

(12) **Patentschrift**

|                         |              |                |                   |           |
|-------------------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|
| (21) Anmeldenummer:     | A 50930/2015 | (51) Int. Cl.: | <b>F16C 7/06</b>  | (2006.01) |
| (22) Anmeldetag:        | 03.11.2015   |                | <b>F02B 75/04</b> | (2006.01) |
| (45) Veröffentlicht am: | 15.12.2017   |                | <b>F16H 25/22</b> | (2006.01) |
|                         |              |                | <b>F16H 25/24</b> | (2006.01) |

(30) Priorität:  
14.08.2015 AT A 50725/2015 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:  
US 1784192 A  
EP 2944789 A1  
DE 102004023331 A1  
GB 956606 A  
EP 0662573 A1  
US 2804054 A

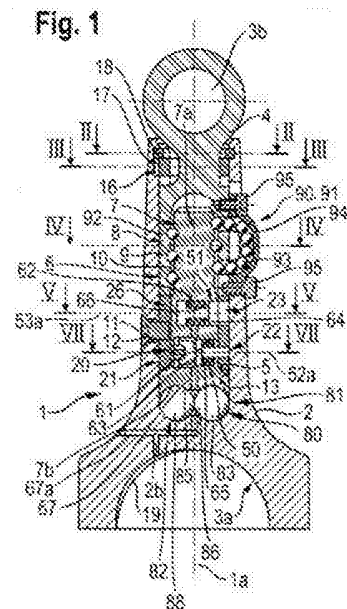
(73) Patentinhaber:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
Melde-Tuczai Helmut Dipl.Ing.  
8042 Graz (AT)  
Lösch Siegfried Dr.  
8713 St. Stefan ob Leoben (AT)  
Huemer Hubert Andreas  
8010 Graz (AT)  
Salzgeber Kurt Dr.  
8301 Laßnitzhöhe (AT)

(74) Vertreter:  
BABELUK Michael Dipl.Ing. Mag.  
1080 WIEN (AT)

(54) **LÄNGENVERSTELLBARE PLEUELSTANGE**

(57) Längenverstellbare Pleuelstange (1) für eine Hubkolbenmaschine, insbesondere für eine Brennkraftmaschine, mit einem ersten Stangenteil (2) und einem zweiten Stangenteil (4), welche beiden Stangenteile (2, 4) über ein Schraubgetriebe (6) in Richtung der Längsachse (1a) der Pleuelstange (1) relativ zueinander verschiebbar sind, wobei das Schraubgetriebe (6) einen ersten Getriebeteil (7) und einen mit dem ersten Getriebeteil (7) im Eingriff stehenden zweiten Getriebeteil (8) aufweist, wobei das Schraubgetriebe (6) nicht-selbsthemmend ausgebildet ist, wobei der im ersten Stangenteil (2) um die Längsachse (1a) drehbar angeordnete erste Getriebeteil (7) als Gewindespindel (10) und der zweite Getriebeteil (8) als Spindelmutter (9) ausgebildet ist. Um auf möglichst einfache Weise eine Veränderung des Verdichtungsverhältnisses zu ermöglichen ist vorgesehen, dass der erste Getriebeteil (7) im ersten Stangenteil (2) über ein Axialdrucklager (81) einer Lagereinrichtung (80) um die Längsachse (1a) drehbar gelagert ist, wobei die Lagereinrichtung (80) zur Lagerung des ersten Getriebeteils (7) im zweiten Stangenteil (4) eine Kugelumlaufvorrichtung (90) aufweist und die Spindelmutter (9) des zweiten Getriebeteils (8) als Kugelumlaufmutter (91) ausgebildet ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine längenverstellbare Pleuelstange für eine Hubkolbenmaschine, insbesondere für eine Brennkraftmaschine, mit einem ersten Stangenteil und einem zweiten Stangenteil, welche beiden Stangenteile über ein Schraubgetriebe in Richtung der Längsachse der Pleuelstange relativ zueinander verschiebbar sind, wobei das Schraubgetriebe einen ersten Getriebeteil und einen mit dem ersten Getriebeteil im Eingriff stehenden zweiten Getriebeteil aufweist, wobei das Schraubgetriebe nicht-selbsthemmend ausgebildet ist, wobei der im ersten Stangenteil um die Längsachse drehbar angeordnete erste Getriebeteil als Gewindespindel und der zweite Getriebeteil als Spindelmutter ausgebildet ist.

**[0002]** Hydraulisch betätigte längenverstellbare Pleuelstangen weisen den Nachteil auf, dass das Öl in gewissem Ausmaß kompressibel ist, wobei die Kompressibilität vom Gasgehalt des Öls abhängt. Diese Kompressibilität des Öls kann zu Schwingungen in Motorfrequenz führen, die zum frühzeitigen Verschleiß der ohnehin durch sehr hohen Druck belasteten Dichtungen führen können. Diese Schwingungen führen zudem zu einer Erhöhung der Öltemperatur.

**[0003]** Aus den Druckschriften WO 06/115898 A1, US 5 406 911 A, GB 441 666 A ist es bekannt, die Länge von Pleuelstangen mechanisch durch ein Schraubgetriebe zu verstellen. Dabei wird jeweils der Kolben über sein verzahntes Kolbenhemd bzw. über ein Gewinde im Bereich des Kolbenhemdes verdreht.

**[0004]** Längenverstellbare Pleuelstangen, welche mit einem selbsthemmenden Gewinde die Länge der Pleuelstange ändern, müssen eine Drehbewegung erzeugen, um die beiden Getriebeteile des Schraubgetriebes relativ zueinander zu verdrehen. Diese relative Verdrehung kann mit Steilgewinde und/oder Schrägverzahnungen aufweisende weitere Schraubgetriebe oder mittels hydraulischen Drehschiebern erfolgen. Da die Verstellung nur in den sehr kurzen zeitlichen Abschnitten erfolgen kann, in welchen die Stange lastfrei ist, muss die Selbsthemmung ausreichend sein, um die Verstellung nur in die gewünschte Richtung zu ermöglichen. Nachteilig ist, dass ein zusätzlicher Drehantrieb erforderlich ist, was erhöhten Platzbedarf und Fertigungsaufwand erfordert.

**[0005]** Die US 1 784 192 A offenbart eine längenverstellbare Pleuelstange für eine Brennkraftmaschine mit einem ersten Stangenteil und einem zweiten Stangenteil. Die beiden Stangenteile sind über ein Schraubgetriebe in Richtung der Längsachse der Pleuelstange relativ zueinander verschiebbar. Das Schraubgetriebe weist einen ersten Getriebeteil und einen mit dem ersten Getriebeteil im Eingriff stehenden zweiten Getriebeteil auf, wobei das Schraubgetriebe nicht-selbsthemmend ausgebildet ist. Der im ersten Stangenteil um die Längsachse drehbar angeordnete erste Getriebeteil ist als Gewindespindel und der zweite Getriebeteil als Spindelmutter ausgebildet.

