

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 387/2015  
(22) Anmeldetag: 17.06.2015  
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2019

(51) Int. Cl.: **F02D 15/04** (2006.01)  
**F02D 9/02** (2006.01)  
**F02D 13/02** (2006.01)

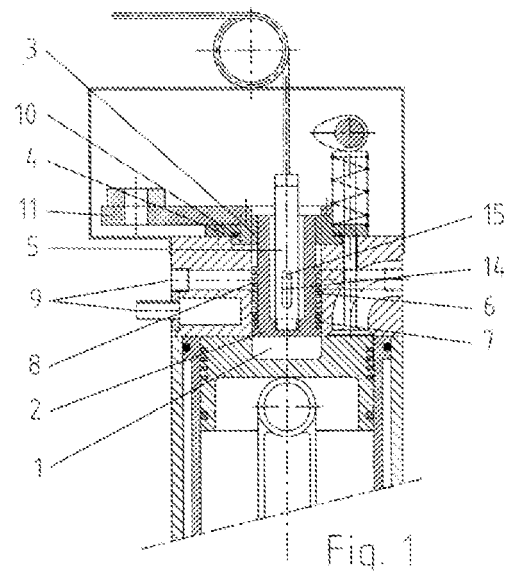
(56) Entgegenhaltungen:  
WO 9942718 A1  
DE 102011006388 A1  
JP 2008128227 A  
DE 69409984 T2  
DE 10354842 A1  
DE 202013006352 U1  
WO 2011138311 A1  
WO 8702417 A1  
DE 3153274 C2

(73) Patentinhaber:  
FALKINGER WALTER ING.  
4030 LINZ (AT)

(72) Erfinder:  
Falkinger Walter Ing.  
4030 Linz (AT)

(54) **Wirkungsgradsteigerung bei Hubkolbenmotoren durch teilweise Zylinderfüllung und variable Brennchammer**

(57) Es wird ein Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung bei Otto- oder Dieselhubkolbenmotoren beschrieben, die nach dem Prinzip eines Millerprozesses im Unterdruckbetrieb arbeiten, wobei die Entspannung des Arbeitsgases auf 1 bar abs. oder Werte in der Nähe davon erfolgt, was dadurch erreicht wird, dass der Zylinder beim Ansaugtakt nur teilweise gefüllt und nur diese Teilmenge beim Ansaugtakt verdichtet wird, wobei das Volumen eines Brennraums (1) in Abhängigkeit der erwünschten Motorleistung mit einem mechanisch oder hydraulisch betätigten Verstellkolben (2) variabel ist. Zur Verbesserung des Verfahrens wird vorgeschlagen, dass die Unterdruckerzeugung zur Teilfüllung des Zylinders durch eine dem Zylinder vorgeschaltete, hinsichtlich Luftmassefluss und Unterdruck regelbare Expansionsmaschine, erfolgt und dass für einen Übergang Betrieb zwischen einem Unterdruckbetrieb und einem herkömmlichen Otto- oder Dieselp Prozess, gegebenenfalls mit Aufladung zur Leistungserhöhung, der Brennraum (1) in Abhängigkeit der erwünschten Motorleistung durch den Verstellkolben (2) variabel ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung bei Otto- oder Dieselhubkolbenmotoren, die nach dem Prinzip eines Millerprozesses im Unterdruckbetrieb arbeiten, wobei die Entspannung des Arbeitsgases auf 1 bar abs. oder Werte in der Nähe davon erfolgt, was dadurch erreicht wird, dass der Zylinder beim Ansaugtakt nur teilweise gefüllt und nur diese Teilmenge beim Ansaugtakt verdichtet wird, wobei das Volumen eines Brennraums in Abhängigkeit der erwünschten Motorleistung mit einem mechanisch oder hydraulisch betätigten Verstellkolben variabel ist.

**[0002]** Die nachstehend beschriebene Wirkungsgradsteigerung kann sowohl für Hubkolbenmotoren nach dem Diesel - als auch Ottoverfahren angewendet werden. Beiden gemeinsam ist, dass erhebliche Abgasverluste in Form von Druck und Temperaturverlusten am Verfahrensende bestehen, da die Entspannung nicht bis Umgebungsdruck (bzw. 1 bar abs.) erfolgt und damit Ausnutzung der technischen Arbeit der Polytrope, sondern zumeist in einem Bereich, je nach Lastzustand und Verdichtungsverhältnis, von etwa 2 bis 4 bar abs. und Temperaturen von bis ca. 500° C. Diese Parameter sind geeignet weitere Nutzleistung zu generieren, wenn der Austrittsdruck aus dem Zylinder auf Umgebungsdruck gesenkt wird mit einhergehender Temperaturabsenkung durch die weitere Expansion des Arbeitsgases.

**[0003]** Eine Möglichkeit zur Verminderung dieser Abgasverluste findet sich darin, dass beim Ansaugtakt der Zylinder nur teilweise gefüllt wird und dadurch beim Arbeitstakt der Restdruck vermindert wird, oder entfällt. Verfahren für die nötige Teilfüllung des Zylinders sind grundsätzlich bekannt, wo der Atkinsonprozess und Millerprozess zu nennen ist. Bei ersterem wird die Teilfüllung konstruktiv durch unterschiedliche Kolbenwege bei Ansaug- und Arbeitstakt erreicht, beim Millerprozess durch variable Nockensteuerung, die auch heutzutage Anwendung findet, indem die Öffnungszeiten durch die Nocken derart gesteuert werden, dass nach Erreichen der gewünschten Füllung des Zylinders das Einlassventil geschlossen wird. Durch den Resthub des Kolbens beim Ansaugen entsteht im Zylinder ein Unterdruck, wo beim nachfolgenden Kompressionshub das im Zylinder befindliche Gas bis zum gewünschten Druck verdichtet wird und mit nachfolgendem Arbeitstakt und durch die geringere Zylinderfüllung nahe dem Umgebungsdruck entspannt und daher die Abgasverluste vermindert bzw. im Idealfall vermieden werden. Die Erzeugung des Unterdruckes durch das vorzeitige Schließen des Ansaugventiles beim Ansaugtakt ist zwar leistungszehrend, jedoch wird beim nachfolgenden Kompressionshub durch den Umgebungsdruck auf den Kolben dieser Arbeits- bzw. Leistungsaufwand egalisiert. Ein Nachteil findet sich darin, dass durch unterschiedliche Drehzahlen sich der Füllungsgrad des Zylinders verändert und daher der Unterdruck sich mit der Drehzahl ändert. Die erzielbare Leistung bezogen auf den Hubraum fällt auch geringer aus und bei sich ändernden Füllungsgraden des Zylinders auch die Kompressionsenddrücke sich durch das vorgegebene Brennraumvolumen sich ändern und nicht immer im Optimum befindet.

