



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 610 008 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.12.2005 Patentblatt 2005/52

(51) Int Cl.7: **F16C 7/06, F02B 75/04**

(21) Anmeldenummer: **04102913.3**

(22) Anmeldetag: **23.06.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL HR LT LV MK

(72) Erfinder: **Kluge, Dr. Torsten**
51491, Overath (DE)

(71) Anmelder: **Ford Global Technologies, LLC, A
subsidiary of Ford Motor Company
Dearborn, MI 48126 (US)**

(74) Vertreter: **Drömer, Hans-Carsten et al**
**Ford-Werke Aktiengesellschaft,
Patentabteilung NH/DRP,
Henry-Ford-Strasse 1
50725 Köln (DE)**

(54) **Pleuelstange für eine Brennkraftmaschine und Verfahren zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses**

(57) Die Erfindung betrifft eine Pleuelstange (3) für eine Brennkraftmaschine zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses ϵ , die mit ihrem einen Ende (12) mit einem Kolben (7) der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist und zur Koppelung von Kolben (7) und Kurbelwelle (6) mit ihrem anderen Ende (13) mit der Kurbelwelle (6) der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist, wobei die Pleuelstange (3) entlang einer gedachten Linie L, welche die beiden Enden (12, 13) der Pleuelstange (3) miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist.

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhält-

nisses ϵ unter Verwendung einer derartigen Pleuelstange (3).

Es soll eine Pleuelstange (3) der gattungsbildenden Art bereitgestellt werden, mit der die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden, und die insbesondere ein geringeres Gewicht aufweist.

Erreicht wird dies durch eine Pleuelstange (3), die dadurch gekennzeichnet ist, daß sie einen künstlichen Muskel (11) umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt verändert, wodurch eine Längenänderung der Pleuelstange (3) und damit ein variables Verdichtungsverhältnis ϵ realisierbar ist.

EP 1 610 008 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Pleuelstange für eine Brennkraftmaschine zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses ε , die mit ihrem einen Ende mit einem Kolben der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist und zur Koppelung von Kolben und Kurbelwelle mit ihrem anderen Ende mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist, wobei die Pleuelstange entlang einer gedachten Linie L, welche die beiden Enden der Pleuelstange miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses E bei einer Brennkraftmaschine unter Verwendung eines derartigen Pleuels.

[0003] Nach dem Stand der Technik ist die Pleuelstange einer Brennkraftmaschine in der Regel mit einem kleinen Pleuelauge an seinem einen Ende und einem großen Pleuelauge an seinem anderen Ende versehen, wobei die Pleuelstange über einen in dem kleinen Pleuelauge angeordneten Kolbenbolzen mit dem Kolben gelenkig verbunden ist. Mit dem großen Pleuelauge ist die Pleuelstange auf einem Kurbelzapfen der Kurbelwelle drehbar gelagert.

[0004] Der Kolben dient dabei der Übertragung der durch die Verbrennung generierten Gaskräfte auf die Kurbelwelle. Die Gaskräfte, mit denen der Kolben beaufschlagt wird, werden auf diese Weise über den Kolbenbolzen auf die Pleuelstange und von dieser auf die Kurbelwelle übertragen.

[0005] Durch die beschriebene Anordnung von Kolben, Kolbenbolzen, Pleuelstange und Kurbelwelle wird die ausschließlich oszillierende Bewegung des Kolbens in eine rotatorische Bewegung der Kurbelwelle transformiert. Die Pleuelstange bewegt sich dabei abgesehen von einem geringen rotatorischen Anteil auch überwiegend oszillierend in Richtung Zylinderrohrängsachse.

[0006] Die Gaskräfte drücken den Kolben in Richtung Zylinderrohrängsachse nach unten, wobei ausgehend vom oberen Totpunkt (OT) dem Kolben durch die Gaskräfte eine beschleunigte Bewegung aufgezwungen wird. Der Kolben, der mit seiner nach unten gerichteten Bewegung versucht, den Gaskräften auszuweichen, muß bei dieser abwärts gerichteten Bewegung die mit ihm gelenkig verbundene Pleuelstange mitnehmen. Hierzu leitet der Kolben die auf ihn wirkenden Gaskräfte über den Kolbenbolzen auf die Pleuelstange und versucht diese nach unten zu beschleunigen. Nähert sich der Kolben dem unteren Totpunkt (UT) wird er zusammen mit den mit ihm verbundenen Bauteilen, insbesondere der Pleuelstange, verzögert, um dann im unteren Totpunkt (UT) eine Bewegungsumkehr zu vollziehen. Die Wegstrecke, die der Kolben auf seinem Weg zwischen dem oberen Totpunkt (OT) und dem unteren Totpunkt (UT) im Zylinderrohr zurücklegt, wird als Kolbenhub s bezeichnet. Das Hubvolumen V_H der Brennkraftmaschine ergibt sich aus der Anzahl z der Zylinder und

der Kolbenfläche A_K zu:

$$V_H = z \cdot A_K \cdot s$$

bzw.

$$V_H = z \cdot V_h \text{ mit } V_h = A_K \cdot s$$

wobei V_h das Hubvolumen eines Zylinders ist.

[0007] Das Zylindervolumen $V_{Z,OT}$ entspricht dem sogenannten Kompressionsvolumen V_C , wenn der Kolben sich im oberen Totpunkt (OT) befindet. Folglich ergibt sich das Zylindervolumen $V_{Z,UT}$ im unteren Totpunkt des Kolbens (UT) aus der Summe von Hubvolumen V_h und Kompressionsvolumen V_C .

[0008] Das geometrische Verdichtungsverhältnis E einer Brennkraftmaschine ergibt sich dabei durch den Ausdruck:

$$\varepsilon = 1 + V_h / V_C$$

[0009] Während Dieselmotoren prinzipbedingt mit sehr hohen Verdichtungsverhältnissen arbeiten, um die Zündung des Kraftstoffes zu gewährleisten, ist bei Ottomotoren das maximal zulässige Verdichtungsverhältnis $\varepsilon_{\max}$ wegen der Klopfneigung im Vollastbetrieb - d. h. der Neigung zu Selbstzündungen im noch unverbrannten Gemisch - auf relativ kleine Verdichtungsverhältnisse von beispielsweise $\varepsilon \approx 10$ bei Saugbetrieb begrenzt.

[0010] Bei kleinen hochaufgeladenen Motoren, die insbesondere aufgrund des ihnen zugrunde liegenden sogenannten Downsizing Effektes und der damit verbundenen Kraftstoffersparnis zunehmend an Bedeutung gewinnen, müßte für eine klopffreie Verbrennung das geometrische Verdichtungsverhältnis weiter gesenkt werden und beispielsweise auf $\varepsilon \approx 8 \dots 9$ begrenzt werden.