**[0006]** Die EP 2 944 789 A1 offenbart ein System zur mechanischen Konversion einer Brennkraftmaschine von einer Vier-Takt-Standard-Brennkraftmaschine in eine Acht-Takt-Maschine, wobei eine zweiteilige Pleuelstange zwischen Kolben und Kurbelwelle vorgesehen ist, welche zwei Arbeitspositionen aufweist. In einer ersten Arbeitsposition sind die beiden Teile der Pleuelstange starr miteinander verbunden. In einer zweiten Arbeitsposition ist der Kolben über eine Entkupplungseinrichtung von der Kurbelwelle entkoppelt.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, auf möglichst einfache Weise eine Veränderung des Verdichtungsverhältnisses zu ermöglichen.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass der erste Getriebeteil im ersten Stangenteil über ein Axialdrucklager einer Lagereinrichtung um die Längsachse drehbar gelagert ist, wobei die Lagereinrichtung zur Lagerung des ersten Getriebeteils im zweiten Stangenteil eine Kugelumlaufvorrichtung aufweist und die Spindelmutter des zweiten Getriebeteils als Kugelumlaufmutter ausgebildet ist.

**[0009]** Unter einem Schraubgetriebe wird hier ein zur Änderung von Bewegungsgrößen dienendes Getriebe verstanden, bei dem eine translatorische Bewegung eines verschiebbaren

Bauteils entlang einer Hubachse in eine rotatorische Bewegung eines verdrehbaren Bauteils um eine Drehachse bzw. eine rotatorische Bewegung eines verdrehbaren Bauteils in eine translatorische Bewegung eines verdrehbaren Bauteils geändert wird, wobei miteinander korrespondierende Wirkflächen der beiden koaxialen Bauteile aneinander entlang gleiten. Die Wirkflächen sind dabei von der gemeinsamen Dreh- bzw. Hubachse entfernt, einerseits im Bereich des äußeren Umfanges des einen - beispielsweise verschiebbaren - Bauteiles, und andererseits im Bereich des inneren Umfanges des anderen - beispielsweise verdrehbaren - Bauteils angeordnet. Die korrespondierenden Wirkflächen weisen eine definierte Steigung auf und können durch Gewinde oder durch Schrägverzahnungen der Bauteile gebildet werden. Somit ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass die die Gewindespindel ein Außengewinde bzw. eine Außenschrägverzahnung und die korrespondierende Spindelmutter ein Innengewinde bzw. eine Innenschrägverzahnung aufweist.

**[0010]** Die hier verwendeten Begriffe Gewinde, Gewindespindel und Spindelmutter sind somit keinesfalls auf schraubenförmige Gewindeformen einschränkend zu verstehen, sondern umfassen selbstverständlich Ausführungen, bei denen die Gewindeformen durch Schrägverzahnungen gebildet sind.

**[0011]** Von einer statischen Selbsthemmung eines Schraubgetriebes wird im Allgemeinen dann gesprochen, wenn der Steigungswinkel der korrespondierenden Wirkflächen, also der Gewindeflanken des Gewindes oder der Schrägverzahnung, kleiner als der Arcus Tangens der Gleitreibzahl der Materialpaarung des ersten und des zweiten Getriebeteils ist. Eine statische Selbsthemmung wird somit verhindert, wenn der Steigungswinkel der Wirkflächen des Gewindes oder der Schrägverzahnung zumindest gleich oder größer als der Arcus Tangens der Gleitreibzahl der Materialpaarung des ersten und des zweiten Getriebeteils ist.

**[0012]** Dadurch, dass eine Selbsthemmung des Schraubgetriebes verhindert wird, können die über relativ lange Zeit wirkenden Gas- und Massenkräfte zur Verstellung des Schraubgetriebes genutzt werden. Insbesondere ist es möglich mit der bei der Brennkraftmaschine auftretenden Gaskraft die Länge der Pleuelstange zu verkürzen und mit der vorhandenen Massenkraft zu verlängern. Diese Verstellkräfte verdrehen die Spindelmutter über das nicht selbsthemmende Gewinde und wirken während jedes Arbeitszyklus ständig, mit Ausnahme einer kurzen Phase, in denen Lastfreiheit herrscht.

**[0013]** Die Lagereinrichtung dient dazu, um die Reibung beim Verdrehen der beiden Getriebeteile möglichst klein zu halten. Die Lagereinrichtung weist also zumindest eine Kugelumlaufvorrichtung im Schraubgetriebe auf, wobei vorzugsweise die Spindelmutter als Kugelumlaufmutter ausgebildet ist. Das Schraubgetriebe ist somit als Kugelumlaufschraubgetriebe ausgebildet, wobei zwischen den beiden Getriebeteilen Kugeln entlang den Gewindegängen abwälzen. Dies ermöglicht es die Reibung zwischen den beiden Getriebeteilen auf ein Minimum zu beschränken und selbsthemmende Wirkung auch bei geringen Steigungen auszuschließen.

**[0014]** Zusätzlich ist vorgesehen, dass das Axialdrucklager zwischen dem ersten Getriebeteil und dem ersten Stangenteil angeordnet ist. Günstigerweise ist das Axialdrucklager als Wälzlager, vorzugsweise als Kugellager, mit zumindest einem Wälzkörper ausgebildet. Dabei kann in einer dem zweiten Stangenteil abgewandten Stirnfläche des ersten Getriebeteils und/oder in einer dem ersten Getriebeteil zugewandten Stirnfläche des ersten Stangenteils zumindest eine vorzugsweise torusförmige Lauffläche für den zumindest einen Wälzkörper des Axialdrucklagers angeordnet sein.

**[0015]** Alternativ zu einer Wälzlagerung kann das Axialdrucklager auch als hydrostatisches Lager ausgebildet sein.

**[0016]** In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass der erste Getriebeteil mit zumindest einer schaltbaren Drehsperreinrichtung verbunden ist, welche in zumindest einer ersten Stellung ein Verdrehen des ersten Getriebeteils in zumindest einer Drehrichtung verhindert und in zumindest einer zweiten Stellung ermöglicht.

**[0017]** Die Drehsperreinrichtung weist günstiger Weise zumindest eine vorzugsweise als Klinkenfreilauf ausgebildete Freilaufvorrichtung auf, welche in einer Drehrichtung sperrt und in der

entgegengesetzten Drehrichtung frei läuft. Zumindest eine Freilaufvorrichtung, die in nur einer Drehrichtung sperrt, verhindert, dass die Pleuelstange innerhalb eines Arbeitszyklus ständig ihre Länge wechselt. Die gewünschte Stellung wird über die schaltbare Drehsperreinrichtung fixiert. Somit kann auf einen separaten Drehantrieb zur Verdrehung der Getriebeteile des Schraubgetriebes verzichtet werden.

**[0018]** In einer einfach steuerbaren Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass die Drehsperreinrichtung mittels zumindest einer Schalteinrichtung schaltbar ausgeführt ist, wobei die Schalteinrichtung zumindest ein vorzugsweise hydraulisch schaltbares Sperrelement aufweist, das mit zumindest einer entsprechend dem Sperrelement geformten Sperraufnahme zusammenwirkt, wobei Sperrelement und Sperraufnahme relativ zueinander um die Drehachse des ersten Getriebeteils verdrehbar sind. Vorzugsweise ist zumindest ein Sperrelement durch einen in einem Zylinder verschiebbar gelagerten Sperrkolben gebildet, wobei der Zylinder im ersten Getriebeteil angeordnet ist, und wobei die Achse des Zylinders quer, besonders vorzugsweise normal zur Drehachse des ersten Getriebeteils angeordnet ist.