**[0004]** Eine Brennkraftmaschine der eingangs geschilderten Art offenbart die WO 9942718 A1, die mit einem mechanisch oder hydraulisch betätigten Verstellkolben im Zylinderkopf ausgestattet ist, mit dem das Volumen des Brennraums in Abhängigkeit variabel ist. Um einen Unterdruck im Ansaugtrakt erzeugen zu können, kann im Ansaugtrakt ein Zylinder vorgesehen sein. Einen gattungsgemäßen Stand der Technik, eine Brennkraftmaschine mit betätigbarem Verstellkolben im Zylinderkopf zwecks Einstellbarkeit der Verdichtung, offenbart die JP 2008 128 227 A. Mit einer Einstellbarkeit des Verdichtungsverhältnisses alleine ist aber noch kein Millerprozess realisierbar. Aus der DE 103 54 842 A1 ist es bekannt einen die Ventile aufnehmenden Kolben im Zylinderkopf vorzusehen, mittels dem das Verdichtungsverhältnis der Brennkraftmaschine einstellbar ist. Es ist bekannt, dass ein Betrieb in einem Miller-Zyklus, d. h. nur durch das Variieren der Betätigung der Einlassventile zur Veränderung des Kompressionsverhältnisses selbst, nur eine begrenzte Veränderung des Kompressionsverhältnisses erreichen kann, weshalb zusätzlich zu einer Variierung der Ventilsteuerzeiten die Einstellbarkeit des Verdichtungsverhältnisses vorgesehen ist.

**[0005]** Aus der DE 10 2011 006 388 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb einer mengengeregelten Brennkraftmaschine bekannt, wobei im Ansaugtrakt eine Expansionsmaschine und ein Abgaswärmetauscher vorgesehen sind. Die DE 20 2013 006 352 U1 offenbart einen gleichartigen Stand der Technik, wobei, um mehr mechanische Energie für eine Expansion der erwärmten Ansaugluft in der als Drossel wirkenden Expansionsmaschine bereitstellen zu können, eine Rezirkulation der Systemwärme vorgesehen ist. Ein betätigbarer Verstellkolben im Zylinderkopf ist nicht vorgesehen, womit es nicht möglich ist, den bekannten Motor sowohl im herkömmlichen Otto- oder Dieselprozess, aufgeladen oder als Sauger ausgeführt, als auch im Millerprozess zu betreiben.

**[0006]** Aus der DE 69409984 T2 ist es bekannt, in den Ansaugtrakt einer Brennkraftmaschine eine Expansionsmaschine einzusetzen, die der Umwandlung potentieller und kinetischer Energie in der Verbrennungsluft in elektrische Energie dient. Es soll lediglich elektrische Energie aus der Ladeluft gewonnen werden können.

**[0007]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, Maßnahmen zu beschreiben, mit welchen auf differenzierte Weise zum Stand der Technik die Teilfüllung der Zylinder erreicht wird, mit der Optimierung des Verbrennungsdruckes besonders im Übergangsbereich von Millerverfahren zum klassischen Otto- bzw. Dieserverfahren zur Leistungserhöhung. Hier wird mit dem gleichen Motor z.B. auch mit Aufladung die ursprüngliche Leistung erreicht und den Motor im Modus Miller und auch Otto- oder Dieserverfahren mit Aufladung zur Leistungserhöhung betrieben. Auch durch Ausnutzung des Druckes bis ca. 1 bar abs. bei der Expansion bleibt trotzdem eine erhöhte Temperatur, welche durch Nachschaltung eines weiteren arbeitsgewinnenden Prozesses zur zusätzlichen Nutzleistungserzeugung genutzt werden kann, wie Heißgasprozess oder ORC - Prozess. Bei beiden Prozessen kann auch die Kühlwasserwärme entweder zur Vorwärmung des ORC Mediums verwendet werden, oder beim Heißgasprozess für die Verdunstung von Wasser im Arbeitsgas, dies zu einer besseren Ausnutzung beiträgt. Die verwendeten Medien beim Heißgasprozess Luft, Wasserdampf und das Abgas (ohnein vorhanden) stellen keine zusätzliche Umweltbelastung dar, das ORC Medium bedingt.

**[0008]** Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass die Unterdruckerzeugung zur Teilfüllung des Zylinders durch eine dem Zylinder vorgeschaltete, hinsichtlich Luftmassefluss und Unterdruck regelbare Expansionsmaschine, erfolgt und dass für einen Übergang Betrieb zwischen einem Unterdruckbetrieb und einem herkömmlichen Otto- oder Dieselprozess, gegebenenfalls mit Aufladung zur Leistungserhöhung, der Brennraum in Abhängigkeit der erwünschten Motorleistung durch den Verstellkolben variabel ist. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen dargestellt.

**[0009]** Für die Teilfüllung der Zylinder mit einem erwünschten Unterdruck ist im Vergleich zum Stand der Technik eine Expansionsmaschine vorgesehen, welche als Überdruckseite den Umgebungsdruck aufweist und als Austrittsdruck den gewünschten Unterdruck, welcher zur gewünschten Teilfüllung des Zylinders führt. Eine stufenlose Regelung von Unterdruck und Luftmenge ist wünschenswert, dies kann zum Beispiel mit einer regelbaren Expansionsmaschine mit verstellbaren Leit- und Laufschaufeln mit einem angeschlossenen drehzahlregelbaren Generator erfolgen. Bei im Wesentlichen konstantem Unterdruck ist auch eine Radialturbine in Anlehnung an die bei Turboladern mit Drehzahlregelung verwendbar, oder eine Curtisturbine mit einzeln ansteuerbaren Segmenten (siehe schematische Darstellung Fig. 3), je nach Luftmenge, oder Expansionsmaschinen wie Schraubenmotor oder Zellenradmotor. Die gewonnene Energie im Generator, bei ca. 100 KW Motorleistung etwa 6 bis 8 KW, sollte in den Antriebsstrang eingebunden werden. Da der Unterdruck schon zu Beginn des Kolbenweges ansteht, jedoch auch hier der Umgebungsdruck am Kolben wirkt mit der Verdichtung auf 1 bar abs. ohne Motorleistung, ist dies in Verbindung mit der eingespeisten Leistung des Generators neutral, wenn man von den Turbinenwirkungsgraden absieht, ist aber effizienter als ein auch mögliches Erreichen des Unterdruckes durch vorangeschaltete Drosselung. Es sei darauf hingewiesen, dass bei einem Unterdruck von 0,5 bar abs. die Lufttemperatur um ca. 50° C abfällt, welche sich bei der nachfolgenden Verdichtung bis 1 bar abs., bewerkstelligt durch den Umgebungsdruck am Kolben, wieder die ursprünglichen Werte einstellen.