[0011] Nachteilig sind die relativ kleinen Verdichtungsverhältnisse des Ottomotors insbesondere im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch d. h. im Hinblick auf den Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine. Wird zur Beschreibung des thermodynamischen Prozesses des Ottomotors der Gleichraumprozeß als Vergleichsprozeß herangezogen, bei dem sowohl die Wärmeabfuhr als auch die Wärmezufuhr bei konstantem Volumen erfolgt und sowohl die Expansion als auch die Kompression einer Isentropen folgt, ergibt sich der thermische Wirkungsgrad η_{th} zu:

$$\eta_{th} = 1 - \varepsilon^{(1-\kappa)}$$

mit κ als Isentropenexponenten des Arbeitsmediums.

[0012] Der Wirkungsgrad η_{th} nimmt folglich mit zu-

nehmendem Verdichtungsverhältnis ε ebenfalls zu. D. h. im Hinblick auf einen möglichst hohen Wirkungsgrad des Verbrennungsprozesses sollte die Zylinderladung möglichst hoch verdichtet werden, was aus den oben genannten Gründen, insbesondere der Klopfneigung des Motors nahe der Vollast, nicht unbegrenzt durchführbar ist.

[0013] Ein konstruktiver Ansatz zur Auflösung dieses Konfliktes besteht nach dem Stand der Technik darin, die Brennkraftmaschine mit einem variablen Verdichtungsverhältnis E auszulegen und zwar in der Art, daß das Verdichtungsverhältnis ε mit abnehmender Last - d. h. ausgehend von der Vollast in Richtung Teillast - erhöht wird. Auf diese Weise könnte ein grundlegender, teillastspezifischer Nachteil von Ottomotoren gegenüber Dieselmotoren zumindest teilweise kompensiert werden.

[0014] Aufgrund der Tatsache, daß eine Brennkraftmaschine nahezu ausschließlich im Teillastbereich betrieben wird, birgt dies im Hinblick auf die erzielbare Kraftstoffersparnis ein hohes Potential. Eine wirkungsgradoptimierte Veränderung d.h. Anpassung des Verdichtungsverhältnisses E an den jeweiligen Betriebspunkt erlaubt auch bei Ottomotoren im Teillastbereich Verdichtungsverhältnisse $\varepsilon \approx 14 \dots 15$ und damit eine signifikante Verbrauchsreduzierung.

[0015] Figur 1 zeigt die erzielbaren Wirkungsgradpotentiale mittels einer variablen Verdichtung am Beispiel eines Saugmotors. Dabei ist der Wirkungsgrad η_{th} über der auf die Vollast bezogenen Last aufgetragen, wobei der Kurve A ein konstantes Verdichtungsverhältnis $\varepsilon = 9$ und der Kurve B ein variables Verdichtungsverhältnis zugrunde liegt. Wird die Brennkraftmaschine im Teillastbereich betrieben - beispielsweise mit 20% der Vollast - kann der Wirkungsgrad durch Anpassung des Verdichtungsverhältnisses - beispielsweise $\varepsilon \approx 14$ - um etwa 12 % erhöht werden. Hin zu hohen Lasten nimmt dieses Potential stetig ab, so daß bei einem Betrieb der Brennkraftmaschine mit 80% der Vollast mittels variabler Verdichtung nur noch Wirkungsgradverbesserungen von etwa 3% realisierbar sind.

[0016] Aus dem Stand der Technik sind mehrere Lösungsansätze zur Realisierung eines veränderbaren Verdichtungsverhältnisses ε bei einer im Betrieb befindlichen Brennkraftmaschine bekannt, von denen beispielsweise nur zwei kurz vorgestellt werden sollen.

[0017] Eine Möglichkeit, ein variables Verdichtungsverhältnis E zu realisieren, besteht darin, die Pleuelstange als zweiteilige Pleuelstange auszuführen. Dabei umfaßt die Pleuelstange ein oberes Pleuel, das mit dem Kolben gelenkig verbunden ist, und ein unteres Pleuel, das an der Kurbelwelle angelenkt ist, wobei das obere Pleuel und das untere Pleuel ebenfalls gelenkig miteinander verbunden sind, um auf diese Weise gegeneinander verschwenkt werden zu können.

[0018] Damit handelt es sich bei dieser Pleuelstange um eine Pleuelstange der gattungsbildenden Art, nämlich um eine Pleuelstange, die entlang einer gedachten

Linie L, welche die beiden Enden der Pleuelstange miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist. Die gedachte Linie L verläuft dabei einerseits durch das Lager, in dem das obere Pleuel mit dem Kolben drehbar verbunden ist, und andererseits durch das Lager, in dem das untere Pleuel auf der Kurbelwelle aufgenommen wird. Wird der Abstand dieser beiden Lager entlang ihrer Verbindungsline L als die Länge der Pleuelstange verstanden, kann diese Länge durch Verschwenken des oberen und des unteren Pleuels gegeneinander d. h. durch ein mehr oder weniger starkes Knicken der zweiteiligen Pleuelstange verändert werden.

[0019] Die Einstellung des Verdichtungsverhältnisses ε erfolgt dabei mittels einer Anlenkstange, die verschwenkbar mit dem oberen Pleuel verbunden ist und drehbar auf einer im Motorgehäuse gelagerten Exzenterwelle aufgenommen wird.

[0020] Diese mechanische Verstellvorrichtung ist auch gleichzeitig der gravierendste Nachteil des beschriebenen Lösungsansatzes zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses. Denn ein beachtlicher Teil der Verstellvorrichtung, insbesondere der Anlenkstange, nimmt an der oszillierenden und rotierenden Bewegung des Kurbeltriebes teil.

[0021] Die oszillierende Bewegung des Kolbens und der Pleuelstange - zusammen mit den Bauteilen der Verstellvorrichtung - führt zu hohen Beschleunigungen und Verzögerungen, die mit dem Quadrat der Kurbelwellendrehzahl zunehmen und entsprechend hohe dynamische Trägheitskräfte verursachen. Diese dynamischen Trägheitskräfte belasten den Kurbeltrieb erheblich und spielen bei der Auslegung der Bauteile hinsichtlich ihrer Festigkeit eine maßgebliche Rolle.

[0022] Es ist daher grundsätzlich ein Ziel der Konstrukteure, die oszillierenden Massen möglichst gering zu halten und die Bauteile materialsparend auszulegen, wobei die erforderliche Festigkeit der Bauteile dieser Vorgehensweise Grenzen setzt. Der Einsatz einer mechanischen Verstellvorrichtung, die an der oszillierenden Bewegung teilnimmt, steht damit dem Ziel, die oszillierenden Massen zu reduzieren, entgegen.

[0023] Eine weitere Möglichkeit, ein variables Verdichtungsverhältnis ε zu realisieren, besteht darin, die Pleuelstange aus mehreren Pleuelstangenstücken aufzubauen, die teleskopartig ineinander verschieblich angeordnet sind. Diese Pleuelstange ist ebenfalls eine Pleuelstange der gattungsbildenden Art. Eine Variation der Länge der Pleuelstange erfolgt durch ein Zusammenschieben oder Auseinanderziehen der Pleuelstangenstücke. Hierzu ist wiederum eine mechanische Verstellvorrichtung erforderlich, die prinzipbedingt - wie die bereits oben ausführlich beschriebene Verstellvorrichtung - mit der Pleuelstange gekoppelt sein muß, wodurch ein Teil dieser Verstellvorrichtung an der oszillierenden und rotierenden Bewegung des Kurbeltriebes teilnimmt. Die Nachteile sind die oben bereits Genannten.