**[0019]** Die Sperraufnahme ist in zumindest einem drehfest im ersten Stangenteil angeordneten Haltering angeordnet.

**[0020]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Drehsperreinrichtung zumindest eine Freilaufvorrichtung aufweist, welche in einer Drehrichtung sperrt und in der anderen Drehrichtung die Verdrehung freigibt.

**[0021]** Eine einfache Freilaufvorrichtung kann erzielt werden, wenn zumindest eine - vorzugsweise zumindest teilweise durch eine Bohrung gebildete - Sperraufnahme in einem ersten Bereich einen Anschlag und in einem dem ersten Bereich diametral bezüglich einer normal auf die Drehachse des ersten Getriebeteils stehende Mittelachse der Sperraufnahme gegenüberliegenden zweiten Bereich eine Rampe aufweist. Wenn das entsprechend geschaltete Sperrelement am Anschlag anliegt, sind Sperrelement und Sperraufnahme drehfest miteinander verbunden und es kann eine Drehmomentübertragung in der entsprechenden Drehrichtung durchgeführt werden. In der entgegengesetzten Drehrichtung hingegen gleitet das Sperrelement über die flach ausgebildete Rampe, ohne dass ein Drehmoment übertragen werden kann.

**[0022]** Um eine einfache Ansteuerung der Drehsperreinrichtung zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, wenn der Sperrkolben mit einer Druckangriffsfläche an einen Druckraum grenzt, in welchen eine Druckölleitung einmündet, wobei der Sperrkolben durch Druckerhöhung im Druckraum entgegen einer Rückstellkraft einer auf den Sperrkolben wirkenden Feder auslenkbar ist.

**[0023]** Die Drehsperreinrichtung kann einfach geschaltet werden, wenn sie einen ersten Sperrkolben und einen zweiten Sperrkolben aufweist, wobei vorzugsweise die Druckangriffsflächen der Sperrkolben und/oder die Federn der Sperrkolben unterschiedlich dimensioniert sind. In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung ist dabei vorgesehen, dass die erste Feder des ersten Sperrkolbens entgegen der Sperrrichtung und die zweite Feder des zweiten Sperrkolbens in Sperrrichtung wirkend angeordnet sind.

**[0024]** Somit lassen sich erste und zweite Freilaufvorrichtung bei unterschiedlichen Steuerdrücken des beispielsweise durch Schmieröl der Brennkraftmaschine gebildeten Betätigungsfluids sperren.

**[0025]** Es sind daher nur zwei verschiedene Öldruckniveaus im Schmiersystem notwendig, um die Stangenlänge über die elektronische Steuereinheit des Motors last- und drehzahlabhängig zu steuern und damit die gewünschte Verdichtung einzustellen.

**[0026]** Damit wird ein eigener Drehantrieb der Spindelmutter überflüssig. Ein Einfedern findet nur mehr im Rahmen der Spiele und der elastischen Verformungen der Stahlbauteile statt und kann nicht zur Erwärmung des Betätigungsfluids führen. Verschleißanfällige Dichtsysteme für Hydraulikkolben können entfallen.

**[0027]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von nicht einschränkenden Ausführungsbeispielen, welche in den Figuren dargestellt sind, näher erläutert. Darin zeigen

- [0028]** Fig. 1 eine erfindungsgemäße Pleuelstange in einem Längsschnitt in einer ersten Ausführungsvariante,
- [0029]** Fig. 2 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie II - II in Fig.1,
- [0030]** Fig. 3 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie III - III in Fig.1,
- [0031]** Fig. 4 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie IV - IV in Fig.1,
- [0032]** Fig. 5 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie V - V in Fig. 1 in einer kurzen Pleuelstange entsprechenden Stellung des Drehsperrelementes,
- [0033]** Fig. 6 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie V - V in Fig. 1 in einer langen Pleuelstange entsprechenden Stellung des Drehsperrelementes,
- [0034]** Fig. 7 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie VII - VII in Fig. 1 in einer kurzen Pleuelstange entsprechenden Stellung des Drehsperrelementes,
- [0035]** Fig. 8 die Pleuelstange in einem Schnitt gemäß der Linie VII - VII in Fig. 1 in einer langen Pleuelstange entsprechenden Stellung des Drehsperrelementes und
- [0036]** Fig. 9 eine erfindungsgemäße Pleuelstange in einem Längsschnitt in einer zweiten Ausführungsvariante.

**[0037]** Funktionsgleiche Teile sind in den Ausführungsvarianten mit gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0038]** Die Fig. 1 zeigt eine längenverstellbare Pleuelstange 1 für eine Hubkolbenmaschine, beispielsweise eine Brennkraftmaschine.

**[0039]** Die Pleuelstange 1 weist einen ersten Stangenteil 2 im Bereich eines großen Pleuelauges 3a und einen zweiten Stangenteil 4 im Bereich eines kleinen Pleuelauges 3b auf, wobei das große Pleuelauge 3a ein Pleuellager 19 zur Verbindung mit einer nicht weiter dargestellten Kurbelwelle und das kleine Pleuelauge 3b ein Kolbenbolzenlager zur Verbindung mit einem nicht weiter dargestellten Kolben ausbilden.

**[0040]** Die beiden Stangenteile 2, 4 können über ein Schraubgetriebe 6 relativ zueinander in Richtung der Längsachse 1a der Pleuelstange 1 verschoben werden. Das Schraubgetriebe 6 weist einen ersten Getriebeteil 7 und einen mit dem ersten Getriebeteil 7 im Eingriff stehenden zweiten Getriebeteil 8 auf, wobei der erste Getriebeteil 7 als Gewindespindel 10 und der zweite Getriebeteil 8 als Spindelmutter 9 ausgebildet ist.

**[0041]** Die Spindelmutter 9 weist an ihrer Innenseite Wirkflächen mit einer Steigung auf, welche von der Längsachse 1a der Pleuelstange 1 beabstandet sind und welche als Innenschraubengewinde mit einem Gewindegang oder mehreren Gewindegängen, oder als Innenschrägverzahnung ausgebildet sind. Korrespondierend dazu weist die Gewindespindel 10 an ihrer Außenseite entsprechende Wirkflächen mit einer Steigung auf, welche von der Längsachse 1a der Pleuelstange 1 beabstandet sind und welche als Außenschraubengewinde mit einem Gewindegang oder mehreren Gewindegängen, oder als Außenschrägverzahnung ausgebildet sind. Das Gewinde, insbesondere die Steigung des Gewindes, ist so ausgebildet, dass eine Selbsthemmung sicher vermieden wird. Eine Selbsthemmung kann meist vermieden werden, wenn der Steigungswinkel größer als 7° ist; hier sind aber die Materialien, aus denen die Gewindepartner bestehen, zu berücksichtigen. Andererseits sollte zur Begrenzung des auftretenden Drehmomentes der Steigungswinkel nicht zu groß gestaltet werden. In einem Ausführungsbeispiel wurde ein optimaler Steigungswinkel bei etwa 8° gewählt.