**[0010]** Um bestmöglich die unterschiedlichen Lastzustände des Motors und besonders dem Wirkungsgrad zu erreichen, sind unterschiedliche Füllungen des Zylinders von Vorteil, die unterschiedlichen Unterdruck und variable Verbrennungsräume wünschenswert machen und bei gegenständlicher Anmeldung berücksichtigt wird. Der Kompressionsraum ist im Normalfall eine verfahrenstechnisch festgelegte Größe.

**[0011]** In Fig. 1 ist eine Konstruktion dargestellt, die einen variablen Brennraum (1) durch mechanische Elemente erlauben in der Form, dass hier am oberen Ende der bewegliche Verstellkolben (2) mit einem mehrgängigen Gewinde (3) versehen ist, welcher über eine Wellenmutter (4) über einen Schwenkbereich von ca. 90° der Verstellkolben über den gewünschten Weg verschoben wird. Die Verschiebung kann stufenlos oder auch nur Ein - Aus erfolgen. Im Verstellkolben selbst ist die Einspritzdüse oder Zündkerze (5) untergebracht. Der Verstellkolben ist mit einer Anzahl von Rillen (6) versehen, welche im unteren Bereich zur Aufnahme von metallischen Kolbenringen (7) geeignet sind und im darüber liegenden Bereich als Kühlfläche (8) dienen, die mit durchströmenden Kühlmedium (9) z.B. Motoröl oder Wasser beaufschlagt sind. Die höheren Kräfte sind durch den Verbrennungsdruck zu erwarten, daher ist bei der Wellenmutter ein Nadellager (10) zur Verminderung der Reibkräfte und leichterer Drehung durch den Betätigungshebel (11) vorgesehen, welcher zusammengefasst über eine Verbindungsstange (Fig. 3, 12) mit einem hydraulischen Betätigungselement (13) die Schwenkbewegung vollziehen. Es können auch einzelne Betätigungselemente je Zylinder vorgesehen werden. Als Sicherung gegen Verdrehen bei der Verschiebung des Verstellkolbens ist eine Nut (14) mit einem Stift (15) vorgesehen. Fig. 2 zeigt den Verstellkolben in der Stellung mit maximalen Brennraumvolumen.

**[0012]** In Fig. 5 ist ein hydraulisch betätigter ein- und ausfahrbarer Verstellkolben (2) dargestellt, welcher aus Gründen der Demontierbarkeit geteilt ausgeführt ist und mittels Gewinde (16) miteinander verbunden ist. Der Oberteil beinhaltet den Hydraulikkolben (17) welcher wechselseitig von der Hydraulikflüssigkeit beaufschlagt wird, je nach gewünschter Bewegungsrichtung. Das Zylindergehäuse besteht aus einem Mantel mit dem unteren Zylinderboden (18) und dem oberen Zylinderboden (19). Das Gehäuse wird in den Zylinderkopf (20) eingeschraubt. Die Versorgung mit Hydraulikflüssigkeit (21) und Ansteuerung mittels regelbaren Ventilen erfolgt jeweils für den einzelnen Zylinder. Die beweglichen Flächen werden mit entsprechenden Dichtelementen (22) ausgestattet. In Fig. 6 ist der Verstellkolben mit Stellung maximales Brennraumvolumen dargestellt. Grundsätzlich kann noch angemerkt werden, dass die Brennkammer mit Verstellkolben mechanisch oder hydraulisch betätigt, auch exzentrisch angeordnet werden kann, wo auch größere Einheiten vorgesehen werden können.

**[0013]** Mit dem ein und ausfahrbaren Verstellkolben im Kompressionsraum, entweder hydraulisch oder mechanisch betätigt, kann das Kompressionsvolumen sowohl stufenlos als auch nur mit Ein- und Aus-Funktion betrieben werden und dadurch ein weiter Bereich für die teilweise Füllung abgedeckt werden und damit mit einem gleichbleibenden Kompressionsenddruck und damit ein besserer Wirkungsgrad erreicht werden und die ursprünglichen Verhältnisse mit vollständiger Füllung und darüber hinaus mit Aufladung durch einen Turbolader mit der ursprünglichen Leistung hergestellt werden mit der Ausnutzung der Leistung eines Saugdieselmotors bzw. aufgeladenen Motors, dies der besondere Vorteil dieses variablen Brennraumes in der angeführten Kombination mit der Teilfüllung der Zylinder darstellt. Die höchsten Wirkungsgrade werden im Teilastbereich mit der Expansion auf 1 bar abs. erreicht. Aus steuerungstechnischen Gründen kann durchwegs ein Betrieb mit konstantem Unterdruck und Weglassen des Übergangsbereiches zum klassischen Otto- / Dieselprozesses mit Ansaugung auf 1 bar abs. in Erwägung gezogen werden, da der Verstellkolben nur ein- und ausgefahren werden müsste und die Ansaugung der Luft auf Umgebungsdruck geschaltet werden müsste, wenn nach der Ausnutzung des Leistungsbereiches des Unterdruckbetriebes zwar mit dem ursprünglichen Wirkungsgrad, jedoch der Ausnutzung bis zur ursprünglichen Höchstleistung erfolgt.

**[0014]** Durch die reduzierte Ansaugmenge bei gleichem Expansionsvolumen ergibt sich dadurch eine bessere Ausnutzung des Arbeitsgasdruckes, im Idealfall bis auf 1 bar abs. und dadurch Entfall der Abgas (Druck) -verluste. Trotz der Entspannung auf 1 bar abs., oder nahe

daran, ergibt sich eine erhöhte Temperatur des Arbeitsgases, welche in einem nachgeschalteten ORC - Prozess oder auch Heißgasprozess genutzt werden kann und somit die Abgas- und Kühlverluste nutzbringend eingebunden werden, Nachstehende beispielhafte Berechnung mit einem Dieselmotor mit einem Verdichtungsverhältnis von 1: 25 (Verdichtungsdruck ca. 90,6 bar abs.) und einer Arbeitsgastemperatur von 2000 K zeigt, dass durch Ausnutzung des Restdruckes von etwa 2,7 bar abs. ein Wirkungsgradgewinn des theoretischen Prozesses von ca. 15 % absolut (61,1 % mit Abgasverlusten zu 76,7 % ohne Abgasverluste) erreicht werden kann, mit Nutzung der Restwärme durch einen Heißgasprozess theoretisch ca. 81,8 %. Setzt man diese Zahlen mit den derzeitigen Wirkungsgraden (praktisch ca. 45 %) ins Verhältnis mit dem zugeordneten theoretischen (61,1 %) dürfte eine Steigerung des praktischen Wirkungsgrades mit der neuen Prozessführung näherungsweise um den Betrag der Differenzen (ca. +15,6 bis 20,7 % absolut) zumindest bei konstanten stationären Bedingungen höher erreichbar sein. Demnach könnte der praktisch erreichbare Wirkungsgrad im Bereich von bis zu etwa 60% zu liegen kommen. Hier wurden die gleichen Wärmeverluste über das Kühlwasser veranschlagt, welche durch die niedrigeren Abgastemperaturen auch etwas geringer ausfallen dürften und damit etwas höheren Wirkungsgrad.