[0024] Darüber hinaus führen die aus dem Stand der

Technik bekannten und in ihrer Länge veränderlichen Pleuelstangen an sich schon zu einer Zunahme der oszillierenden und rotierenden Massen gegenüber einer herkömmlichen Pleuelstange, was die beschriebenen nachteiligen Effekte noch verstärkt.

[0025] Vor diesem Hintergrund ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Pleuelstange der gattungsbildenden Art bereitzustellen, mit der die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden, und die insbesondere ein geringeres Gewicht aufweist.

[0026] Eine weitere Teilaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses E unter Verwendung einer Pleuelstange der gattungsbildenden Art aufzuzeigen.

[0027] Gelöst wird die erste Teilaufgabe durch ein Pleuelstange für eine Brennkraftmaschine zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses ε , die mit ihrem einen Ende mit einem Kolben der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist und zur Koppelung von Kolben und Pleuelstange mit ihrem anderen Ende mit der Pleuelstange der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist, wobei die Pleuelstange entlang einer gedachten Linie L , welche die beiden Enden der Pleuelstange miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist, und die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Pleuelstange einen künstlichen Muskel umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt verändert, wodurch eine Längenänderung der Pleuelstange und damit ein variables Verdichtungsverhältnis ε realisierbar ist.

[0028] Künstliche Muskeln sind Aktuatoren, welche in ihren Eigenschaften der natürlichen Muskulatur ähneln bzw. nachgebildet sind. Charakteristisch für künstliche Muskeln ist insbesondere eine im Volumen stattfindende Krafterzeugung aufgrund atomarer oder molekularer Wechselwirkungen. Häufig bestehen künstliche Muskeln - ähnlich wie natürliche Muskeln - aus einem gestaltveränderlichen, weichen Material.

[0029] Die Krafterzeugung in bekannten künstlichen Muskeln kann z. B. auf elektrostatischen Anziehungskräften, auf dem piezoelektrischen Effekt, auf einer Ultraschallerzeugung, auf einem Formgedächtnis von Materialien, auf einem Ionenaustausch, auf einer Streckung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen und/oder auf der Einlagerung von Wasserstoff in Metallhydride beruhen.

[0030] Je nach Wirkungsprinzip können künstliche Muskeln aus Polymeren, insbesondere Polymer-Gelen, aus ferroelektrischen Substanzen, aus Silizium, aus Legierungen mit einem Formgedächtnis od. dgl. hergestellt sein. Eine detaillierte Beschreibung verschiedener Arten künstlicher Muskeln ist z. B. in der EP 0 924 033 A2, der US 2002/0026794 A1, der US 6 109 852 und ähnlicher Patentliteratur zu finden. Darüber hinaus sind Beispiele künstlicher Muskeln in Publikationen der einschlägigen Forschungsinstitute beschrieben (z. B. Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart; Ab-

teilung für künstliche Intelligenz des MIT, Massachusetts, USA).

[0031] Dadurch, daß die erfindungsgemäße Pleuelstange einen künstlichen Muskel umfaßt, kann auf eine mechanische Verstellvorrichtung, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist, verzichtet werden, denn einem künstlichen Muskel ist prinzipbedingt eine Verstellvorrichtung bereits immanent. Der künstliche Muskel muß lediglich aktiviert werden, wobei eine Aktivierung schon mittels eines elektrischen Signals möglich ist, wie weiter unten noch näher ausgeführt werden wird. Mit der mechanischen Verstellvorrichtung entfallen auch die mit ihr verbundenen Nachteile, insbesondere wird eine ungewollte Erhöhung der oszillierenden und rotierenden Massen des Pleueltriebes vermieden.

[0032] Das Material, aus dem künstliche Muskeln ausgebildet sind, ist darüber hinaus von einem geringeren spezifischen Gewicht als herkömmliche Werkstoffe zur Herstellung von Pleuelstangen, so daß die unter Verwendung eines künstlichen Muskels ausgebildete erfindungsgemäße Pleuelstange sogar leichter ist als eine herkömmliche Pleuelstange. Dies reduziert die oszillierenden Massen des Pleueltriebes und die durch diese Massen verursachten dynamischen Massenkräfte weiter.

[0033] Durch die Verwendung eines künstlichen Muskels zur Ausbildung der Pleuelstange wird somit die erste der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst, nämlich eine in der Länge veränderbare Pleuelstange bereitzustellen, mit der die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden, und die insbesondere ein geringeres Gewicht aufweist.

[0034] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel bei Aktivierung expandiert und auf diese Weise die Längenänderung der Pleuelstange herbeiführt. Diese Ausführungsform gestattet die Auslegung der Pleuelstange auf Vollastbetrieb d.h. die unter Verwendung eines künstlichen Muskels ausgebildete Pleuelstange hat in ihrem deaktivierten Zustand, der auch als Ruheposition bezeichnet werden könnte, eine Länge, mit der das - hinsichtlich der Klopfgrenze - bei Vollast maximal zulässige Verdichtungsverhältnis E realisiert wird. Mit abnehmender Last wird der künstliche Muskel aktiviert, wodurch die Länge der Pleuelstange zunimmt und das Verdichtungsverhältnis E erhöht wird.

[0035] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel bei Aktivierung kontrahiert und auf diese Weise die Längenänderung der Pleuelstange herbeiführt. Im Gegensatz zu der zuvor beschriebenen Ausführungsform wird die Pleuelstange dabei auf den Teillastbetrieb d. h. auf den üblichen Betriebsbereich einer Brennkraftmaschine ausgelegt, der Verdichtungsverhältnisse von $\varepsilon \approx 14 \dots 15$ zuläßt. Mit zunehmender Last muß die Pleuelstange verkürzt werden, um das Verdichtungsverhältnis ε zu senken und Selbstzündungen im Kraftstoff-Luftgemisch zu vermeiden. Hierzu wird der in der Pleuelstange an-

geordnete künstliche Muskel aktiviert, so daß dieser kontrahiert und auf die Pleuelstange zusammenzieht.

[0036] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel bei Aktivierung seine äußere Form ändert und auf diese Weise die Längenänderung der Pleuelstange herbeiführt. Diese Ausführungsform wird noch näher im Zusammenhang mit der Beschreibung der Figuren 3a und 3b erläutert. Die Ausbildung einer entsprechenden Pleuelstange kann unter Verwendung von Formgedächtniswerkstoffen erfolgen, die bei Aktivierung beispielsweise von einer geradlinigen Form in eine gekrümmte oder geknickte Form wechseln oder umgekehrt und dadurch zu einer Längenänderung der Pleuelstange führen.

