

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 650 411 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2006 Patentblatt 2006/17

(51) Int Cl.:
F01L 1/34^(2006.01) F15B 15/10^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04105143.4**

(22) Anmeldetag: **19.10.2004**

(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

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

(72) Erfinder:
• **Figura, Michael Georg
41542 Dormagen (DE)**
• **Kluge, Torsten Dr.
51491 Overath (DE)**

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

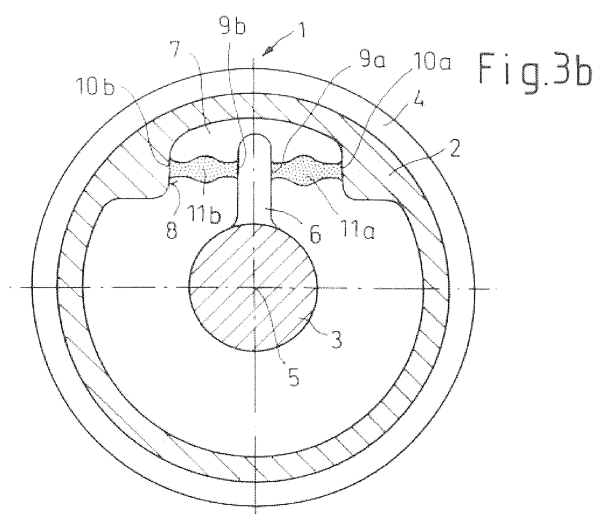
(54) **Nockenwellenversteller und Verfahren zur Veränderung der Nockenwellenphase mittels einem künstlichen Muskel**

(57) Die Erfindung betrifft einen Nockenwellenversteller (1) - zum Verdrehen einer Nockenwelle d. h. zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle zwecks Verstellung der Steuerzeiten einer Brennkraftmaschine - mit einem außenliegenden Gehäuseelement (2) und mit einem innenliegenden, zumindest teilweise in dem Gehäuseelement (2) angeordnetem Verstellerwellenelement (3), wobei das Gehäuseelement (2) mittels eines Antriebes mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und das Verstellerwellenelement (3) mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und Gehäuseelement (2) und Verstellerwellenelement (3) gegeneinander verdrehbar sind.

Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Veränderung der Steuerzeiten der Ventile einer Brennkraftmaschine unter Verwendung eines derartigen Nockenwellenverstellers (1).

Es soll ein Nockenwellenversteller (1) bereitgestellt werden, mit dem die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden und der insbesondere kostengünstiger ist, einen geringeren Raumbedarf und ein niedrigeres Eigengewicht aufweist als herkömmliche Verstellvorrichtungen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch einen Nockenwellenverstellers (1) der gattungsbildenden Art, der dadurch gekennzeichnet ist, daß er mindestens einen künstlichen Muskel (11a, 11b) umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt in der Art verändert, daß eine Verdrehung des Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) und somit eine Veränderung der Nockenwellenlage gegenüber der Kurbelwelle realisierbar ist.



EP 1 650 411 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Nockenwellenversteller zum Verdrehen einer Nockenwelle d. h. zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle zwecks Verstellung der Steuerzeiten einer Brennkraftmaschine mit einem außenliegenden Gehäuseelement und mit einem innenliegenden, zumindest teilweise in dem Gehäuseelement angeordnetem Verstellwellenelement, wobei das Gehäuseelement mittels eines Antriebes mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und das Verstellwellenelement mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und Gehäuseelement und Verstellwellenelement gegeneinander verdrehbar sind.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle zwecks Verstellung der Steuerzeiten der Ventile einer Brennkraftmaschine unter Verwendung eines derartigen Nockenwellenverstellers.

[0003] Nockenwellenversteller der oben genannten Art sind erforderlich, um eine Nockenwellenverstellung vornehmen zu können, mit der auf die Steuerzeiten der Steuerorgane eines Ventiltriebes einer Brennkraftmaschine Einfluß genommen werden kann. Dabei wird die Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle durch Verdrehen der Nockenwelle verändert. Die Variation der Steuerzeiten ist ein Lösungsansatz zur Verminderung des Kraftstoffverbrauches.

[0004] Aufgrund der begrenzten Ressourcen an fossilen Energieträgern, insbesondere aufgrund der begrenzten Vorkommen an Mineralöl als Rohstoff für die Gewinnung von Brennstoffen für den Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen, ist man bei der Entwicklung von Verbrennungsmotoren ständig bemüht, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren.

[0005] Problematisch ist der Kraftstoffverbrauch und damit der Wirkungsgrad insbesondere bei Ottomotoren. Der Grund hierfür liegt im prinzipiellen Arbeitsverfahren des Ottomotors. Der Ottomotor arbeitet mit einem homogenen Brennstoff-Luftgemisch, das - sofern keine Direkteinspritzung vorliegt - durch äußere Gemischbildung aufbereitet wird, indem in die angesaugte Luft im Ansaugtrakt Kraftstoff eingebracht wird. Die Einstellung der gewünschten Leistung erfolgt durch Veränderung der Füllung des Brennraumes, so daß dem Arbeitsverfahren des Ottomotors - anders als beim Dieselmotor - eine Quantitätsregelung zugrunde liegt.

