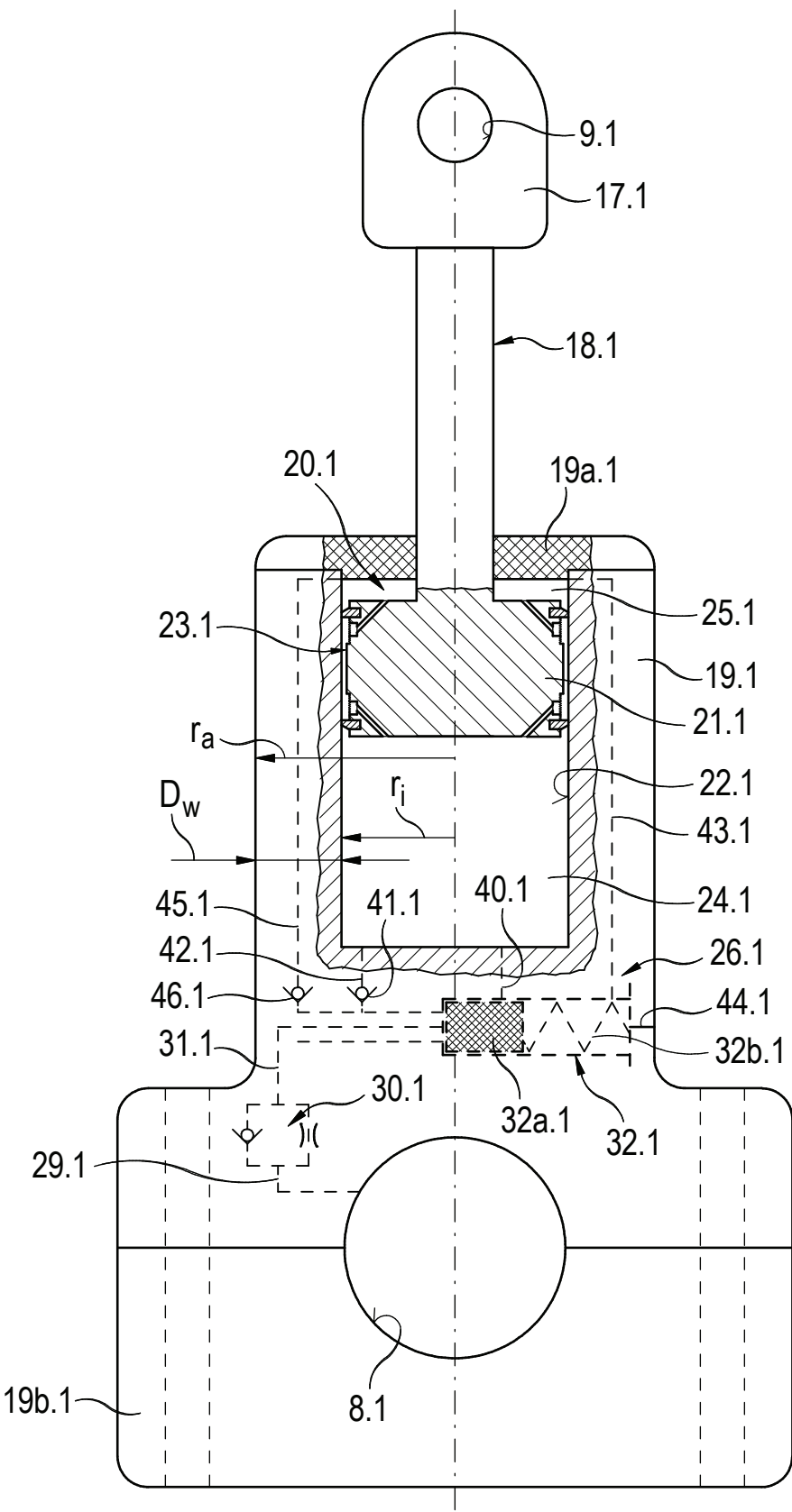


Fig. 2

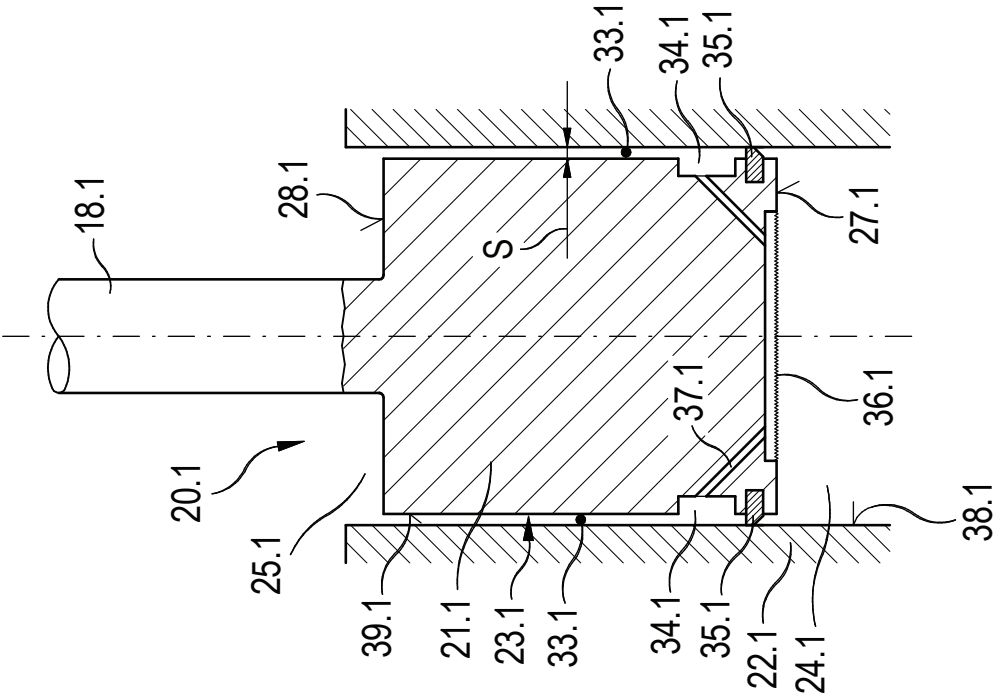