**[0042]** Der Begriff „Gewinde“ (beispielsweise in Gewindespindel) wird hier generell sowohl für Schraubengewinde, als auch für Schrägverzahnungen verwendet und deckt somit beide Ausbildungen ab.

**[0043]** Der durch die Gewindespindel 10 gebildete erste Getriebeteil 7 ist in einem durch den ersten Stangenteil 2 gebildeten, als Sacklochbohrung ausgeführten, Führungszylinder 5 dreh-

bar, aber axial unverschiebbar gelagert. Die axiale Position des ersten Getriebeteils 7 wird in Richtung des kleinen Pleuelauges 3b durch einen hülsenartigen Haltering 26 begrenzt, welcher sowohl gegen Längsverschiebung, als auch gegen Verdrehen durch eine Halteschraube 11 gesichert im Führungszylinder 5 zwischen einem kolbenartigen Absatz 13 nahe dem großen Pleuelauge 3a und dem zweiten Getriebeteil 8 angeordnet ist. Die Halteschraube 11 ist in einem im ersten Stangenteil 2 befindlichen Gewinde 12 verschraubt und stützt den Haltering 26 mit einem zylindrischen Fortsatz gegen Verdrehen ab.

**[0044]** Der als Spindelmutter 9 ausgebildete zweite Getriebeteil 8 des Schraubgetriebes 6 ist anschließend an den Haltering 26 im Führungszylinder 5 in Richtung der Längsachse 1a verschiebbar, aber drehfest im ersten Stangenteil 2 gelagert. Der zweite Getriebeteil 8 ist dabei mit dem zweiten Stangenteil 4 fest verbunden oder - wie dargestellt - integral mit diesem ausgeführt. Die Sicherung gegen Verdrehen des zweiten Getriebeteils 8 erfolgt über eine Verdrehsicherung 16, welche zugleich eine Hubbegrenzung für den zweiten Stangenteil 4 bildet. Die Verdrehsicherung 16 kann durch eine einfache Schraube gebildet sein, welche quer zur Längsachse 1a im ersten Stangenteil 2 eingeschraubt ist und mit einer entsprechenden Längsnut im zweiten Stangenteil 4 zusammenwirkt (nicht dargestellt). Im in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführungsbeispiel wird die Verdrehsicherung 16 durch einen ringförmigen zweiteiligen Anschlag 17 mit den beiden Ringhälften 17a, 17b und einem Schnapping 18 gebildet, wie aus Fig. 2 und 3 ersichtlich ist. Diese beiden Ringhälften 17a, 17b des Anschlages 17 sichern den zweiten Stangenteil 4 mit dem kleinen Pleuelauge 3b durch Aufnahme des Reibmoments des Schraubgetriebes 6 gegen Verdrehen, indem sie sich mit jeweils über eine erste Nase 19a innen und eine zweite Nase 19b außen im ersten Stangenteil 2 abstützen.

**[0045]** Die Ringhälften 17a, 17b des geteilten Anschlages 17 werden von oben in den Führungszylinder 5 des ersten Stangenteils 2 eingeschoben und mit dem Schnapping 18 gesichert. Der in einer Ringnut des ersten Stangenteils 2 angeordnete Schnapping 18 ist an den Stirnseiten 1b, 1c der Pleuelstange 1 - also den in Richtung der Kurbelwellenachse orientierten Seiten - über Öffnungen bzw. Aussparungen 14, 15 frei zugänglich. Durch Zusammendrücken an dessen gegenüberliegenden Stellen kann er im Durchmesser so verkleinert werden, dass der zweite Stangenteil 4 zur Demontage aus dem ersten Stangenteil 2 herausgezogen werden kann.

**[0046]** Der erste Getriebeteil 7 ist mit zumindest einer mittels zumindest einer Schalteinrichtung 21 schaltbaren Drehsperreinrichtung 20 verbunden, welche in zumindest einer ersten Stellung ein Verdrehen des ersten Getriebeteils 7 in zumindest einer Drehrichtung verhindert und in zumindest einer zweiten Stellung ermöglicht.

**[0047]** Die Drehsperreinrichtung 20 weist zumindest eine erste Freilaufvorrichtung 22 und eine zweite Freilaufvorrichtung 23 auf, welche beispielsweise als Klinkenfreiläufe ausgebildet sind. Jede der Freilaufvorrichtungen 22, 23 bildet eine Kupplung zur Übertragung eines Drehmomentes in der Weise, dass sie in einer Drehrichtung Drehmoment überträgt, also „sperrt“ und in der entgegengesetzten Drehrichtung kein Drehmoment überträgt, also „frei läuft“. Die erste Freilaufvorrichtung 22 und die zweite Freilaufvorrichtung 23 können im Wesentlichen gleich ausgebildet sein, allerdings umgekehrt orientiert übereinander angeordnet sein, so dass die sperrenden und freigebenden Drehrichtungen entgegengesetzt sind.

**[0048]** Mittels der Schalteinrichtung 21 kann eine jede Freilaufeinrichtung 22, 23 zumindest in einer Drehrichtung blockiert werden, indem eine temporäre drehfeste Verbindung zwischen dem ersten Getriebeteil 7 und dem Haltering 26, und somit mit dem ersten Stangenteil 2, hergestellt wird.

**[0049]** Die Schalteinrichtung 21 ist bei der in den Fig. 1 bis 6 gezeigten Ausführungsvariante in die Freilaufvorrichtungen 22, 23 integriert, welche somit als schaltbare Freilaufvorrichtungen 22, 23 ausgebildet sind. Dabei weist jede Freilaufeinrichtung 22, 23 ein schaltbares Sperrelement 50, 51 auf. Die Sperrelemente 50, 51 sind jeweils mit einem in einem Zylinder 52, 53 verschiebbar gelagerten Sperrkolben 54, 55 ausgebildet, wobei jeder Zylinder 52, 53 im ersten Getriebeteil 7 angeordnet ist. Die Achsen 52a, 53a der Zylinder 52, 53 sind etwa normal zur Drehachse

7a des ersten Getriebeteils 7 positioniert. Weiters weist jedes Sperrelement 50, 51 einen beispielsweise zylindrischen Sperrzapfen 56, 57 auf, welcher mit einer entsprechend dem Sperrzapfen 56, 57 geformten Sperraufnahme 58, 59 zusammenwirkt. Die Sperraufnahmen 58, 59 sind durch entsprechend den zylindrischen Sperrzapfen 56, 57 geformte Ausnehmungen im Haltering 26 gebildet, welcher den ersten Getriebeteil 7 umgibt.

**[0050]** Jeder Sperrkolben 54, 55 grenzt mit einer Druckangriffsfläche 61, 62 an einen Druckraum 63, 64, in welchen eine Druckölleitung 67 einmündet, wobei der Sperrkolben 54, 55 durch Druckerhöhung im Druckraum 63, 64 entgegen einer Rückstellkraft einer auf den Sperrkolben 54, 55 wirkenden Feder 65, 66 auslenkbar ist. Die Federn 65, 66 können beispielsweise durch Blattfedern gebildet sein.