[0006] Diese Laststeuerung erfolgt in der Regel mittels einer im Ansaugtrakt vorgesehenen Drosselklappe. Durch Verstellen der Drosselklappe kann der Druck der angesaugten Luft hinter der Drosselklappe mehr oder weniger stark reduziert werden. Bei konstantem Brennraumvolumen kann auf diese Weise über den Druck der angesaugten Luft die Luftmasse d.h. die Quantität eingestellt werden. Die Quantitätsregelung mittels Drosselklappe hat aufgrund der Druckabsenkung und der damit verbundenen Drosselverluste thermodynamische Nach-

teile.

[0007] Ein Lösungsansatz zur Entdrosselung nach dem Stand der Technik besteht in der Verwendung eines variablen Ventiltriebs. Im Gegensatz zu konventionellen Ventiltrieben, bei denen sowohl der Hub der Ventile als auch die Steuerzeiten, d. h. die Öffnungs- und Schließzeiten der Einlaß- und Auslaßventile, bedingt durch die nicht flexible, da nicht verstellbare Mechanik des Ventiltriebes als unveränderliche Größen vorgegeben sind, können diese den Verbrennungsprozeß und damit den Kraftstoffverbrauch beeinflussenden Parameter mittels variabler Ventiltriebe mehr oder weniger stark variiert werden. Die ideale Lösung wäre eine voll variable Ventilsteuerung, die für jeden beliebigen Betriebspunkt des Ottomotors speziell abgestimmte Werte für den Hub und die Steuerzeiten zuläßt.

[0008] Spürbare Kraftstoffeinsparungen können aber auch mit nur teilweise variablen Ventiltrieben erzielt werden, bei denen beispielsweise die Schließzeit des Einlaßventils verstellbar ist. Eine Variation der Schließzeit des Einlaßventils kann dabei mittels eines Nockenwellenverstellers der oben genannten Art erzielt werden, wobei aufgrund der unveränderbaren Nockenkontur eine Verschiebung der Steuerzeit "Einlaß schließt" (ES) immer auch gleichzeitig eine gleichgroße Verschiebung der Steuerzeit "Einlaß öffnet" (EO) zur Folge hat und umgekehrt. Des weiteren muß berücksichtigt werden, daß prinzipbedingt immer sämtliche Nocken einer Nockenwelle verdreht werden.

[0009] Die Verwendung eines Nockenwellenverstellers zur Realisierung variabler Steuerzeiten ist nicht nur im Hinblick auf die bereits beschriebene Entdrosselung der Brennkraftmaschine und eine damit verbundene Verbrauchsoptimierung der Brennkraftmaschine vorteilhaft, sondern auch im Hinblick auf die Problematik, die sich aus einer starren Steuerzeit einerseits und einer variablen Drehzahl andererseits ergibt, da hier immer ein Kompromiß gefunden werden muß, der dem gesamten Drehzahlbereich Rechnung trägt.

[0010] So beeinflusst die Steuerzeit, zu der das Einlaßventil schließt, die Füllung des Brennraums und damit die Drehmomentcharakteristik der Brennkraftmaschine. Bei niedrigen Drehzahlen ist es vorteilhaft, das Einlaßventil früh zu schließen, was jedoch bei hohen Drehzahlen, insbesondere bei der Nenndrehzahl, zu ungewollten Füllungsverlusten führt. Daher wird bei hohen Drehzahlen bevorzugt, das Einlaßventil spät zu schließen, um in diesem Drehzahlbereich eine gute Füllung des Brennraums sicherzustellen. Ein spätes Schließen des Einlaßventils führt aber durch teilweises Ausschleiben der frisch angesaugten Zylinderladung zu Füllungsverlusten bei niedrigen Drehzahlen. Eine feste Steuerzeit bildet daher immer einen Kompromiß zwischen den beiden oben beschriebenen, kollidierenden Szenarien. Ideal ist es, wenn die Steuerzeit, zu der das Einlaßventil schließt, variabel steuerbar ist, was mittels eines Nockenwellenverstellers realisiert werden kann. Bei niedrigen Drehzahlen könnte dann das Einlaßventil früh, bei

hohen Drehzahlen spät geschlossen werden, wozu die Nockenwelle mittels Nockenwellenversteller nur gegenüber der Kurbelwelle in geeigneter Weise verdreht zu werden braucht.

[0011] Ein weiterer Anwendungsfall für einen Nockenwellenversteller zur Realisierung einer variablen Ventilsteuerung ist die Variation der sogenannten Ventilüberschneidung d. h. die Verkleinerung bzw. Vergrößerung des Kurbelwinkelfensters, in dem das Auslaßventil bei geöffnetem Einlaßventil noch nicht geschlossen ist. Im Bereich dieser Ventilüberschneidung kann es zu Spülverlusten kommen, wobei ein Teil des angesaugten Gemisches durch den Brennraum strömt ohne an der Verbrennung teilzunehmen. Dies führt einerseits zu schlechteren Wirkungsgraden, aber andererseits zu einer größeren Zylinderfüllung und damit zu einer höheren Leistung. Bei niedrigen Drehzahlen wird eine kleinere und bei größeren Drehzahlen eine größere Ventilüberschneidung angestrebt. Ein Nockenwellenversteller ermöglicht eine Variation der Ventilüberschneidung in Abhängigkeit von der Drehzahl.

[0012] Die Verwendung eines Nockenwellenverstellers, mit welchem die Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle um einen gewissen Winkel verdreht wird, bietet somit zahlreiche Möglichkeiten, Einfluß auf die Steuerzeiten der Ventile und damit Einfluß auf den Verbrennungsprozeß zu nehmen, wobei die Steuerzeiten nach früh oder spät verschoben werden.