**[0015]** Bei der Halbierung des Masseflusses reduziert sich die Nutzleistung im gegenständlichen Fall nicht um den halben Betrag, sondern wegen des Wirkungsgradgewinnes gegenüber einem hubraumgleichen Saugdieselmotor mit herkömmlicher Prozessführung nur um ca. 30 % der spezifische Brennstoffbedarf jedoch um etwa 30 bis ca. 40 % (mit nachgeschaltetem Prozess) gegenüber einem Saugdieselmotor. Die Erkenntnisse sind für einen Motor nach dem Ottoprozess sinngemäß anwendbar. Wird der maximale Wirkungsgrad angestrebt, wäre die fehlende Leistung durch eine höhere Zylinderzahl bzw. durch Erhöhung des Zylindervolumens ausgleichbar. Durch die variable Brennraumgestaltung kann der Betrieb im ursprünglichen Otto- oder Dieselmotor (auch aufgeladen) - Modus mit Abgasverlusten und auch Turbolader mit der ursprünglichen Leistung erfolgen, jedoch bedingt der ursprüngliche Prozess auch nur den bisherigen Wirkungsgrad. Bei gegenständlichem Verfahren kann die ursprüngliche Leistung eines Saugdiesels oder aufgeladenen Motor erreicht werden, dies der große Vorteil dieses Verfahrens ist. Die größte Kraftstoffersparnis ergibt sich naturgemäß beim Betrieb im Bereich des maximalen Wirkungsgrades im Teillastbereich, dies vorn Haupteinsatzgebiet des Motors abhängt, wo auf Grund durch gleichbleibende Prozessparameter die Leistungsregelung über die Drehzahl erfolgen soll und ein möglichst vielstufiges Getriebe von Vorteil ist den Bereich mit dem optimalen Wirkungsgrad möglichst gut auszunutzen.

#### BEZEICHNUNGEN:

- 1 Variabler Brennraum
- 2 Beweglicher Verstellkolben
- 3 Mehrgängiges Gewinde
- 4 Wellenmutter
- 5 Einspritzdüse oder Zündkerze
- 6 Rillen am Verstellkolben
- 7 Metallische Kolbenringe
- 8 Kühlflächen
- 9 Kühlmedium
- 10 Nadellager
- 11 Betätigungshebel
- 12 Verbindungsstange
- 13 Hydraulisches Betätigungselement
- 14 Nut gegen Verdrehen Verstellkolben
- 15 Stift gegen Verstellkolbenverdrehung
- 16 Verbindungsgewinde

- 17 Hydraulikkolben Oberteil
- 18 Hydraulikkolbenmantel mit unterem Zylinderboden
- 19 Oberer Zylinderboden
- 20 Einschraubgewinde in Zylinderkopf
- 21 Versorgung Hydraulikflüssigkeit
- 22 Dichtelemente an beweglichen Flächen

**[0016]** Näherungsweise Berechnung des Wirkungsgrades:

**[0017]** Die nachfolgende Berechnung soll in erster Linie die Entwicklung der Werte der Polytrope (Isentrope) bei der Entspannung im Vergleich zum Stand der Technik mit den Druckverlusten darstellen in Gegenüberstellung einer Entspannung auf Umgebungsdruckniveau. Ausgangsdaten: Verdichtungsverhältnis (Epsilon) 1 : 25, Arbeitsgastemperatur angenommen 2000 K, Punkte in einem p - v Diagramm für einen Dieselprozess (isentrope Verdichtung 1 - 2, isobare Wärmezufuhr 2 - 3, isentrope Expansion 3 - 4, isochore Wärmeabfuhr 4 - 1). Mit Hilfe der Temperaturen an den jeweiligen Punkten wurde die mittlere spez. Wärmekapazität bzw. die Enthalpiewerte ermittelt und die Differenzen ins Verhältnis gesetzt.

**[0018]** Verdichtungsenddruck =  $p_2 = P_1 \times \text{Epsilon hoch Kappa} = 25 \text{ hoch } 1,4 = 90,6 \text{ bar}$

**[0019]** Druck am Ende der Expansion ( $p_4$ ) bei gegebenem Ausgangsdruck ( $p_3 = p_2$ ):

$$p_4 = p_3 \times (v_3/v_1) \text{ hoch Kappa}$$

$$v_3 = R \times T_3 / p_3 = 287\text{J/kg.K} \times 2000\text{K} / 90,6 \times 100000 = 0,0637 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_1 = R \times T_1 / p_1 = 287\text{J/kg.K} \times 273\text{K} / 1 \times 100000 = 0,784 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$p_4 = 90,6 \text{ bar} \times (0,0637 \text{ m}^3/\text{kg} / 0,784 \text{ m}^3/\text{kg}) \text{ hoch } 1,4 = 2,7 \text{ bar abs.}$$

**[0020]** Temperatur am Ende der Isentrope:

**[0021]**  $T_4 = T_3 \times (p_4/p_3) \text{ hoch } 0,285 = 2000 \times (2,7 / 90,6) \text{ hoch } 0,285 = 735 \text{ K (mit Druckverlust)}$   
 $= 2000 \times (1,0 / 90,6) \text{ hoch } 0,285 = 554\text{K (ohne Druckverlust)}$

**[0022]** Temperatur für Ende Kompression:

$$T_2 = T_1 \times (p_2/p_1) \text{ hoch } 0,285 = 273 \times (90,6/1,0) \text{ hoch } 0,285 = 986\text{K}$$

$$c_{pm1} = 1,004, c_{pm2} = 1,061 \times 713^\circ\text{C} = 756 \text{ kJ/kg, Enthalpiedifferenz}$$