**[0051]** Jede Sperraufnahme 58, 59 wird zumindest teilweise durch eine im Wesentlichen radiale Bohrung im Haltering 26 gebildet. Dabei weisen die Sperraufnahmen 58, 59 jeweils in einem ersten Bereich 58a, 59a einen Anschlag 68, 69 und in einem zweiten Bereich 58b, 59b eine Rampe 70, 71 auf. Der erste Bereich 58a, 59a und der zweite Bereich 58b, 59b sind jeweils diametral bezüglich einer normal auf die Drehachse 7a des ersten Getriebeteils 9 stehenden radialen Mittelachse 58c, 59c der Sperraufnahme 58, 59 ausgebildet.

**[0052]** Über die Freilaufvorrichtungen 22, 23 können jeweils unterschiedliche Drehrichtungen des ersten Getriebeteils 7 gesperrt bzw. freigegeben werden.

**[0053]** Die Gas- und Massenkräfte bewirken eine Bewegung des kleinen Pleuelauges 3b entlang der Längsachse 1a der Pleuelstange 1. Die axiale Bewegung wird in eine Drehbewegung der Gewindespindel 10 umgewandelt. Je nach dem Öldruckniveau des beispielsweise über die Druckölleitung 67 aus dem Pleuellager 19 zugeführten Öls wird eines der Sperrelemente 50, 51 aktiviert und eine Verkürzung oder Verlängerung der Pleuelstange 1 ermöglicht, da der jeweilige Sperrkolben 54, 55 in Richtung des Anschlages 68, 69 blockiert, in Richtung der Rampe 70, 71 aber eine Drehbewegung zulässt.

**[0054]** Die Fig. 5 und 7 zeigen dabei die Stellungen des ersten Sperrelementes 50 (Fig. 7) und des zweiten Sperrelementes 51 (Fig. 5) bei kurzer Pleuelstange 1, wobei die erste Freilaufvorrichtung 22 (Fig. 7) gesperrt und die zweite Freilaufvorrichtung 23 (Fig. 5) freigegeben ist. Der Sperrzapfen 56 des ersten Sperrelementes 50 ist dabei durch Auslenkung des Sperrkolbens 54 radial in die Sperraufnahme 58 geschoben, wodurch eine Verdrehung des ersten Getriebeteils 7 relativ zum Haltering 26 in einer Drehrichtung blockiert ist. Der zweite Sperrkolben 55 des zweiten Sperrelementes 51 befindet sich dagegen in seiner Freigabestellung, in welcher der erste Getriebeteil 7 in beiden Drehrichtungen freigegeben ist.

**[0055]** Die Fig. 6 und 8 zeigen die Stellungen des ersten Sperrelementes 50 (Fig. 8) und des zweiten Sperrelementes 51 (Fig. 6) bei langer Pleuelstange 1, wobei die erste Freilaufvorrichtung 22 (Fig. 8) freigegeben und die zweite Freilaufvorrichtung 23 (Fig. 6) gesperrt ist. Der Sperrzapfen 57 des zweiten Sperrelementes 51 ist dabei durch Auslenkung des zweiten Sperrkolbens 55 radial in die entsprechende Sperraufnahme 59 bewegt, wodurch eine Verdrehung des ersten Getriebeteils 7 relativ zum Haltering 26 in einer Richtung blockiert ist. Der erste Sperrkolben 54 des ersten Sperrelementes 50 befindet sich dagegen in seiner durch die Feder 65 definierten Ruhestellung, in welcher der erste Getriebeteil 7 in beiden Drehrichtungen freigegeben ist.

**[0056]** Natürlich können die einzelnen Stellungen auch den jeweils anderen Längenstellungen der Pleuelstange 1 zugeordnet sein.

**[0057]** Im in den Fig. 5 bis 8 dargestellten Ausführungsbeispiel sind dem Haltering 26 pro Sperrelement 50, 51 vier Sperraufnahmen 58, 59 zugeordnet. Es sind aber auch mehr, zum Beispiel acht, oder weniger, zum Beispiel zwei, Sperraufnahmen 58, 59 pro Sperrelement 50, 51 im Haltering 26 möglich.

**[0058]** Das Drehmoment, das sich aus der Gaskraft der Brennkraftmaschine durch den hinuntergedrückten Kolben über die Kräftezerlegung im Schraubgetriebe 6 ergibt, muss von dem

zylindrischen zweiten Sperrzapfen 57, des aus dem ersten Getriebeteil 7 in den Haltering 26 hineinragenden zweiten Sperrelementes 51 über die Lochleibung der zweiten Sperraufnahme 59 einseitig entgegen der Drehrichtung des Drehmoments aufgenommen werden. Das Drehmoment aus der Massenkraft beträgt etwa nur ein Drittel des Drehmomentes aus der Gaskraft. Der erste Sperrzapfen 56 für dieses Drehmoment kann somit zierlicher als der zweite Sperrzapfen 57 ausgeführt werden.

**[0059]** Bei niedrigem Öldruck überwiegt die Federkraft der ersten Feder 65 hinter dem ersten Sperrkolben 54, dessen Durchmesser größer ist als der Durchmesser des zweiten Sperrkolbens 55. Dadurch wird die Getriebespindel 10 daran gehindert, sich in Richtung einer Verkürzung der Pleuelstange 1 zu drehen. Die Massenkraft zieht die Pleuelstange 1 über die drehende Getriebespindel 10 solange auseinander bis der Hub durch die Verdrehsicherung 16 begrenzt wird. Der durch die zweite Feder 66 in die Sperrstellung gelenkte zweite Sperrzapfen 57 des zweiten Sperrelementes 51 verhindert, dass sich die Pleuelstange 1 unter der Gaskraft wieder verkürzt.

**[0060]** Wird der Öldruck in der Druckölleitung 67 auf einen bestimmten Schwellenwert gesteigert, kommt es zu einem Zusammendrücken der zweiten Feder 66 hinter dem zweiten Sperrkolben 55 und der Eingriff des zweiten Sperrzapfens 57 in der zweiten Sperraufnahme 59 des Halteringes 26 wird beendet. Damit wird die Sperre inaktiv und der erste Getriebeteil 7 kann sich frei in die entgegengesetzte Richtung drehen.

**[0061]** Durch den höheren Öldruck wird auch die Federkraft hinter dem kleineren ersten Sperrzapfen 56 des ersten Sperrelementes 50 überwunden. Der erste Sperrzapfen 56 gelangt über die Verdrehung der Gewindespindel 10 über die Rampen 70 in seine erste Sperraufnahme 58 im Haltering 26. Dort liegt er einseitig an und kann das Haltemoment aus der Massenkraft durch seine Lochleibung aufnehmen. Die Pleuelstange 1 wird dabei verkürzt, bis der zweite Stangenteil 4 mit seinem unteren Schaftende im Bereich der Spindelmutter 9 am Haltering 26.