[0013] Derartige Nockenwellenversteller bzw. Verstellvorrichtungen werden hydraulisch, mechanisch oder elektrisch betätigt bzw. gesteuert. Bei einer hydraulischen Steuerung werden eine oder mehrere Druckkammern mit Hydrauliköl gezielt beaufschlagt oder aber entlastet.

[0014] Eine derartige Verstellvorrichtung 100 wird in der deutschen Offenlegungsschrift DE 198 50 947 A1 beschrieben und ist in Figur 1 wiedergegeben.

[0015] Wie Figur 1 zu entnehmen ist, ist ein Riemenrad 110 mit einem Gehäusedeckel 112 sowie einem ersten Zwischenelement 114 drehfest verbunden. Das Zwischenelement 114 weist radial innenliegend eine Verzahnung 116 auf, die eine an einer axial verschieblich gelagerten Kolbeneinrichtung 118 angeordnete Gegenverzahnung 120 kämmt. Die Kolbeneinrichtung 118 weist eine zweite Verzahnung 122 auf, die in eine an einem zweiten Zwischenelement 124 angeordnete zweite Gegenverzahnung 126 eingreift. Wenigstens ein Zahnradpaar 116, 120 bzw. 122, 126 ist schrägverzahnt. Das zweite Zwischenelement 124 steht drehfest mit der Nockenwelle 128 in Verbindung, so daß bei einer axialen Verschiebung der Kolbeneinrichtung 118 eine Verdrehung der Nockenwelle 128 gegenüber dem Riemenrad 110 und damit gegenüber der Kurbelwelle erfolgt.

[0016] Damit offenbart die DE 198 50 947 A1 einen Nockenwellenversteller der gattungsbildenden Art d.h. einen Nockenwellenversteller gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0017] Zur Verschiebung der Kolbeneinrichtung 118

sind zwei Verstellkammern 132, 134 vorgesehen, wobei die Kolbeneinrichtung 118 die beiden Verstellkammern 132, 134 voneinander trennt. Diese Kammern 132, 134 werden zur axialen Verschiebung mit Drucköl über die Leitungen 136, 138 beaufschlagt d. h. gesteuert.

[0018] Ein derartiger Nockenwellenversteller ist nicht nur sehr komplex und kostenintensiv, sondern weist auch einen verhältnismäßig hohen Raumbedarf auf. Ein hoher Raumbedarf steht aber dem grundsätzlichen Ziel der Konstrukteure, im Motorraum des Kraftfahrzeuges ein möglichst effektives d. h. dichtes Packaging der gesamten Antriebseinheit zu realisieren, entgegen. Zudem weist der Versteller ein hohes Eigengewicht auf.

[0019] Nachteilig an der in der DE 198 50 947 A1 beschriebenen Verstellvorrichtung ist zudem die hydraulische Steuerung bzw. Betätigung, bei der gezielt Druckkammern mit Drucköl beaufschlagt werden, wozu eine Druckölversorgung vorgesehen werden muß.

[0020] Grundsätzlich muß eine Verstellung der Nockenwelle unter allen auftretenden Betriebsbedingungen mit einer hinreichenden Genauigkeit und einer hohen Verstellgeschwindigkeit realisiert werden können. Dies kann aber unter Betriebsbedingungen, die sich durch hohe Öltemperaturen oder niedrige Motorlasten auszeichnen, nicht immer gewährleistet werden, weil in diesen Betriebspunkten der Druck im Ölkreislauf der Brennkraftmaschine und damit in der Druckölversorgung der Verstellvorrichtung sinkt und gegebenenfalls zu niedrig ist, um hohe Verstellgeschwindigkeiten und ausreichende Verstellgenauigkeiten zu erzielen.

[0021] Begründet ist dies insbesondere durch den Umstand, daß die Nockenwelle durch das Zusammenwirken ihrer Nocken mit den Ventiltrieben der Brennkraftmaschine ein dynamisch belastetes Bauteil ist. So wird die Nockenwelle über ihre Nocken mit einem zusätzlichen Drehmoment belastet, wenn diese Nocken auf Stößel eines Ventiltriebes auflaufen und im Ventiltrieb vorgesehene Rückstellfedern komprimieren. Dieses Drehmoment wirkt der eigentlichen Nockenwellendrehung entgegen.

[0022] Hingegen wird nach Erreichen des maximalen Ventilhubes die in den Rückstellfedern gespeicherte Energie während der Expansionsphase der Federn wieder an die Nocken abgegeben. Dabei werden die Nocken mit einem Drehmoment belastet, das die eigentliche Nockenwellendrehung unterstützt, d. h. die Nockenwelle und das auf sie vom Ventiltrieb ausgeübte Drehmoment sind in der Schließphase des Ventils gleichgerichtet.

[0023] Die mit einer hydraulischen Verstellvorrichtung ausgestattete Nockenwelle stützt sich mittelbar über das in der Verstellvorrichtung befindliche Öl ab, weshalb das vom Ventiltrieb auf die Nockenwelle ausgeübte, dynamische Drehmoment zu Druckschwankungen des Hydrauliköls in der Verstellvorrichtung und den Zuleitungen führt.