**[0023]** Theoretischer Wirkungsgrad mit Druckverlust

$$c_{pm34} = (c_{pm3} \times t_3) - (c_{pm4} \times t_4) / (t_3 - t_4) = 1,146\text{kJ/kg.K} \times 1727^\circ\text{C} - 1,033 \text{ kJ/kg.K} \times 462^\circ\text{C} / (1727^\circ\text{C} - 462^\circ\text{C}) = (1979 - 477) / 1265 = 1,187 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\text{Enthalpiedifferenz: } 1979\text{kJ/kg} - 477 \text{ kJ / kg} = 1502 \text{ kJ/kg}$$

$$c_{pm23} = (c_{pm3} \times t_3) - (c_{pm2} \times t_2) / (t_3 - t_2) = 1,146 \text{ kJ/kg.K} \times 1727^\circ\text{C} - 1,062 \times 713 = (1979 - 757) / (1727 - 713) = 1221\text{kJ/kg} / 1014^\circ\text{C} = 1,204\text{kJ/kg.K}$$

$$q_{zu23} = c_{pm23} \times (T_3 - T_2) = 1,204 \text{ kJ/kg.K} \times 1014 \text{ K} = 1221 \text{ kJ/kg}$$

**[0024]** Wirkungsgrad:

$$\text{Nutzleistung / zugeführte Wärme} = \text{Expansionsarbeit} - \text{Kompressionsarbeit} / \text{zugeführte Wärme} = (1502\text{kJ/kg} - 756\text{kJ/kg}) / (1221\text{kJ/kg}) = 746/1221 = 0,611$$

**[0025]** Theoretischer Wirkungsgrad ohne Druckverluste:

$$c_{pm34} = (c_{pm3} \times t_3) - (c_{pm4} \times t_4) / (t_3 - t_4) = 1,146 \text{ kJ/kg.K} \times 1727^\circ\text{C} - 1,017 \text{ kJ/kg.K} \times 281^\circ\text{C} / (1727^\circ\text{C} - 281^\circ\text{C}) = (1979 - 286) / 1446 = 1,171 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\text{Enthalpiedifferenz: } 1979 \text{ kJ/kg} - 286 \text{ kJ/kg} = 1693 \text{ kJ / kg}$$

$$c_{pm23} = (c_{pm3} \times t_3) - (c_{pm2} \times t_2) / (t_3 - t_2) = 1,146 \text{ kJ/kg.K} \times 1727^\circ\text{C} - 1,062 \times 713 = (1979 - 757) / (1727 - 713) = 1221 \text{ kJ/kg} / 1014^\circ\text{C} = 1,204 \text{ kJ/kg.K}$$

$$q_{zu23} = c_{pm23} \times (T_3 - T_2) = 1,204 \text{ kJ/kg.K} \times 1014\text{K} = 1221 \text{ kJ / kg}$$

**[0026]** Wirkungsgrad:

Nutzleistung / zugeführte Wärme = Expansionsarbeit - Kompressionsarbeit /  
zugeführte Wärme (1693kJ/kg - 756kJ/kg) / (1221kJ/kg) = 937 / 1221 = 0,767

**[0027]** Verhältnis der spez. Volumina expandiertes Gas (554 K) zu Lufteintritt:

$0,784 \text{ m}^3/\text{kg} / 1,57\text{m}^3/\text{kg} = 2,0$  (Ansatz Hälfte Ansaugvolumen / Expansionsvolumen zu-  
treffend)

**[0028]** Nachgeschalteter Prozess:

a) ORC - Prozess:  $280^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C} = \text{ca. } 230\text{kJ/kg} \times 0,17$  (Wirkungsgrad bei ca.  $100^\circ\text{C}$  Prozess-  
temperatur) = 39 kJ / kg Nutzleistung

b) Heißgasprozess angenommen 4 bar abs. Prozessdruck: Isentrope Entspannung:

Temperatur Ende Expansion der Isentrope:

$T_2 = T_1 \times (p_2/p_1)^{\text{hoch Kappa} - 1/\text{Kappa}}$  (0,285)

$554 \times 1/4^{\text{hoch } 0,285} = 373\text{K} = 100^\circ\text{C}$ , Temperaturdifferenz: 180 K,

Temperatur Verdichtung 4 bar abs.:  $T_2 = T_1 \times p_2/p_1^{\text{hoch } 0,285} = 405\text{K}$ , Differenz =  $405 - 273$   
= 132 kJ/kg, Nutzleistung  $180 - 132 = 48 \text{ kJ/kg}$ , hier ist anzumerken, dass auch etwa 4% Was-  
serdampf durch Verdunstung durch die Restwärme eingebracht werden können dies einen  
Zugewinn von etwa 14 kJ/kg bedeutet, gesamt daher ca. 62 kJ/kg,