[0037] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel Kohlenstoff-Nanoröhrchen umfaßt. Derartige künstliche Muskelemente zeichnen sich durch ihre hohe Hitzebeständigkeit bis zu 1000°C aus, weshalb sie sich in außerordentlicher Weise für die Verwendung in einer Brennkraftmaschine, die hohen thermischen Belastungen ausgesetzt ist, eignen. Ferner können derartige Muskelemente durch elektrische Energie gesteuert werden (vgl. Science vom 21.05.1999), was in einfacher Weise durch die Bordbatterie erfolgen kann. Bei Aktivierung expandieren Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Aus den oben genannten Gründen eignen sie sich daher für die Auslegung der Pleuelstange auf Vollastbetrieb.

[0038] Kohlenstoff-Nanoröhrchen können in papierähnlichen Mehrschichtstrukturen gebündelt werden und erlauben eine erhebliche Krümmung der gesamten Muskelstruktur. Sie zeichnen sich ferner durch ein geringes Verhältnis von Expansion zu Kontraktion aus, was als vorteilhaft anzusehen ist.

[0039] Vorteilhaft sind aber auch Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel mindestens ein Polymergel umfaßt. Künstliche Muskeln auf der Basis von Polymer-Hydrogelen können durch elektrische Signale gesteuert werden und kontrahieren bei Aktivierung (vgl. Low, L. W.; Madou, M. J. "Microactuators towards microvalves for controlled drug delivery", Sensors and Actuators B: Chemical, 67 (1-2) (2000) pp. 149-160). Aus den oben genannten Gründen eignen sie sich daher für die Auslegung der Pleuelstange auf Vollastbetrieb.

[0040] Grundsätzlich können aber auch künstliche Muskeln zum Einsatz kommen, die sowohl eine aktive Kontraktion als auch Expansion erlauben.

[0041] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel mindestens einen Formgedächtniswerkstoff umfaßt.

[0042] Formgedächtniswerkstoffe an sich - sogenannte shape memory materials oder shape memory alloys - sind seit mehr als fünfzig Jahren bekannt. Sie besitzen die Fähigkeit ihre äußere Gestalt in Abhängigkeit von der Temperatur, von der magnetischen Feldstärke oder von dem hydraulischen Druck, dem sie ausgesetzt sind, oder dergleichen zu ändern. Unter die Formge-

dächtniswerkstoffe werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung sämtliche Werkstoffe subsumiert, die über ein Formgedächtnis verfügen, insbesondere die Formgedächtnislegierungen wie NiTi (Nitinol), Fe-Pt, Cu-Al-Ni, Fe-Pd, Fe-Ni, Cu-Zn-Al, CuAlMn, aber auch Keramiken mit Formgedächtnis, wie beispielsweise Ce-TZP-Keramik.

[0043] Beispielsweise kann eine aus einem länglichen Draht geformte Büroklammer ihre Gestalt in der Art ändern, daß die Büroklammer - in einen Topf mit heißem Wasser gelegt - mit steigender Temperatur und bei Erreichen einer sogenannten Übergangstemperatur T' in ihre ursprüngliche Form übergeht d.h. die Gestalt eines länglichen Drahtes annimmt. Sie ändert dabei ihre äußere Gestalt oder - mit anderen Worten gesagt - ihre strukturelle Konfiguration.

[0044] Ist dieser Transformationsprozeß umkehrbar, so handelt es sich bei dem Formgedächtniswerkstoff um einen sogenannten Zwei-Weg-Formgedächtniswerkstoff, andernfalls um einen Ein-Weg-Formgedächtniswerkstoff.

[0045] Folglich könnte der oben beschriebene Übergang der Büroklammer zu einem länglichen Draht bei geeigneter Auswahl eines Zwei-Weg-Formgedächtniswerkstoffes rückgängig gemacht werden. Hierzu wird die Temperatur abgesenkt, wobei der Draht sich bei Unterschreiten einer Übergangstemperatur T'' zu einer Büroklammer umformt. Die Aktivierung durch Temperaturveränderung soll nur als Beispiel verstanden werden. Für den vorliegenden Fall - einer unter Verwendung von Formgedächtniswerkstoffe hergestellten Pleuelstange - ist diese Art der Aktivierung aufgrund der hohen Temperaturen im Kurbelgehäuse eher ungeeignet.

[0046] Die Ausbildung einer erfindungsgemäßen Pleuelstange erfordert einen Zwei -Weg-Formgedächtniswerkstoff, so daß die Pleuelstange gezielt verkürzt und verlängert werden kann.

[0047] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel elektrisch steuerbar ist. Insbesondere kann dabei die vom Muskelement erzeugte mechanische Energie aus der elektrischen Energie des Signals stammen. Elektrisch gesteuerte künstliche Muskelemente haben den Vorteil, daß diese mit der üblichen Steuerungstechnik einer Brennkraftmaschine kompatibel sind.

[0048] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel stufenweise steuerbar ist, insbesondere zweistufig schaltbar ist. Eine derartige Ausbildung der Pleuelstange erleichtert die Steuerung, insbesondere wenn der künstliche Muskel gemäß einer Ein-Aus-Schaltung funktioniert d. h. lediglich von einem deaktivierten Zustand - Ruheposition - in einen aktivierten Zustand - Arbeitsposition - wechselt und umgekehrt. Komplexe Kennfelder müssen bei dieser Ausführungsform nicht generiert und bereitgestellt werden, wie dies beispielsweise bei stufenlos steuerbaren künstlichen Muskelementen bzw. Pleuelstangen erforderlich ist.

[0049] Vorteilhaft sind aber unter anderen Gesichtspunkten auch Ausführungsformen der Pleuelstange, bei denen der künstliche Muskel stufenlos steuerbar ist. Dies erlaubt eine wirkungsgradoptimierte Veränderung d. h. Anpassung des Verdichtungsverhältnisses E an den jeweiligen Betriebspunkt, wodurch das Potential eines variablen Verdichtungsverhältnisses im Teillastbereich voll ausgeschöpft werden kann, was bei einem stufenweisen Einstellen nur bedingt möglich ist.

[0050] Die zweite der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe wird durch ein Verfahren zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses ε bei einer Brennkraftmaschine gelöst, bei dem eine Pleuelstange, die mit ihrem einen Ende mit einem Kolben der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist und zur Kopplung von Kolben und Kurbelwelle mit ihrem anderen Ende mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist, in der Art ausgebildet wird, daß die Pleuelstange entlang einer gedachten Linie L , welche die beiden Enden der Pleuelstange miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, daß die Pleuelstange mit einem künstlichen Muskel versehen wird und durch eine Aktivierung des künstlichen Muskels eine Längenänderung der Pleuelstange hervorgerufen wird, wodurch das Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine verändert wird.

[0051] Das bereits für die erfindungsgemäße Pleuelstange Gesagte gilt auch für das erfindungsgemäße Verfahren.

[0052] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen als künstlicher Muskel ein Element verwendet wird, welches bei Aktivierung expandiert, so daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels die Länge der Pleuelstange entlang einer gedachten Linie L vergrößert wird, wodurch ein höheres Verdichtungsverhältnis ε der Brennkraftmaschine realisiert wird.