**[0062]** Wenn der Öldruck wieder abgesenkt wird, überwindet die Federkraft der Feder 65 hinter dem kleinen ersten Sperrkolben 54 die Kraft aus dem Öldruck - der erste Sperrzapfen 54 wird aus der ersten Sperraufnahme 58 ausgelenkt. Die untere erste Freilaufvorrichtung 22 ist nicht mehr gesperrt, der erste Getriebeteil 7 kann sich jetzt in die entgegengesetzte Richtung drehen. Der obere zweite Sperrkolben 55 wird jetzt von der zweiten Feder 66 des zweiten Sperrelementes 51 während der Drehung durch die Massenkraft über die zweite Rampe 71 in seine zweite Sperraufnahme 59 geschoben. Jetzt ist die obere zweite Freilaufeinrichtung 23 gesperrt, eine Verdrehung der Gewindespindel 10 ist nur mehr in einer der langen Pleuelstange 1 entsprechenden Drehrichtung möglich. Eine Drehung der Gewindespindel 10 in Gegenrichtung durch die Gaskraft wird unterbunden. Die Pleuelstange 1 wird somit wieder länger, bis der zweite Stangenteil 4 an der Verdrehsicherung 16 anliegt.

**[0063]** Um den Einfluss der Reibung zu vermindern, ist der im ersten Stangenteil 2 um die Längsachse 1a drehbar angeordnete erste Getriebeteil 7 über zumindest eine Lagereinrichtung 80 gelagert.

**[0064]** Bei der in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsvariante der Erfindung weist die Lagereinrichtung 80 ein Axialdrucklager 81 auf, welches als Wälzlager 82 mit zumindest drei Wälzkörpern 83 ausgebildet ist. In einer dem zweiten Stangenteil 4 abgewandten Stirnfläche 7b des ersten Getriebeteils 7 und in einer dem ersten Getriebeteil 7 zugewandten Stirnfläche 2b des Führungszylinders 5 des ersten Stangenteils 2 ist jeweils eine torusförmige Lauffläche 84, 85 für die Wälzkörper 83 des Wälzlagers 82 angeordnet. Eine vom Pleuellager 19 ausgehende Ölzufuhrleitung 67a mündet dabei in den Lagerraum 86 des Wälzlagers 82 ein; die Druckölleitung 67 geht von diesem Lagerraum 86 aus. Das Steueröl wird durch einen O-Ring an der drehenden Gewindespindel 10 gegenüber dem Führungszylinder 5 abgedichtet. Natürlich sind hier auch andere Lösungen möglich, wo beispielsweise die Druckölleitung 67 unabhängig von der das Wälzlager 82 beschickenden Ölzufuhrleitung 67a geführt wird.

**[0065]** Weiters weist die Lagereinrichtung 80 eine Kugelumlaufvorrichtung 90 im Schraubgetriebe 6 auf, wobei die Spindelmutter 9 als Kugelumlaufmutter 91 ausgebildet ist, wie aus Fig. 1 und 4 zu entnehmen ist. Das Schraubgetriebe ist somit als Kugelumlaufgetriebe ausgebildet.



**[0066]** Innerhalb der Kugelumlaufmutter 91 ist die Gewindespindel 10 angeordnet. Die Gewindespindel 10 bildet eine innere Führungsfläche, die Spindelmutter 9 eine äußere Führungsfläche der Kugelbahn 92 zur Führung der Kugeln 93 aus. Der Bereich der Kugelbahn 92 ist mit einer Anzahl an Kugeln 93 gefüllt. Diese erfahren durch die Verdrehung der Gewindespindel 10 eine Vorwärtsbewegung, das heißt, die Kugeln 93 verlassen die schraubenförmige Kugelbahn 92 und gelangen in ein Umlenkstück 94, das die Kugeln 93 wieder zum anderen Ende des Kugelumlaufgetriebes zurück bringt und in die schraubenförmige Kugelbahn 92 einrollen lässt.

**[0067]** Das Umlenkstück 94 wird von außen auf der Spindelmutter 9 des Kugelumlaufgetriebes mit zwei Schrauben 95 befestigt. Dieses Umlenkstück 94 bewegt sich in einem Schlitz des ersten Stangenteils 2 der Pleuelstange 1 auf und ab. Aus Gewichtsgründen kann es aus Leichtmetall oder Kunststoff angefertigt sein.

**[0068]** Um bei kleinem Bauvolumen eine möglichst hohe statische Tragzahl zu erreichen können die Kugeln 93 für die Kugelumlaufvorrichtung 90 und auch für das Axialdrucklager 81 aus Keramik, beispielsweise aus heißgepresstem Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) hergestellt sein.

**[0069]** Anstelle des Kugelumlaufgewindes kann ein eingängiges oder mehrgängiges nicht-selbsthemmendes Gewinde zum Einsatz kommen.

**[0070]** Die Fig. 9 zeigt eine zweite Ausführungsvariante der Erfindung, welche sich von der ersten Ausführungsvariante dadurch unterscheidet, dass das Axialdrucklager 81 als hydrostatisches Lager 87 ausgebildet ist. Zwischen einer dem zweiten Stangenteil 4 abgewandten Stirnfläche 7b des ersten Getriebeteils 7 und einer dem ersten Getriebeteil 7 zugewandten Stirnfläche 2b des ersten Stangenteils 2 ist ein Spaltraum 88 ausgebildet. In den Spaltraum 88 mündet eine Ölzufuhrleitung 67b über ein Rückschlagventil 67c ein.

**[0071]** Durch die Ölversorgung vom Pleuellager 19 wird das Öl in den Spaltraum 88 im ersten Stangenteil 2 des großen Pleuelauges 3a eingeführt. Der Spaltraum 88 wird durch eine am unteren Ende angeordnete Pfanne des als Sackloch ausgeführten Führungszylinders 5 gebildet. Die drehbare Gewindespindel 10 steht somit direkt auf dieser Pfanne. Bei jedem Hub wird diese durch die Massenkraft angehoben und das Öl durch die Ölzufuhrleitung 67b angesaugt und durch das Rückschlagventil 67c am Zurückfließen gehindert. Das Öl fließt über den Spaltraum 88 und weiter über eine Drainagebohrung 67d in das nicht weiter dargestellte Kurbelgehäuse zurück.

**[0072]** Im Spaltraum 88 entsteht ein Druck, der die Gewindespindel 10 in Schwebe hält. Er wird durch die - in der Größenordnung von einigen  $\mu\text{m}$  ausgebildete - Höhe des Spaltraumes 88 selbsttätig eingestellt.

**[0073]** Die Druckölzufuhr zur Druckölleitung 67 des ersten Getriebeteils 7 erfolgt über eine separate Ölzufuhrleitung 67a im Bereich des zylindrischen Mantels 13a des Absatzes 13. Diese Ölversorgung regelt über den Öldruck die Dreh Sperreinrichtung 20 und hat die Größenordnung von einigen wenigen bar bis maximal 10 bar, während sich im Spaltraum 88 ein Druck von etwa 2000 bar einstellt.

**[0074]** Neben dem dargestellten Ausführungsbeispiel lassen sich die Vorteile der Erfindung auch in weiteren, nicht dargestellten Varianten umsetzen.