Fig. 4

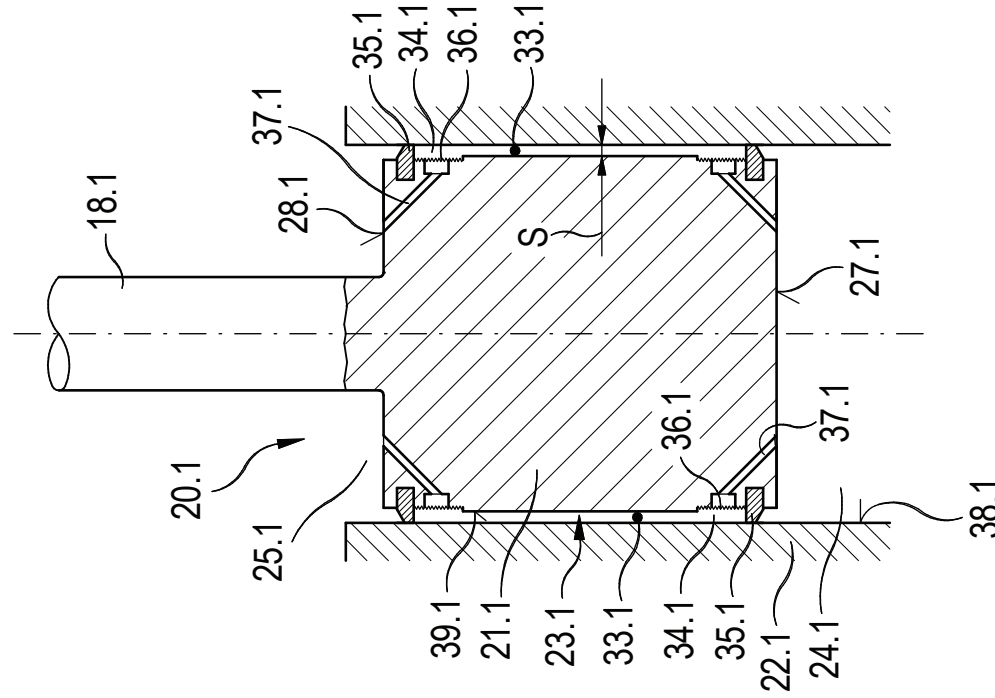


Fig. 3