[0053] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der künstliche Muskel im Teillastbetrieb der Brennkraftmaschine in der Art aktiviert wird, daß mit abnehmender Last das Verdichtungsverhältnis ε der Brennkraftmaschine erhöht wird.

[0054] Dabei wird die Pleuelstange mit abnehmender Last verlängert, wodurch das Verdichtungsverhältnis ε im Teillastbereich mit dem Ziel einer Wirkungsgradverbesserung erhöht wird.

[0055] Vorteilhaft sind aber auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen als künstlicher Muskel ein Element verwendet wird, welches bei Aktivierung kontrahiert, so daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels die Länge der Pleuelstange entlang einer gedachten Linie L verkleinert wird, wodurch ein niedrigeres Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine realisiert wird.

[0056] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der künstliche Muskel in der Art aktiviert wird, daß mit zunehmender Last das Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine verringert

wird. Dabei wird die Länge der Pleuelstange mit zunehmender Last reduziert und auf diese Weise der mit zunehmender Last steigenden Klopfneigung Rechnung getragen.

[0057] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen als künstlicher Muskel ein Element verwendet wird, welches bei Aktivierung seine äußere Form ändert, so daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels die Länge der Pleuelstange entlang einer gedachten Linie L verändert wird, wodurch ein variables Verdichtungsverhältnis ε der Brennkraftmaschine realisiert wird. Dieses Verfahren eignet sich für schaltbare künstliche Muskeln bzw. Pleuelstangen, wobei die Pleuelstange vorzugsweise unter Verwendung eines Zweiweg-Formgedächtniswerkstoffes ausgebildet wird, der bei Aktivierung von einer ersten äußeren Form bzw. Gestalt in eine andere zweite äußere Form bzw. Gestalt wechselt.

[0058] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen als künstlicher Muskel Kohlenstoff-Nanoröhrchen, ein Polymergel oder ein Formgedächtniswerkstoff verwendet wird. Die Vorteile dieser Ausführungsformen wurden bereits im Zusammenhang mit der Beschreibung der erfindungsgemäße Pleuelstange näher beschrieben.

[0059] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der künstliche Muskel elektrisch aktiviert d.h. gesteuert wird. Dies erleichtert die Aktivierung des künstlichen Muskels aufgrund bereits an der Brennkraftmaschine vorhandener Systeme. Die Aktivierung kann mittels der Motorsteuerung und der Bordbatterie realisiert werden.

[0060] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der künstliche Muskel stufenweise steuerbar ist, insbesondere zweistufig schaltbar ist. Diese Verfahrensvariante gestattet einfache Steuer- bzw. Regelalgorithmen, ohne daß komplexe Kennfelder in der Motorsteuerung abgelegt werden müßten.

[0061] Vorteilhaft sind aber auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der künstliche Muskel stufenlos steuerbar ist, was die Nutzbarmachung des vollen Wirkungsgradpotentials, das sich durch ein voll variables Verdichtungsverhältnisses ε ergibt, erlaubt.

[0062] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der künstliche Muskel in der Art gesteuert wird, daß mit abnehmender Last das Verdichtungsverhältnis ε der Brennkraftmaschine erhöht wird bzw. mit zunehmender Last das Verdichtungsverhältnis ε der Brennkraftmaschine verringert wird. Diese Variante des Verfahrens trägt dem Umstand Rechnung, daß einerseits das Verdichtungsverhältnis ε im Vollastbereich durch die Klopfgrenze begrenzt wird und andererseits im Teillastbereich im Vergleich zur Vollast wesentlich höhere Verdichtungsverhältnisses ε möglich sind, ohne daß Selbstzündungen des Kraftstoff-Luftgemisches zu befürchten wären.

[0063] Im folgenden wird die Erfindung anhand von zwei Ausführungsbeispielen gemäß den Figur 1 bis 3b

näher beschrieben. Hierbei zeigt:

Fig. 1 den thermischen Wirkungsgrad η_{th} eines Saugmotors über der bezogenen Last für ein unveränderliches Verdichtungsverhältnis ε einerseits (Kurve A) und für ein variables Verdichtungsverhältnis ε andererseits (Kurve B),

Fig. 2a schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten eine erste Ausführungsform der Pleuelstange im deaktivierten Zustand im OT,

Fig. 2b schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten die in Figur 2a dargestellte Ausführungsform der Pleuelstange im aktivierten Zustand im OT,

Fig. 3a schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten eine zweite Ausführungsform der Pleuelstange im deaktivierten Zustand im OT, und

Fig. 3b schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten die in Figur 3a dargestellte Ausführungsform der Pleuelstange im aktivierten Zustand im OT.

[0064] Die Figur 1 wurde bereits in der Beschreibungseinleitung näher erläutert, weshalb an dieser Stelle nicht weiter auf das in der Figur 1 dargestellte Diagramm eingegangen werden soll.

[0065] Figur 2a zeigt schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten eine erste Ausführungsform der Pleuelstange 3 im deaktivierten Zustand, wobei der Kurbeltrieb im oberen Totpunkt (OT) dargestellt ist.

[0066] Die Pleuelstange 3 ist an ihrem einen Ende 12 mit einem kleinen Pleuelauge 8 und an ihrem anderen Ende 13 mit einem großen Pleuelauge 9 ausgestattet, wobei die Pleuelstange 3 über einen in dem kleinen Pleuelauge 8 angeordneten Kolbenbolzen 2 mit dem Kolben 7 gelenkig verbunden ist und mit dem großen Pleuelauge 9 auf einem Kurbelwellenzapfen 4 einer Kurbelwellenkröpfung 5 der Kurbelwelle 6 drehbar gelagert ist.

[0067] Der Kolben 7 des dargestellten Zylinders 1, der in einem Zylinderrohr 14 geführt wird, befindet sich im oberen Totpunkt (OT) und bildet zusammen mit dem Zylinderrohr 14 und dem Zylinderkopf die Brennkammer bzw. das Kompressionsvolumen 10.

[0068] Die Pleuelstange 3 hat im deaktivierten Zustand entlang einer gedachten Linie L, welche die beiden Enden 12, 13 - d.h. das kleine Pleuelauge 8 und das große Pleuelauge 9 - der Pleuelstange 3 miteinander verbindet, eine Länge l_1 .

[0069] Erfindungsgemäß ist die Pleuelstange 3 da-

durch gekennzeichnet, daß sie einen künstlichen Muskel 11 umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrischen Gestalt verändert.

[0070] Bei der in Figur 2b dargestellten Ausführungsform ist die Pleuelstange 3 unter Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen 11 ausgebildet worden, die in einem Abschnitt zwischen dem kleinen Pleuelauge 8 und dem großen Pleuelauge 9 angeordnet sind. Kohlenstoff-Nanoröhrchen zeichnen sich durch ihre hohe thermische Belastbarkeit aus, was sie für die Anwendung in einer Brennkraftmaschine geeignet machen. Sie können elektrisch gesteuert werden und expandieren bei Aktivierung, wie in Figur 2b zu sehen ist.