**[0029]** Theoretischer Wirkungsgrad mit ORC - Prozess:  $(937 + 39)/1221 = 976/1221 = 0,799$

**[0030]** Theoretischer Wirkungsgrad mit Heißgasprozess:  $(937 + 62)/1221 = 999/1221 = 0,818$

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung bei Otto- oder Dieselhubkolbenmotoren, die nach dem Prinzip eines Millerprozesses im Unterdruckbetrieb arbeiten, wobei die Entspannung des Arbeitsgases auf 1 bar abs. oder Werte in der Nähe davon erfolgt, was dadurch erreicht wird, dass der Zylinder beim Ansaugtakt nur teilweise gefüllt und nur diese Teilmenge beim Ansaugtakt verdichtet wird, wobei das Volumen eines Brennraums (1) in Abhängigkeit der erwünschten Motorleistung mit einem mechanisch oder hydraulisch betätigten Verstellkolben (2) variabel ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Unterdruckerzeugung zur Teilfüllung des Zylinders durch eine dem Zylinder vorgeschaltete, hinsichtlich Luftmassefluss und Unterdruck regelbare Expansionsmaschine, erfolgt und dass für einen Übergang Betrieb zwischen einem Unterdruckbetrieb und einem herkömmlichen Otto- oder Dieselprozess, gegebenenfalls mit Aufladung zur Leistungserhöhung, der Brennraum (1) in Abhängigkeit der erwünschten Motorleistung durch den Verstellkolben (2) variabel ist.
2. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung für Hubkolbenmotoren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erreichung eines definierten Unterdruckes eine Expansionsmaschine mit axialem Durchfluss, mit verstellbaren Leit- und Laufschaufeln und mit einer Drehzahlregelung durch einen regelbaren Generator vorgesehen ist, um eine definierte Teilfüllung des Zylinders beim Ansaugtakt zu Erreichen, wobei als Regelparameter Unterdruck, Motordrehzahl und auch Arbeitsgasausgangstemperatur herangezogen werden.
3. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung für Hubkolbenmotoren nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass für einen konstanten Unterdruck eine Radialturbine wie bei Turboladern mit Drehzahlregelung durch einen regelbaren Generator oder eine Curtisturbine mit ansteuerbaren Segmenten oder auch ein Schraubenmotor oder ein Zellenradmotor vorgesehen ist, wobei als Regelparameter Unterdruck, Motordrehzahl und auch Arbeitsgasausgangstemperatur herangezogen werden.
4. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung für Hubkolbenmotoren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Übergang vom Unterdruckbetrieb in den Otto- oder Dieselprozess mit Saug- oder aufgeladenen Betrieb der Brennraum (1) mit einer Konstruktion mit einem ausfahrbaren Verstellkolben (2) mit einem mehrgängigen Gewinde (3) versehen ist, welcher Verstellkolben (2) über eine Wellenmutter (4) über einen Schwenkbereich von ca. 90° über den gewünschten Weg, gegebenenfalls stufenlos, verschoben wird, wobei im Verstellkolben selbst eine Fingerspritzdrüse oder eine Zündkerze (5) untergebracht ist und der Verstellkolben mit einer Anzahl von Rillen (6) versehen ist, welche im unteren Bereich zur Aufnahme von metallischen Kolbenringen (7) geeignet sind und im darüber liegenden Bereich als Kühlfläche (8) dienen, die mit durchströmenden Kühlmedium (9) beaufschlagt ist, wobei zur Verminderung der Reibkräfte und leichterer Drehung durch den Betätigungshebel (11) durch den Verbrennungsdruck bei der Wellenmutter ein Nadelager (10) vorgesehen ist, wobei der Betätigungshebel (11) über eine Verbindungsstange (12) mit einem hydraulischen Betätigungselement (13) die Schwenkbewegung vollzieht und als Sicherung gegen Verdrehen eine Nut (14) mit einem Stift (15) vorgesehen ist.
5. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung für Hubkolbenmotoren nach Anspruch 4 **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Betätigungselemente (13) je Zylinder vorgesehen werden.
6. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung für Hubkolbenmotoren nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Konstruktion mit variablen Brennraum (1) durch einen hydraulisch betätigten ein- und ausfahrbaren Verstellkolben (2) erreicht wird, der aus Gründen der Demontierbarkeit geteilt ausgeführt und mittels Gewinde (16) miteinander verbunden ist, wobei der Oberteil den Hydraulikkolben (17) beinhaltet, welcher wechselweise von Hydraulikflüssigkeit beaufschlagt wird und wobei das Zylindergehäuse aus einem Mantel mit dem unteren Zylinderboden (18) und dem oberen Zylinderboden (19) besteht, wobei das Zylindergehäuse in den Zylinderkopf (20) eingeschraubt wird mit der Versorgung von Hydraulikflüssigkeit (21) und Ansteuerung mittels regelbaren Ventilen jeweils

für den einzelnen Zylinder und die beweglichen Flächen mit entsprechenden Dichtelementen (22) ausgestattet sind.

7. Verfahren zur Wirkungsgradsteigerung für Hubkolbenmotoren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennraum (1) mit mechanisch oder hydraulisch betätigtem Verstellkolben (2) exzentrisch zur Zylinderachse angeordnet ist, womit auch größere Einheiten vorgesehen werden können.