[0024] Diese Druckschwankungen wiederum beeinflussen die Verstellgeschwindigkeit und die Verstellgenauigkeit, insbesondere unter Betriebsbedingungen mit niedriger Motorlast oder hoher Öltemperatur, bei denen

der Öldruck im System prinzipbedingt ein niedriges Niveau hat, was die Sensibilität gegenüber Druckschwankungen erhöht. So wird bei einem auflaufenden Nocken durch das vom Ventiltrieb auf den Nocken ausgeübte Drehmoment der Öldruck im System erhöht und das Öl im denkbar ungünstigsten Szenario sogar in die Druckölversorgung zurückgedrückt. Um dies zu verhindern, wird nach dem Stand der Technik vorgeschlagen, in der Druckölauführung ein Ventil vorzusehen.

[0025] Die am Beispiel eines hydraulischen Nockenwellenverstellers gemachten Ausführungen sollen zeigen, daß ein Nockenwellenversteller und die für seine Betätigung vorzusehende Steuerung grundsätzlich sehr komplexe und kostenintensive Bauteile sind. Die angesprochenen technischen Anforderungen gelten auch für andere - mechanisch oder elektrisch betätigte - Verstellvorrichtungen. Insbesondere wird eine große Verstellgeschwindigkeit und eine hohe Verstellgenauigkeit angestrebt, wobei der Nockenwellenversteller möglichst kostengünstig, klein und leicht sein sollte.

[0026] Vor diesem Hintergrund ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Nockenwellenversteller der gattungsbildenden Art bereitzustellen, mit dem die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden und der insbesondere kostengünstiger ist, einen geringeren Raumbedarf und ein niedrigeres Eigengewicht aufweist als herkömmliche Verstellvorrichtungen.

[0027] Eine weitere Teilaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle unter Verwendung eines derartigen Nockenwellenverstellers aufzuzeigen.

[0028] Gelöst wird diese Aufgabe durch einen Nockenwellenversteller zum Verdrehen einer Nockenwelle d. h. zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle zwecks Verstellung der Steuerzeiten einer Brennkraftmaschine mit einem außenliegenden Gehäuseelement und mit einem innenliegenden, zumindest teilweise in dem Gehäuseelement angeordnetem Verstellerwellenelement, wobei das Gehäuseelement mittels eines Antriebes mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und das Verstellerwellenelement mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und Gehäuseelement und Verstellerwellenelement gegeneinander verdrehbar sind, und der dadurch gekennzeichnet ist, daß der Nockenwellenversteller mindestens einen künstlichen Muskel umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt in der Art verändert, daß eine Verdrehung des Verstellerwellenelements gegenüber dem Gehäuseelement und somit eine Veränderung der Nockenwellenlage gegenüber der Kurbelwelle realisierbar ist.

[0029] 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.

[0030] 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.

[0031] Je nach Wirkungsprinzip können künstliche Muskeln aus Polymeren, insbesondere Polymer-Gelen, aus ferroelektrischen Substanzen, aus Silizium, aus Legierungen mit einem Formgedächtnis oder dergleichen 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; Abteilung für künstliche Intelligenz des MIT, Massachusetts, USA).

[0032] Durch die Verwendung mindestens eines künstlichen Muskels kann eine komplexe mechanische bzw. hydraulische Verstellvorrichtung bzw. Betätigungsvorrichtung, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist, durch den erfindungsgemäßen Nockenwellenversteller, der wesentlich leichter, kleiner und einfacher im Aufbau und in der Betätigung ist, ersetzt werden. Ein künstlicher Muskel, der über die Fähigkeit verfügt, seine geometrische Gestalt infolge Aktivierung zu ändern, bildet für sich alleine genommen bereits eine Verstellvorrichtung. Einem künstlichen Muskel ist eine Verstellvorrichtung gewissermaßen immanent. Zur Veränderung der Lage der Nockenwelle muß der künstliche Muskel lediglich aktiviert werden, wobei eine Aktivierung schon mittels eines elektrischen Signals möglich ist, wie weiter unten noch näher ausgeführt werden wird.

[0033] Erfindungsgemäß verfügt der vorgeschlagene Nockenwellenversteller über mindestens einen künstlichen Muskel. Dabei sind das Gehäuseelement und das Verstellerwellenelement mittels dieses mindestens einen künstlichen Muskels in der Art gekoppelt, daß bei Aktivierung des künstlichen Muskels nicht nur der Muskel seine geometrische Gestalt verändert, sondern eine Verdrehung des Verstellerwellenelements gegenüber dem Gehäuseelement realisiert wird.

[0034] Die Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle wird durch die Veränderung der geometrischen Gestalt des künstlichen Muskels hervorgerufen bzw. erzielt.

[0035] Die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile entfallen bei Verwendung des erfindungsgemäßen Nockenwellenverstellers. Das Material, aus dem die künstlichen Muskeln ausgebildet sind, ist von einem geringeren spezifischen Gewicht als herkömmliche Werkstoffe zur Herstellung von Nockenwellenverstel-

lern, so daß der unter Verwendung eines künstlichen Muskels ausgebildete erfindungsgemäße Nockenwellenversteller leichter ist als eine herkömmliche Verstellvorrichtung. Dies reduziert die Massen des Nockenwellen- bzw. Ventiltriebes und die durch die Verdrehung der Verstellerelemente verursachten dynamischen Massenkraften.