[0071] Daher eignen sich Kohlenstoff-Nanoröhrchen 11 für die Auslegung der Pleuelstange 3 auf Vollastbetrieb d.h. die unter Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen 11 ausgebildete Pleuelstange 3 hat in ihrem deaktivierten Zustand (Figur 2a) eine Länge l_1 , mit der das - hinsichtlich der Klopfgrenze - bei Vollast maximal zulässige Verdichtungsverhältnis ε_{max} realisiert wird. Mit abnehmender Last werden die Kohlenstoff-Nanoröhrchen 11 aktiviert, wodurch die Länge l_2 der Pleuelstange 3 zunimmt und das Verdichtungsverhältnis E erhöht wird (Figur 2b).

[0072] Figur 2b zeigt schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten die in Figur 2a dargestellte erste Ausführungsform der Pleuelstange 3 im aktivierten Zustand, wobei der Kurbeltrieb im oberen Totpunkt (OT) dargestellt ist.

[0073] Die Kohlenstoff-Nanoröhrchen 11 sind aktiviert und entlang der Linie L expandiert, wodurch die Länge l_2 der Pleuelstange 3 nun vergrößert ist. Dadurch ist das Kompressionsvolumen 10 bei aktiviertem künstlichen Muskel 11 kleiner und das Verdichtungsverhältnis E höher.

[0074] Im deaktivierten Zustand (Figur 2a) eignet sich die Pleuelstange 3 für den Vollastbetrieb, wohingegen der in Figur 2b dargestellte aktivierte Zustand der Kohlenstoff-Nanoröhrchen 11 hohe Verdichtungsverhältnisse E im Teillastbetrieb ermöglicht.

[0075] Ähnliche Effekte erzielt man mit künstlichen Muskeln 11, die sich bei einer Aktivierung kontrahieren und auf diese Weise eine Längenänderung der Pleuelstange 3 herbeiführen, beispielsweise mit Polymergel. Figur 2b würde dann den deaktivierten Zustand darstellen und Figur 2a den aktivierten und kontrahierten Zustand der Pleuelstange 3, also genau umgekehrt wie bei der oben ausführlich beschriebenen Ausführungsform eines bei Aktivierung expandierenden künstlichen Muskels 11.

[0076] Figur 3a zeigt schematisch in einer Seitenansicht und teilweise geschnitten eine zweite Ausführungsform der Pleuelstange 3, wobei sich die Pleuelstange 3 im deaktivierten Zustand und der Kurbeltrieb im oberen Totpunkt (OT) befindet. Figur 3b zeigt diese in Figur 3a dargestellte Ausführungsform im aktivierten Zustand.

[0077] Es sollen nur die Unterschiede zu der in den

Figuren 2a und 2b dargestellten Ausführungsform erörtert werden, weshalb im übrigen bezug genommen wird auf die Figur 2a und 2b. Für dieselben Bauteile wurden dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0078] Im Unterschied zu der in den Figuren 2a und 2b dargestellten Ausführungsform verfügt diese zweite Ausführungsform der Pleuelstange 3 über einen künstlichen Muskel 11, der unter Verwendung von Formgedächtniswerkstoffen ausgebildet wurde.

[0079] Im deaktivierten Zustand hat der künstliche Muskel 11 und damit auch die Pleuelstange 3 eine bananenförmige Gestalt und damit eine Länge l_1 (Figur3a). Hingegen streckt der künstliche Muskel 11 sich bei Aktivierung, weshalb die Pleuelstange 3 im aktivierten Zustand eine längliche Form der Länge l_2 aufweist.

[0080] Verwendet wurde ein Zwei-Weg-Formgedächtniswerkstoff, so daß der Transformationsprozeß der Pleuelstange 3 umkehrbar ist und die Pleuelstange 3 gezielt verkürzt und verlängert werden kann d. h. beliebig zwischen ihren beiden strukturellen Konfiguration mit den unterschiedlichen Pleuellängen l_1 und l_2 wechseln kann.

Bezugszeichen

[0081]

1	Zylinder
2	Kolbenbolzen
3	Pleuelstange
4	Kurbelwellenzapfen
5	Kurbelwellenkröpfung
6	Kurbelwelle
7	Kolben
8	kleines Pleuelauge
9	großes Pleuelauge
10	Kompressionsvolumen V_C
11	künstlicher Muskel
12	ein erstes Ende der Pleuelstange
13	ein zweites Ende der Pleuelstange
14	Zylinderrohr
ε	Verdichtungsverhältnis
$\varepsilon_{\max}$	maximal zulässiges Verdichtungsverhältnis
η_{th}	thermischer Wirkungsgrad
κ	Isentropenexponent des Arbeitsmediums
l_1	Länge der Pleuelstange im deaktivierten Zustand
l_2	Länge der Pleuelstange im aktivierten Zustand
L	gedachte Linie durch die beiden Enden der Pleuelstange
OT	oberer Totpunkt
s	Hub
UT	unterer Totpunkt
V_C	Kompressionsvolumen
V_H	Hubvolumen der Brennkraftmaschine
V_h	Hubvolumen eines Zylinders
$V_{Z,OT}$	Kompressionsvolumen im oberen Totpunkt

(OT)	
$V_{Z,U}$	Kompressionsvolumen im unteren Totpunkt (UT)
z	Anzahl der Zylinder

Patentansprüche

1. Pleuelstange (3) für eine Brennkraftmaschine zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses ε , die mit ihrem einen Ende (12) mit einem Kolben (7) der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist und zur Koppelung von Kolben (7) und Kurbelwelle (6) mit ihrem anderen Ende (13) mit der Kurbelwelle (6) der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist, wobei die Pleuelstange (3) entlang einer gedachten Linie L, welche die beiden Enden (12,13) der Pleuelstange (3) miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Pleuelstange (3) einen künstlichen Muskel (11) umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt verändert, wodurch eine Längenänderung der Pleuelstange (3) und damit ein variables Verdichtungsverhältnis E realisierbar ist.
2. Pleuelstange (3) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) bei Aktivierung expandiert und auf diese Weise die Längenänderung der Pleuelstange (3) herbeiführt.
3. Pleuelstange (3) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) bei Aktivierung kontrahiert und auf diese Weise die Längenänderung der Pleuelstange (3) herbeiführt.
4. Pleuelstange (3) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) bei Aktivierung seine äußere Form ändert und auf diese Weise die Längenänderung der Pleuelstange (3) herbeiführt.
5. Pleuelstange (3) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) Kohlenstoff-Nanoröhrchen umfaßt.
6. Pleuelstange (3) nach Anspruch 1 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) mindestens ein Polymergel umfaßt.
7. Pleuelstange (3) nach Anspruch 1 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) mindestens einen Formgedächtniswerkstoff umfaßt.