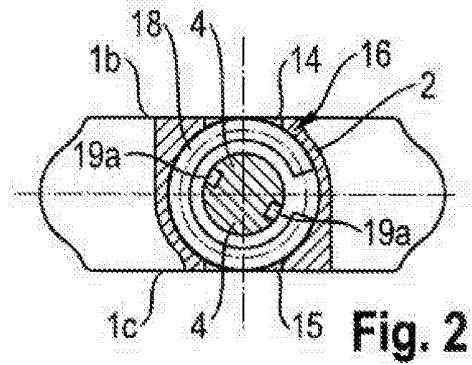
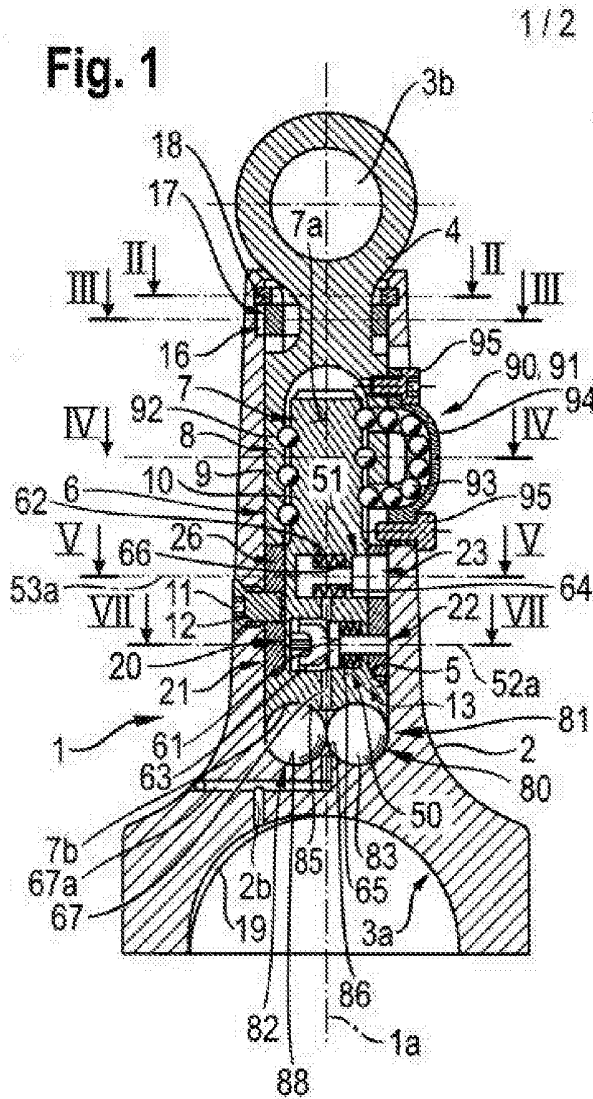
## Patentansprüche

1. Längenverstellbare Pleuelstange (1) für eine Hubkolbenmaschine, insbesondere für eine Brennkraftmaschine, mit einem ersten Stangenteil (2) und einem zweiten Stangenteil (4), welche beiden Stangenteile (2, 4) über ein Schraubgetriebe (6) in Richtung der Längsachse (1a) der Pleuelstange (1) relativ zueinander verschiebbar sind, wobei das Schraubgetriebe (6) einen ersten Getriebeteil (7) und einen mit dem ersten Getriebeteil (7) im Eingriff stehenden zweiten Getriebeteil (8) aufweist, wobei das Schraubgetriebe (6) nicht-selbsthemmend ausgebildet ist, wobei der im ersten Stangenteil (2) um die Längsachse (1a) drehbar angeordnete erste Getriebeteil (7) als Gewindespindel (10) und der zweite Getriebeteil (8) als Spindelmutter (9) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Getriebeteil (7) im ersten Stangenteil (2) über ein Axialdrucklager (81) einer Lagereinrichtung (80) um die Längsachse (1a) drehbar gelagert ist, wobei die Lagereinrichtung (80) zur Lagerung des ersten Getriebeteils (7) im zweiten Stangenteil (4) eine Kugelumlaufvorrichtung (90) aufweist und die Spindelmutter (9) des zweiten Getriebeteils (8) als Kugelumlaufmutter (91) ausgebildet ist.
2. Pleuelstange (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Axialdrucklager (81) zwischen dem ersten Getriebeteil (7) und dem ersten Stangenteil (2) angeordnet ist.
3. Pleuelstange (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Axialdrucklager (81) als Wälzlager (82), vorzugsweise als Kugellager, mit zumindest einem, vorzugsweise mindestens drei, Wälzkörpern (83) ausgebildet ist.
4. Pleuelstange (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer dem zweiten Stangenteil (4) abgewandten Stirnfläche (7b) des ersten Getriebeteils (7) und/oder in einer dem ersten Getriebeteil (7) zugewandten Stirnfläche (2b) des ersten Stangenteils (2) zumindest eine, vorzugsweise torusförmige, Lauffläche (84, 85) für den zumindest einen Wälzkörper (83) des Axialdrucklagers (81) angeordnet ist.
5. Pleuelstange (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Axialdrucklager (81) als hydrostatisches Lager (87) ausgebildet ist.
6. Pleuelstange (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Getriebeteil (7) mit zumindest einer schaltbaren Drehsperreinrichtung (20) verbunden ist, welche in zumindest einer ersten Stellung ein Verdrehen des ersten Getriebeteils (7) in zumindest einer Drehrichtung verhindert und in zumindest einer zweiten Stellung ermöglicht.
7. Pleuelstange (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehsperreinrichtung (20) mittels zumindest einer Schalteinrichtung (21) schaltbar ausgeführt ist, wobei die Schalteinrichtung (21) zumindest ein, vorzugsweise hydraulisch, schaltbares Sperrelement (50, 51) aufweist, das mit zumindest einer entsprechend dem Sperrelement (50, 51) geformten Sperraufnahme (58, 59) zusammenwirkt, wobei Sperrelement (50, 51) und Sperraufnahme (58, 59) relativ zueinander um die Drehachse (7a) des ersten Getriebeteils (7) verdrehbar sind.
8. Pleuelstange (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Sperrelement (50, 51) durch einen in einem Zylinder (52, 53) verschiebbar gelagerten Sperrkolben (54, 55) gebildet ist, wobei der Zylinder (52, 53) im ersten Getriebeteil (7) angeordnet ist, und wobei die Achse (52a, 53a) des Zylinders (52, 53) quer, besonders vorzugsweise normal zur Drehachse (7a) des ersten Getriebeteils (7) angeordnet ist.
9. Pleuelstange (1) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sperraufnahme (58, 59) in zumindest einem drehfest im ersten Stangenteil (2) angeordneten Haltering (26) angeordnet ist.