[0036] Die Anzahl der Bauteile kann durch den Einsatz künstlicher Muskeln ebenfalls reduziert werden. So weist der erfindungsgemäße Versteller im Vergleich zu der in der DE 198 50 947 A1 beschriebenen Verstellvorrichtung wesentlich weniger Bauteile auf, was nicht nur die Herstellungskosten senkt, sondern das Eigengewicht weiter reduziert und zu einem verhältnismäßig kleinen Bauteilvolumen führt, wodurch ein möglichst effektives Packaging unterstützt wird.

[0037] Durch die Verwendung eines künstlichen Muskels zur Ausbildung der Nockenwellenverstellers wird somit die erste der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst, nämlich einen Nockenwellenversteller bereitzustellen, mit dem die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden, und der insbesondere kostengünstiger ist, einen geringeren Raumbedarf und ein niedrigeres Eigengewicht aufweist als herkömmliche Verstellvorrichtungen.

[0038] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen werden im Zusammenhang mit den Unteransprüchen erörtert.

[0039] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen an dem Gehäuseelement ein Antriebsrad vorgesehen ist. Das Gehäuseelement wird mittels dieses Antriebsrades und eines mit dem Antriebsrad in Eingriff befindlichen Antriebsmittels von der Kurbelwelle in Drehung versetzt. Das Verstellwellenelement wird wiederum vom Gehäuseelement, mit dem es über den künstlichen Muskel gekoppelt ist, mitgenommen und versetzt dadurch die Nockenwelle in Drehung.

[0040] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Antriebsrad ein Riemenrad ist und das Gehäuseelement mittels eines Riemens mit der Kurbelwelle verbunden ist.

[0041] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Antriebsrad ein Kettenrad ist und das Gehäuseelement mittels einer Kette mit der Kurbelwelle verbunden ist.

[0042] Für den Antrieb der Nockenwelle werden vorzugsweise Riemenantriebe oder Kettenantriebe verwendet, die neben einer Vielzahl von Zahnrädern auch einen Riemen oder eine Kette als Antriebsmittel aufweisen. Diese Antriebe gestatten es, den Antrieb mehrerer Nebenaggregate in einem Riemen- bzw. Kettenantrieb zusammenzufassen. Der Riemenantrieb bzw. Kettenantrieb soll dabei unter möglichst geringen Energieverlusten und mit möglichst wenig Wartungsaufwand durch Nachspannen ein großes Drehmoment von der Kurbelwelle auf die Nockenwelle übertragen.

[0043] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Verstellwellenelement mit dem Gehäuseelement mittels des mindestens einen künstlichen Muskels in der Art verbunden ist, daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels eine Verdrehung des Verstellwellenelements gegenüber dem Gehäuseelement realisierbar ist. Bei dieser Ausführungsform bildet der künstliche Muskel ein eigenständiges Bauteil, das das Verstellwellenelement mit dem Gehäuseelement verbindet und gegeneinander verdreht, wenn es infolge seiner Aktivierung - im Rahmen eines Transformationsprozesses - die äußere Gestalt verändert.

[0044] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Verstellwellenelement einen radial nach außen hervorstehenden Ausleger aufweist, an den der mindestens eine künstliche Muskel mit einem Ende angelenkt ist, wobei das andere Ende des mindestens einen künstlichen Muskels am Gehäuseelement angelenkt ist.

[0045] Der nach außen hervorstehende Ausleger stellt einen Hebel dar, der gleich mehrere Vorteile mit sich bringt. Zum einen sorgt das Hebelverhältnis dafür, daß bereits verhältnismäßig kleine, im künstlichen Muskel generierte Kräfte ausreichen, um das für die Verdrehung der Nockenwelle erforderliche Drehmoment zu erzeugen. Zum anderen wird mit dem Ausleger erreicht, daß der künstliche Muskel weiter beabstandet zur Drehachse angeordnet werden kann, was vorteilhaft ist, da der Anlenkpunkt bei der Aktivierung bzw. Deaktivierung des künstlichen Muskels eine Kreisbahn um die Drehachse beschreibt und mit größer werdendem Radius die Bewegung des Anlenkpunktes zunehmend einer translatorischen Bewegung ähnelt bzw. näher kommt. Der Ausleger unterstützt zudem die Verwendung von künstlichen Muskeln, die bei Aktivierung bzw. Deaktivierung expandieren oder kontrahieren bzw. ihre äußere Gestalt in anderer Weise im wesentlichen entlang einer Geraden ändern. Schließlich sorgt der Ausleger auch für eine günstige Krafteinleitung in den Muskel und die durch den Muskel miteinander verbundenen Bauteile. Diese bevorzugte Ausführungsform wird weiter unten noch in Zusammenhang mit der Figurenbeschreibung näher erläutert.

[0046] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Gehäuseelement eine nach innen offene Ausnehmung aufweist, in die der mindestens eine künstliche Muskel mit dem anderen Ende angelenkt ist.

[0047] Die Ausnehmung gestattet einerseits verhältnismäßig große Hebelverhältnisse bzw. lange Ausleger bei einem vergleichsweise geringen Bauteilvolumen, da die Länge des Auslegers erhöht werden kann, ohne daß der Durchmesser des Gehäuseelementes vergrößert zu werden braucht. Andererseits ermöglicht sie eine vorteilhafte Befestigung bzw. Anlenkung des anderen Endes des mindestens einen künstlichen Muskels, der zwischen Ausleger und Seitenwandung der Ausnehmung aufgespannt bzw. angeordnet werden kann.