**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**

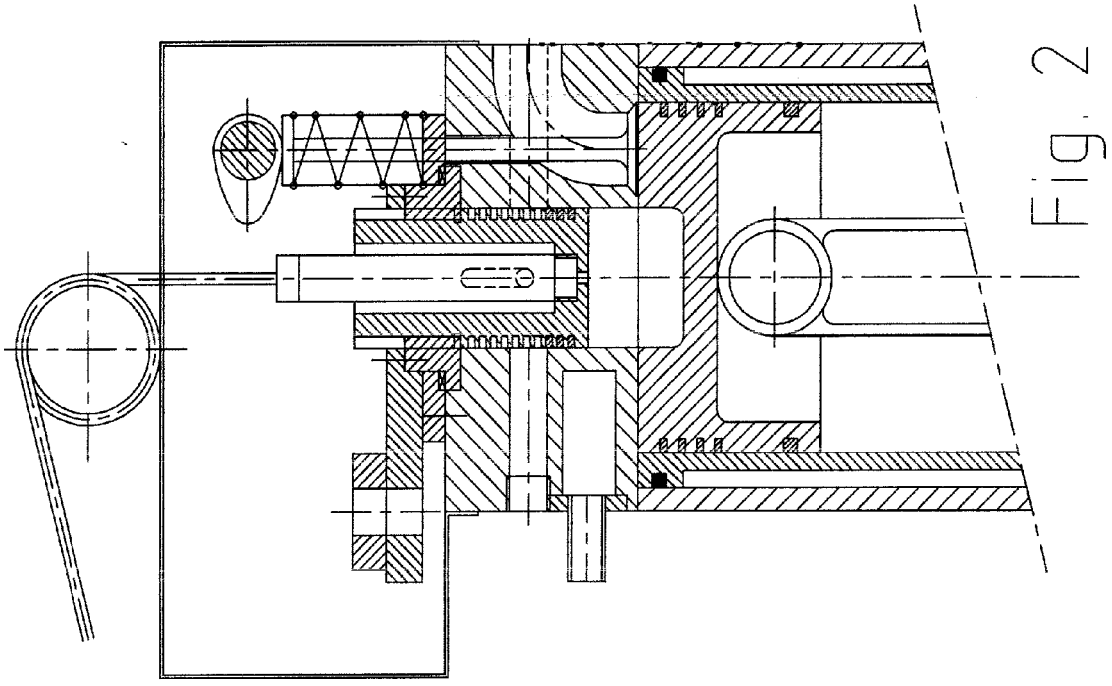


Fig. 2

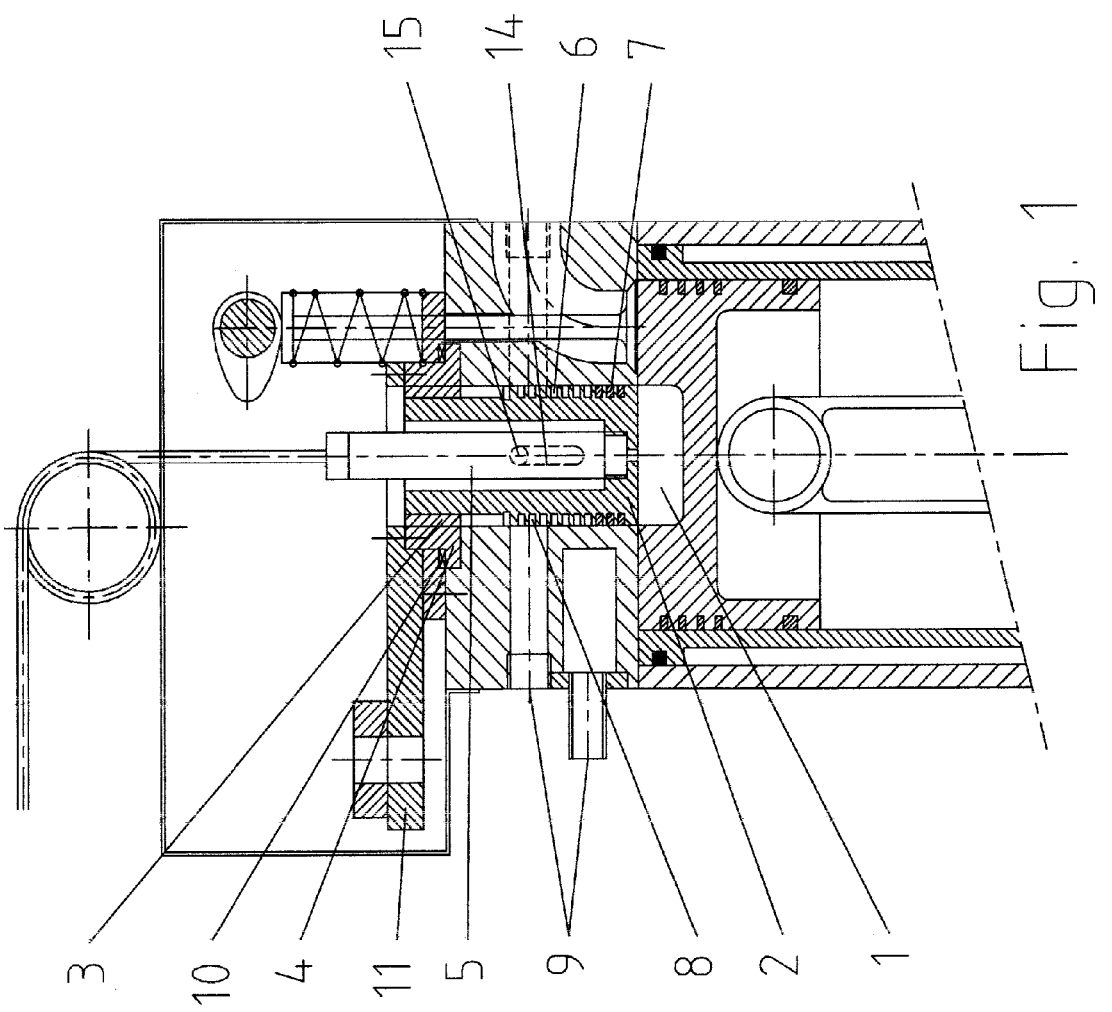


Fig. 1

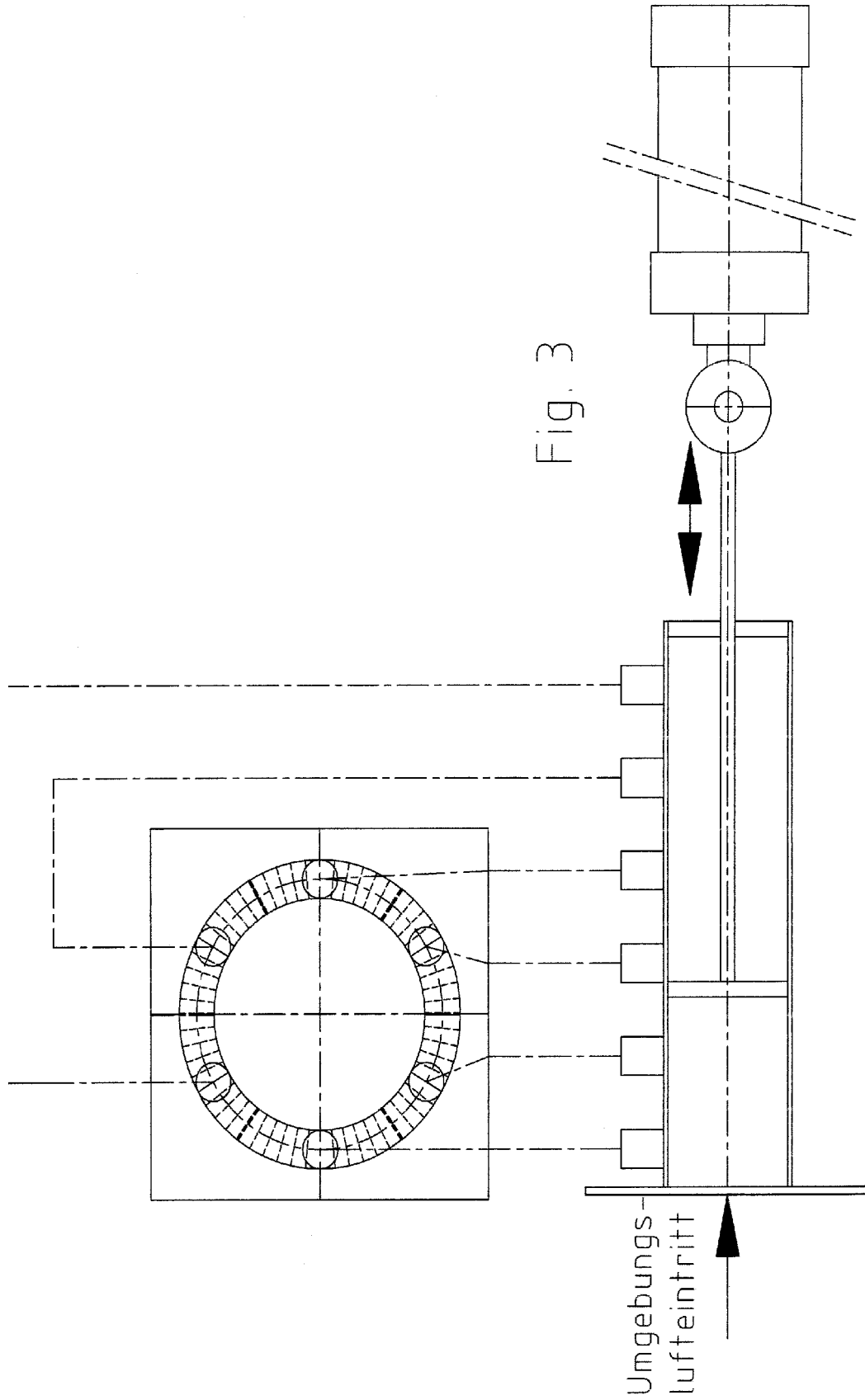
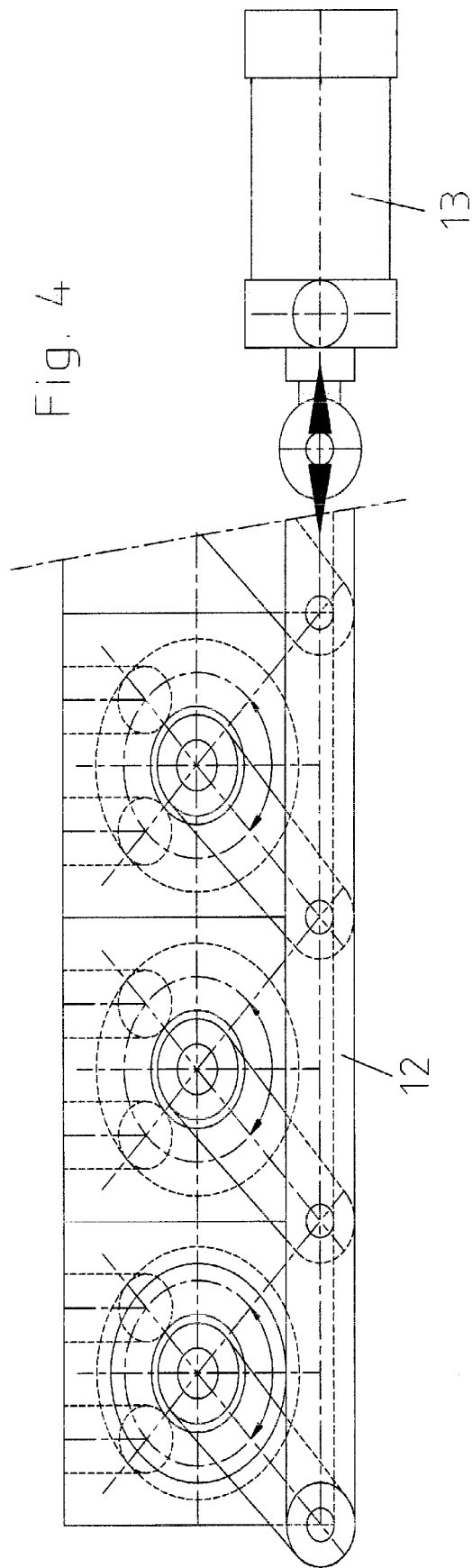