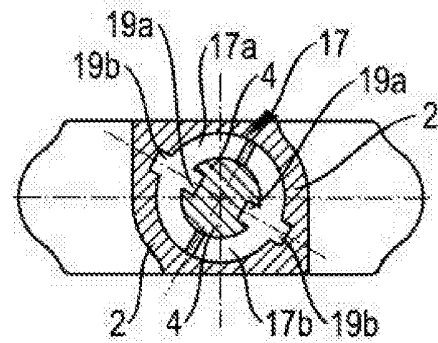
10. Pleuelstange (1) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sperrkolben (54, 55) mit einer Druckangriffsfläche (61, 62) an einen Druckraum (63, 64) grenzt, in welchen eine Druckölleitung (67) einmündet, wobei der Sperrkolben (54, 55) durch Druck-erhöhung im Druckraum (63, 64) entgegen einer Rückstellkraft einer auf den Sperrkolben (54, 55) wirkenden Feder (65, 66) auslenkbar ist.
11. Pleuelstange (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dreh Sperreinrichtung (20) zumindest eine Freilaufvorrichtung (22, 23) aufweist, welche in einer Drehrichtung sperrt und in der anderen Drehrichtung die Verdrehung freigibt.
12. Pleuelstange (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine - vorzugsweise zumindest teilweise durch eine Bohrung gebildete - Sperraufnahme (58, 59) in einem ersten Bereich einen Anschlag (68, 69) und in einem dem ersten Bereich diametral bezüglich einer normal auf die Drehachse (7a) des ersten Getriebeteils (7) stehende Mittelachse (58c, 59c) der Sperraufnahme (58, 59) gegenüberliegenden zweiten Bereich eine Rampe (70, 71) aufweist.
13. Pleuelstange (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dreh Sperreinrichtung (20) einen ersten Sperrkolben (54) und einen zweiten Sperrkolben (55) aufweist, wobei vorzugsweise eine erste Feder (65) des ersten Sperrkolbens (54) entgegen der Sperrrichtung und eine zweite Feder (66) des zweiten Sperrkolbens (55) in Sperrrichtung wirkend angeordnet sind.
14. Pleuelstange (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckangriffsflächen (61, 62) der Sperrkolben (54, 55) und/oder die Federn (65, 66) der Sperrkolben (54, 55) unterschiedlich dimensioniert sind.
15. Pleuelstange (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gewindespindel (10) ein Außengewinde oder eine Außenschrägverzahnung und die korrespondierende Spindelmutter (9) ein Innengewinde oder eine Innenschrägverzahnung aufweist.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

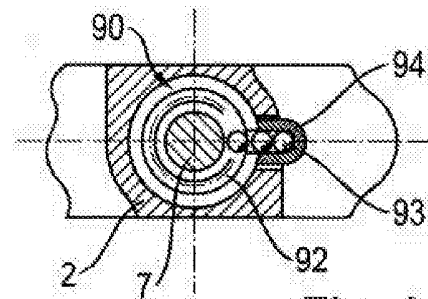
**Fig. 1**



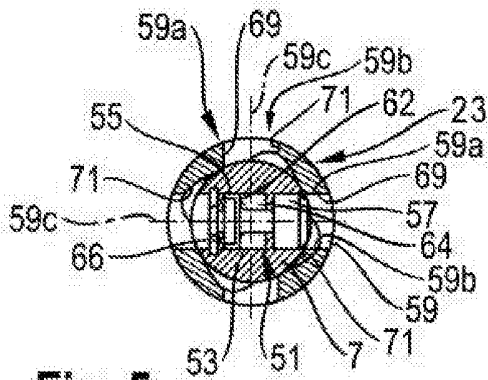
**Fig. 2**



**Fig. 3**

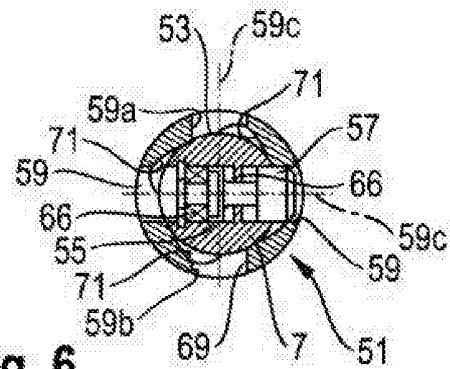


**Fig. 4**



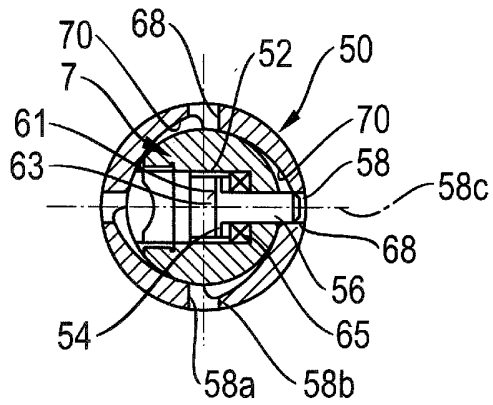
**Fig. 5**

**Fig. 6**

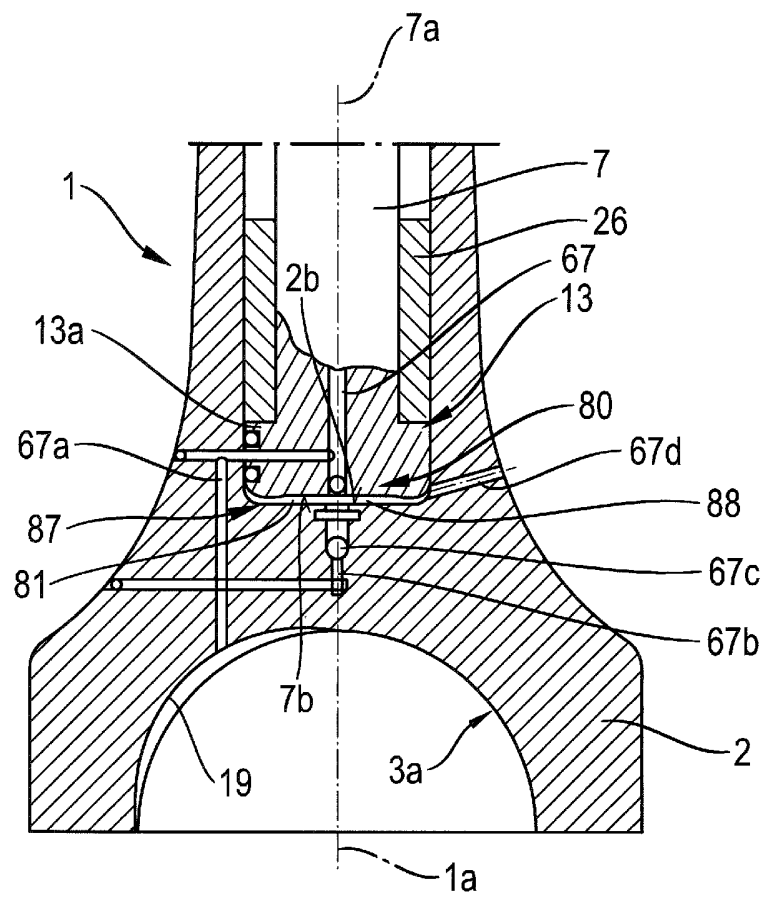
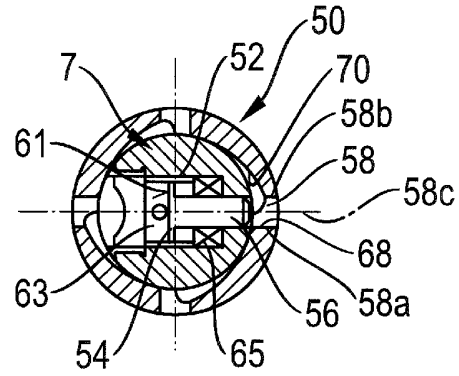


2 / 2

**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**