[0048] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Gehäuseelement eine nach außen offene Ausnehmung aufweist, in die der mindestens eine künstliche Muskel mit dem anderen Ende angelenkt ist.

[0049] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen das Gehäuseelement eine nach innen offene Ausnehmung aufweist, in die der mindestens eine künstliche Muskel mit dem anderen Ende angelenkt ist.

[0048] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen zwei künstliche Muskeln vorgesehen sind, die auf gegenüberliegenden Seiten des Auslegers mit einem Ende angelenkt sind und jeweils mit dem anderen Ende in der Ausnehmung angelenkt sind. Diese Ausführungsform verwendet zwei künstliche Muskeln, die sich gegenseitig verstärken und mit denen folglich größere Verstellkräfte bzw. -momente generiert werden können. Als Muskelpaar kann dann ein Muskel eingesetzt werden, der bei Aktivierung expandiert, und ein Muskel, der bei Aktivierung kontrahiert, so daß bei der Aktivierung beider Muskeln ein Muskel an dem Ausleger zieht, während der andere Muskel den Ausleger wegdrückt.

[0049] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel bei Aktivierung expandiert und auf diese Weise eine Verdrehung des Verstellerwellenelements gegenüber dem Gehäuseelement herbeiführt.

[0050] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel bei Aktivierung kontrahiert und auf diese Weise eine Verdrehung des Verstellerwellenelements gegenüber dem Gehäuseelement herbeiführt.

[0051] Vorteilhaft sind zudem Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel bei Aktivierung seine äußere Form ändert und auf diese Weise eine Verdrehung des Verstellerwellenelements gegenüber dem Gehäuseelement herbeiführt.

[0052] Die drei zuletzt genannten Ausführungsformen werden noch näher im Zusammenhang mit der Figurenbeschreibung erläutert.

[0053] Die Ausbildung eines erfindungsgemäßen Nockenwellenverstellers 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 Verdrehung der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle führen. Einige Formgedächtniswerkstoffe bieten zudem den Vorteil, daß sie mehrstufig veränderbar sind d. h. nicht nur zwischen zwei äußeren Gestalten transformiert werden können, sondern mehr als zwei unterschiedliche Konfigurationen annehmen.

[0054] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel Kohlenstoff-Nanoröhrchen umfaßt. Derartige künstliche Muskelelemente 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 Muskelelemente 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.

[0055] Kohlenstoff-Nanoröhrchen können in papier-

ähnlichen 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.

[0056] Vorteilhaft sind aber auch Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine 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).

[0057] Grundsätzlich können aber auch künstliche Muskeln zum Einsatz kommen, die sowohl eine aktive - d. h. eine sich bei der Aktivierung einstellende - Kontraktion als auch eine aktive Expansion erlauben.

[0058] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel mindestens einen Formgedächtniswerkstoff umfaßt.

[0059] 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 Formgedächtniswerkstoffe 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.

[0060] 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.

[0061] Ist dieser Transformationsprozeß umkehrbar, so handelt es sich bei dem Formgedächtniswerkstoff um einen sogenannten Zwei-Weg-Formgedächtniswerkstoff, andernfalls um einen Ein-Weg-Formgedächtniswerkstoff. Darüber hinaus gibt es Werkstoffe, die über mehr als zwei Strukturen verfügen, die sie bei einer Aktivierung annehmen können und damit mehrstufig schaltbar sind.

[0062] 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 Büro-

klammer umformt. Die Aktivierung durch Temperaturveränderung soll nur als Beispiel verstanden werden. Für den vorliegenden Fall - eines unter Verwendung von Formgedächtniswerkstoffe hergestellten Nockenwellenverstellers - ist eine elektrische Aktivierung eher geeignet als eine thermische Aktivierung.

[0063] Die Ausbildung eines erfindungsgemäßen Nockenwellenverstellers erfordert mindestens einen Zwei-Weg-Formgedächtniswerkstoff, so daß der Transformationsprozeß rückgängig gemacht werden kann und der Nockenwellenversteller zumindest zwischen zwei Positionen schaltbar ist; die Nockenwelle also gegenüber der Kurbelwelle verdreht werden kann und diese Verdrehung auch wieder in umgekehrter Richtung rückgängig zu machen ist.

[0064] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine 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.

[0065] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel stufenweise steuerbar ist, insbesondere zweistufig schaltbar ist. Eine derartige Ausbildung des Nockenwellenverstellers 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. Nockenwellenverstellern erforderlich ist.

[0066] Vorteilhaft sind aber unter anderen Gesichtspunkten auch Ausführungsformen des Nockenwellenverstellers, bei denen der mindestens eine künstliche Muskel stufenlos steuerbar ist. Dies erlaubt eine optimierte Anpassung der Steuerzeiten an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine, wodurch das Potential des Nockenwellenverstellers voll ausgeschöpft werden kann, was bei einem stufenweisen Einstellen nur bedingt möglich ist.