8. Pleuelstange (3) nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) elektrisch steuerbar ist.
9. Pleuelstange (3) nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) stufenweise steuerbar ist.
10. Pleuelstange (3) nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) zweistufig schaltbar ist.
11. Pleuelstange (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) stufenlos steuerbar ist.
12. Verfahren zur Realisierung eines variablen Verdichtungsverhältnisses ε bei einer Brennkraftmaschine, bei dem eine Pleuelstange (3), die mit ihrem einen Ende (12) mit einem Kolben der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist und zur Koppelung von Kolben und Kurbelwelle (6) mit ihrem anderen Ende (13) mit der Kurbelwelle (6) der Brennkraftmaschine gelenkig verbindbar ist, in der Art ausgebildet wird, daß die Pleuelstange (3) entlang einer gedachten Linie L, welche die beiden Enden (12,13) der Pleuelstange (3) miteinander verbindet, in der Länge veränderbar ist,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Pleuelstange (3) mit einem künstlichen Muskel (11) versehen wird und durch eine Aktivierung des künstlichen Muskels (11) eine Längenänderung der Pleuelstange (3) hervorgerufen wird, wodurch das Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine verändert wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
als künstlicher Muskel (11) ein Element verwendet wird, welches bei Aktivierung expandiert, so daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels (11) die Länge der Pleuelstange (3) entlang einer gedachten Linie L vergrößert wird, wodurch ein höheres Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine realisiert wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) im Teillastbetrieb der Brennkraftmaschine in der Art aktiviert wird, daß mit abnehmender Last das Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine erhöht wird.
15. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
als künstlicher Muskel (11) ein Element verwendet wird, welches bei Aktivierung kontrahiert, so daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels (11) die Länge der Pleuelstange (3) entlang einer gedachten Linie L verkleinert wird, wodurch ein niedrigeres Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine realisiert wird.
16. Verfahren nach Anspruch 12 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) in der Art aktiviert wird, daß mit zunehmender Last das Verdichtungsverhältnis E der Brennkraftmaschine verringert wird.
17. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
als künstlicher Muskel (11) ein Element verwendet wird, welches bei Aktivierung seine äußere Form ändert, so daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels (11) die Länge der Pleuelstange (3) entlang einer gedachten Linie L verändert wird, wodurch ein variables Verdichtungsverhältnis ε der Brennkraftmaschine realisiert wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, daß
als künstlicher Muskel (11) Kohlenstoff-Nanoröhrchen verwendet werden.
19. Verfahren nach Anspruch 12, 15 oder 16,
dadurch gekennzeichnet, daß
als künstlicher Muskel (11) ein Polymergel verwendet wird.
20. Verfahren nach Anspruch 12 oder 17,
dadurch gekennzeichnet, daß
als künstlicher Muskel (11) ein Formgedächtniswerkstoff verwendet wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 20,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) elektrisch aktiviert d.h. gesteuert wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) stufenweise steuerbar ist.
23. Verfahren nach Anspruch 22,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) zweistufig schaltbar ist.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21,
dadurch gekennzeichnet, daß
der künstliche Muskel (11) stufenlos steuerbar ist.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 24,

dadurch gekennzeichnet, daß

der künstliche Muskel (11) in der Art gesteuert wird,
daß mit abnehmender Last das Verdichtungsver-
hältnis ϵ der Brennkraftmaschine erhöht wird bzw.
mit zunehmender Last das Verdichtungsverhältnis ϵ 5
der Brennkraftmaschine verringert wird.