Fig. 3



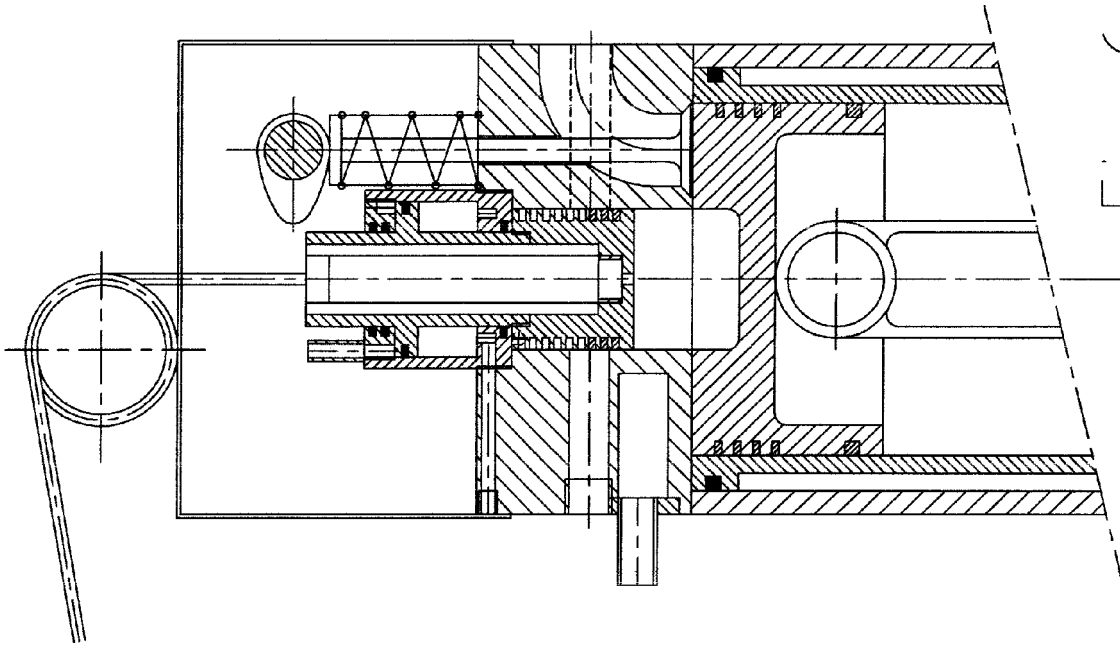


Fig. 6

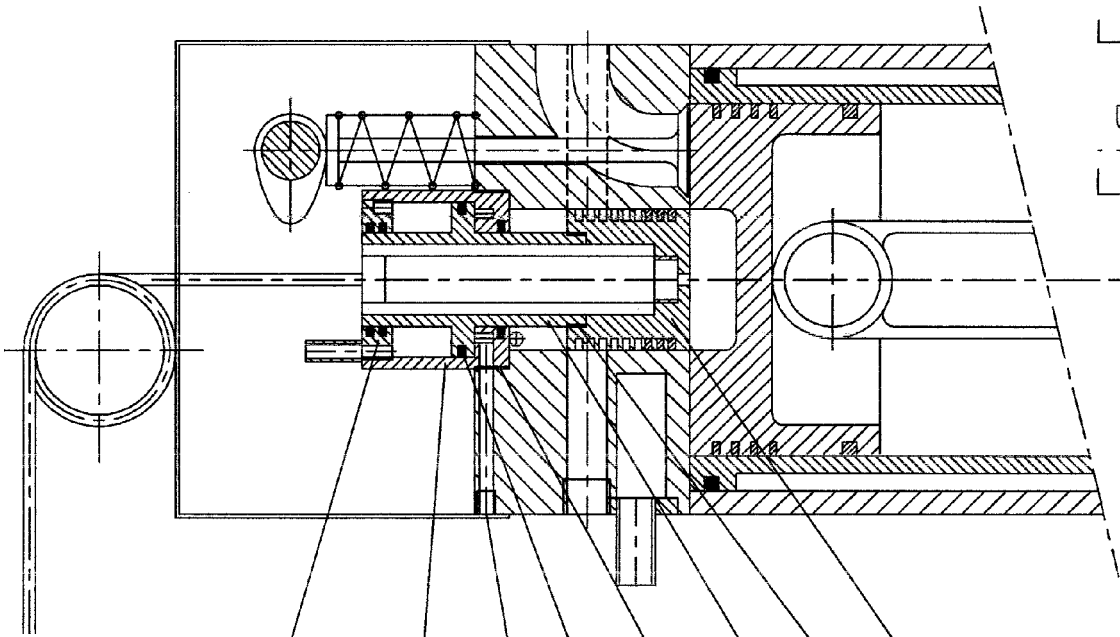


Fig. 5

- 19
- 18
- 21
- 22
- 20
- 17
- 16
- 2