[0067] Die zweite der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe wird durch ein Verfahren zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine gelöst, bei dem unter Verwendung eines Nockenwellenverstellers mit einem außenliegenden Gehäuseelement und mit einem innenliegenden, zumindest teilweise in dem Gehäuseelement angeordnetem Verstellerwellenelement die Steuerzeiten der Ventile der Brennkraftmaschine verstellt werden, wobei das Gehäuseelement mittels eines Antriebes mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und das Verstellerwel-

lenelement mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und Gehäuseelement und Verstellerwellenelement gegeneinander verdrehbar sind, und das dadurch gekennzeichnet ist, daß der Nockenwellenversteller mit mindestens einem künstlichen Muskel versehen wird und durch eine Aktivierung des künstlichen Muskels das Verstellerwellenelement gegenüber dem Gehäuseelement verdreht wird und somit eine Veränderung der Nockenwellenlage gegenüber der Kurbelwelle realisiert wird.

[0068] Das bereits für den erfindungsgemäßen Nockenwellenversteller Gesagte gilt auch für das erfindungsgemäße Verfahren.

[0069] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen durch eine Aktivierung des mindestens einen künstlichen Muskels die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine nach spät verstellt werden.

[0070] Damit läßt sich beispielsweise die Ventilüberschneidung bei niedrigen Drehzahlen verkleinern. Denn ein Verschieben der Steuerzeiten der Einlaßventile in der vorgeschlagenen Weise führt zu einem späteren Öffnen der Einlaßventile und damit zu einer Verkleinerung des Kurbelwinkelfensters, in dem das Auslaßventil bei geöffnetem Einlaßventil noch nicht geschlossen ist.

[0071] Wie bereits in der Beschreibungseinleitung ausgeführt wurde, läßt sich mit der Steuerzeit, zu der das Einlaßventil geschlossen wird, auch die Füllung des Brennraums und damit die Drehmomentcharakteristik der Brennkraftmaschine beeinflussen. Insbesondere bei hohen Drehzahlen ist es vorteilhaft, die Schließzeit der Einlaßventile nach spät zu verschieben und dadurch für eine gute Zylinderfüllung zu sorgen.

[0072] Vorteilhaft sind daher auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine mit zunehmender Drehzahl zunehmend nach spät verstellt werden.

[0073] Ein zu frühes Schließen der Einlaßventile führt bei hohen Drehzahlen, insbesondere bei der Nenndrehzahl, zu ungewollten Füllungsverlusten. Um in diesem Drehzahlbereich eine gute Füllung des Brennraums sicherzustellen, werden daher bei hohen Drehzahlen die Einlaßventile vorzugsweise spät geschlossen. Vorzugsweise erfolgt dieser Vorgang kontinuierlich.

[0074] Vorteilhaft sind dabei auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine mit zunehmender Last zunehmend nach spät verstellt werden.

[0075] Über die Steuerzeit "Einlaß schließt" läßt sich - wie erwähnt - die Zylinderfüllung und damit auch die Last steuern. Die Veränderung der Schließzeit der Einlaßventile ist dabei eine Möglichkeit, auf thermodynamisch vorteilhafte Weise eine Quantitätsregelung zu realisieren und gleichzeitig für eine Entdrosselung der Brennkraftmaschine zu sorgen.

[0076] Vorteilhaft sind aus den genannten Gründen auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen durch eine Aktivierung des mindestens einen künstlichen

Muskels die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine nach früh verstellt werden.

[0077] Damit läßt sich die Ventilüberschneidung bei hohen Drehzahlen vergrößern. Ein Verschieben der Steuerzeiten der Einlaßventile nach früh führt zu einem früheren Öffnen der Einlaßventile und damit zu einer Vergrößerung des Kurbelwinkelfensters, in dem das Auslaßventil bei geöffnetem Einlaßventil noch nicht geschlossen ist. Dies führt bei hohen Drehzahlen zwar zu schlechteren Wirkungsgraden infolge der Spülverluste, aber auch zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Frischgemisch und damit zu einer höheren Leistung.

[0078] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine mit abnehmender Drehzahl zunehmend nach früh verstellt werden.

[0079] Bei niedrigen Drehzahlen ist es vorteilhaft, das Einlaßventil früh zu schließen, um ein Ausschleichen der frisch angesaugten Zylinderladung zu verhindern und Füllungsverluste bei niedrigen Drehzahlen zu vermeiden.

[0080] Vorteilhaft sind dabei auch Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine mit abnehmender Last zunehmend nach früh verstellt werden.

[0081] Bei dieser Verfahrensvariante wird die Schließzeit der Einlaßventile zur Laststeuerung verwendet. Bei geringer Last wird weniger Frischgemisch benötigt, weshalb die Einlaßventile vorzugsweise mit abnehmender Last zunehmend früher geschlossen werden. Auch dies trägt zu einer Entdroßlung der Brennkraftmaschine bei.

[0082] Im folgenden wird die Erfindung anhand von drei Ausführungsbeispielen gemäß den Figuren 1 bis 4c näher beschrieben. Hierbei zeigt:

Fig. 1 einen Nockenwellenversteller nach dem Stand der Technik im Querschnitt,

Fig. 2a eine erste Momentaufnahme einer ersten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers im Querschnitt,

Fig. 2b eine zweite Momentaufnahme der in Figur 2a dargestellten ersten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers,

Fig. 2c eine dritte Momentaufnahme der in Figur 2a dargestellten ersten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers,

Fig. 3a eine erste Momentaufnahme einer zweiten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers im Querschnitt,

Fig. 3b eine zweite Momentaufnahme der in Figur 3a dargestellten zweiten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers,

Fig. 3c eine dritte Momentaufnahme der in Figur 3a dargestellten zweiten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers,

5 Fig. 4a eine erste Momentaufnahme einer dritten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers im Querschnitt,

10 Fig. 4b eine zweite Momentaufnahme der in Figur 4a dargestellten dritten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers, und

15 Fig. 4c eine dritte Momentaufnahme der in Figur 4a dargestellten dritten Ausführungsform des Nockenwellenverstellers.

[0083] Figur 1 wurde bereits im Zusammenhang mit der Beschreibung des Standes der Technik erläutert.