10

15

20

25

30

35

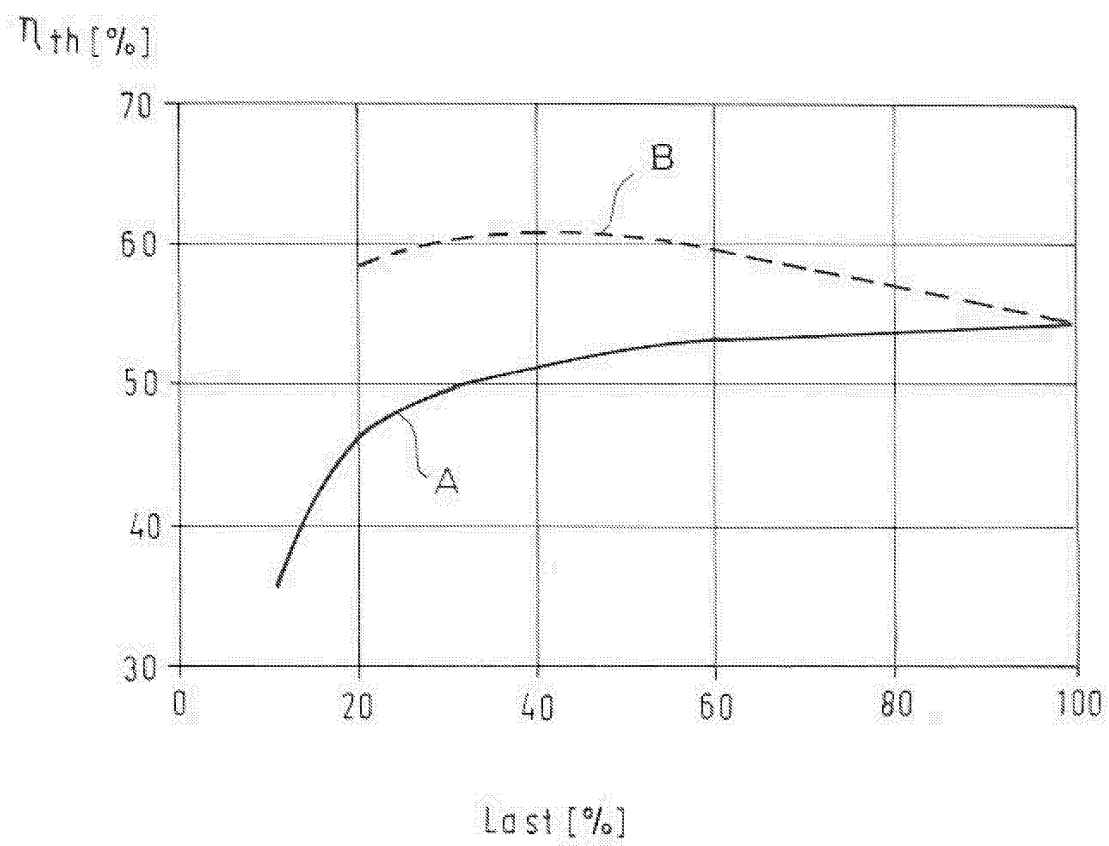
40

45

50

55

Fig.1



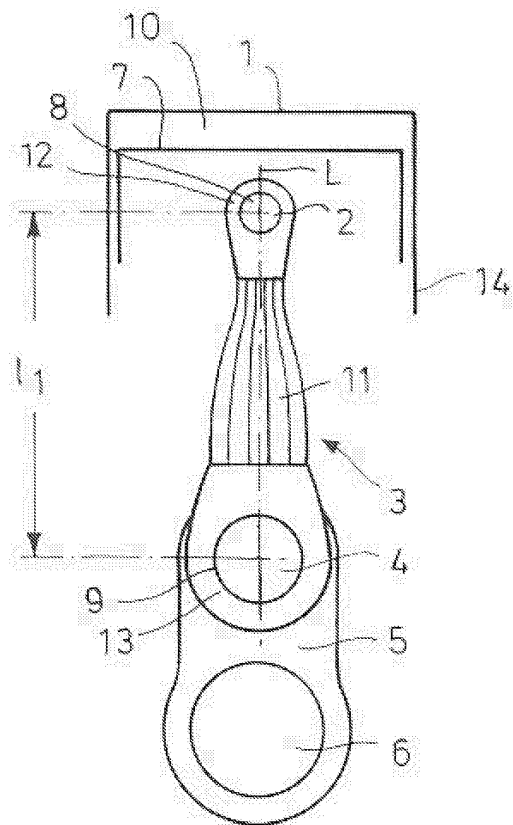


Fig. 2a

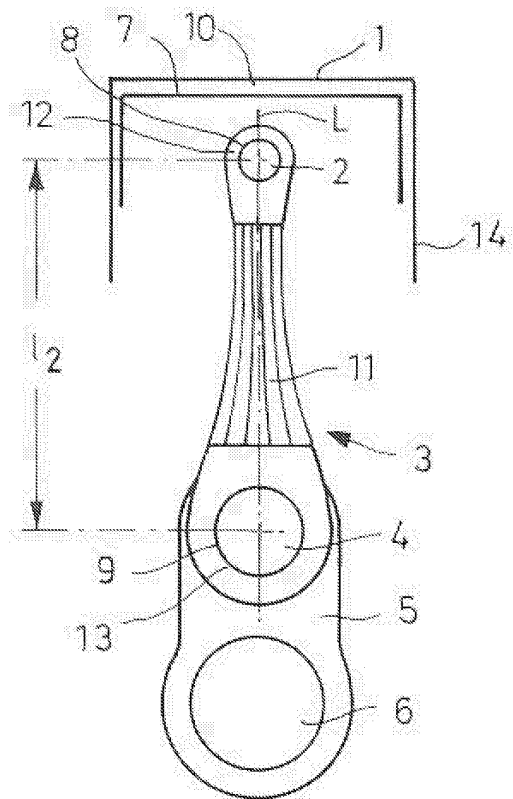


Fig. 2b

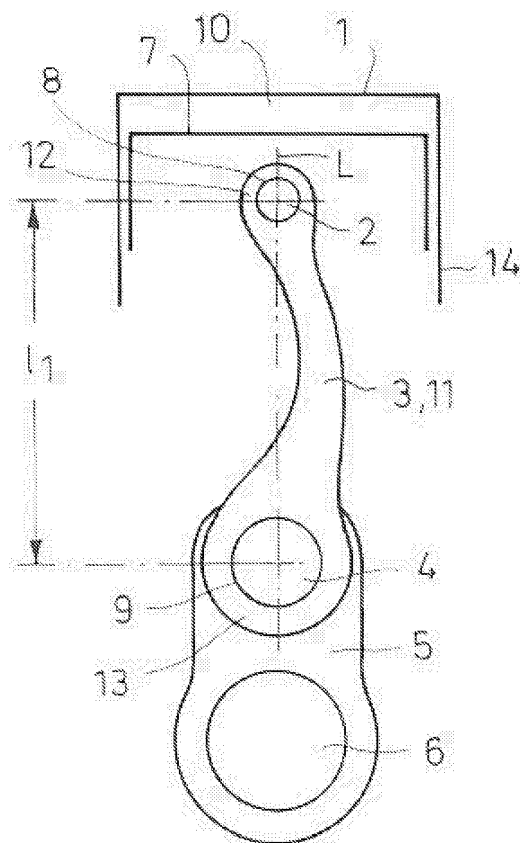


Fig. 3a

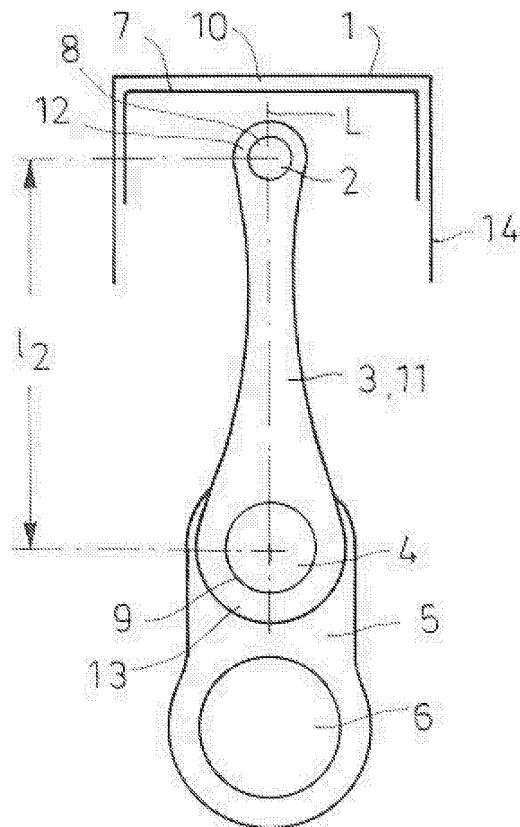


Fig. 3b



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 10 2913

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	US 6 499 446 B1 (IMAI YASH ANDREW ET AL) 31. Dezember 2002 (2002-12-31) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1,7 * * Spalte 5, Zeile 41 - Zeile 50 * -----	1,12	F16C7/06 F02B75/04
A	US 2003/209219 A1 (KLOMP EDWARD DANIEL ET AL) 13. November 2003 (2003-11-13) * Zusammenfassung * * Abbildung 2 * * Absatz [0007] * * Absatz [0008] *	1,12	
A	DE 102 11 971 A (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG) 2. Oktober 2003 (2003-10-02) * Abbildung 1 * * Absatz [0002] *	1,12	
A	EP 1 411 211 A (FORD GLOBAL TECH INC) 21. April 2004 (2004-04-21) * Zusammenfassung * * Absatz [0008] * * Absatz [0011] *	2-11, 13-24	
A	DE 100 17 104 A (TECH UNI ILMENAU ABTEILUNG FOR) 11. Oktober 2001 (2001-10-11) * Absatz [0020] *	2-4, 15-17	
A	EP 0 705 859 A (TONG YANG NYLON CO LTD) 10. April 1996 (1996-04-10) * Zusammenfassung * * Seite 1, Zeile 12 - Zeile 22 * -----	6,7,19, 20	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Berlin		Abschlußdatum der Recherche 17. November 2004	Prüfer Schaeffler, C
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 10 2913

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-11-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6499446 B1	31-12-2002	DE 10151518 A1	01-08-2002
US 2003209219 A1	13-11-2003	KEINE	
DE 10211971 A	02-10-2003	DE 10211971 A1	02-10-2003
EP 1411211 A	21-04-2004	EP 1411211 A1	21-04-2004
		JP 2004138070 A	13-05-2004
		US 2004118366 A1	24-06-2004
DE 10017104 A	11-10-2001	DE 10017104 A1	11-10-2001
EP 0705859 A	10-04-1996	US 5442037 A	15-08-1995
		EP 0705859 A1	10-04-1996
		DE 69426882 D1	19-04-2001
		DE 69426882 T2	04-10-2001

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82