20 **[0084]** Die Figuren 2a, 2b und 2c zeigen eine erste Ausführungsform des Nockenwellenverstellers 1 im Querschnitt.

[0085] Figur 2a zeigt schematisch im Querschnitt eine erste Ausführungsform des Nockenwellenverstellers 1 im deaktivierten Zustand. Der Nockenwellenversteller 1 verfügt über ein außenliegendes Gehäuseelement 2 und ein innenliegendes Verstellerwellenelement 3, das zumindest teilweise in dem Gehäuseelement 2 angeordnet ist. An dem Gehäuseelement 2 ist ein Antriebsrad 4 in Gestalt eines Riemenrades 4 vorgesehen, mit dem das Gehäuseelement 2 mittels eines Riemens mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und mit dem das Gehäuseelement 2 in Drehung versetzt wird. Das Verstellerwellenelement 3 ist drehfest mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden (nicht dargestellt).

25 **[0086]** Das Gehäuseelement 2 und das Verstellerwellenelement 3 sind gegeneinander verdrehbar, wobei diese beiden Bauteile 2,3 mittels eines künstlichen Muskels 11a gekoppelt sind. Bei der in Figur 2a dargestellten Ausführungsform bildet der künstliche Muskel 11a ein eigenständiges Bauteil, das das Verstellerwellenelement 3 mit dem Gehäuseelement 2 verbindet und gegeneinander verdreht, wenn es infolge seiner Aktivierung - im Rahmen eines Transformationsprozesses - die äußere Gestalt verändert, wie in den Figuren 2b und 2c zu sehen.

30 **[0087]** Das Verstellerwellenelement 3 weist einen radial nach außen hervorstehenden Ausleger 6 auf, an den der künstliche Muskel 11a mit einem Ende 9a angelenkt ist, wobei das andere Ende 10 des künstlichen Muskels 11a an der Seitenwandung 8 einer nach innen offenen Ausnehmung 7 des Gehäuseelementes 2 angelenkt ist.

35 **[0088]** Der nach außen hervorstehende Ausleger 6 stellt einen Hebel dar, mit dem aufgrund der Hebelwirkung bereits kleine, im künstlichen Muskel 11a generierte Kräfte ausreichen, um das für die Verdrehung des Verstellerwellenelementes 3 bzw. der Nockenwelle erforderliche Drehmoment zu erzeugen. Zudem gestattet der Ausleger 6, daß der künstliche Muskel 11a weiter beab-

standet zur Drehachse 5 angeordnet werden kann, was vorteilhaft ist, da der Anlenkpunkt 9a bei der Aktivierung bzw. Deaktivierung des künstlichen Muskels 11a eine Kreisbahn um die Drehachse 5 beschreibt und mit größer werdendem Radius die Bewegung des Anlenkpunktes 9a zunehmend einer translatorischen Bewegung ähnelt bzw. näher kommt.

[0089] Der Ausleger 6 unterstützt zudem die Verwendung von künstlichen Muskeln 11a, die bei Aktivierung bzw. Deaktivierung expandieren oder kontrahieren bzw. ihre äußere Gestalt in anderer Weise im wesentlichen entlang einer gedachten Geraden ändern. Schließlich sorgt der Ausleger 6 auch für eine günstige Krafteinleitung in den künstlichen Muskel 11a.

[0090] Die Ausnehmung 7 gestattet verhältnismäßig große Hebelverhältnisse bzw. lange Ausleger 6 bei einem vergleichsweise geringen Bauteilvolumen, da die Länge des Auslegers 6 erhöht wird, ohne daß der Durchmesser des Gehäuseelementes 2 vergrößert werden muß. Zudem ermöglicht die Ausnehmung 7 eine vorteilhafte Befestigung bzw. Anlenkung des anderen Endes 10a des künstlichen Muskels 11a, der zwischen Ausleger 6 und Seitenwandung 8 der Ausnehmung 7 angeordnet ist.

[0091] Erfindungsgemäß ist der Nockenwellenversteller 1 mit einem künstlichen Muskel 11a ausgestattet, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt verändert. Bei der in Figur 2a dargestellten Ausführungsform ist der Nockenwellenversteller 1 unter Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen ausgebildet worden. Kohlenstoff-Nanoröhrchen expandieren bei ihrer Aktivierung, wie in den Figur 2b und 2c zu sehen ist, und können elektrisch gesteuert werden, weshalb sie sich für die Verwendung im Motorenbau eignen, da sie leicht über die Bordbatterie mit elektrischer Energie versorgt werden können.

[0092] Die Figuren 2b und 2c zeigen den Nockenwellenversteller 1 schematisch im Querschnitt und in einem aktivierten Zustand, wobei der künstliche Muskel 11a im Vergleich zu der in Figur 2a dargestellten Momentaufnahme expandiert ist. Die Kohlenstoff-Nanoröhrchen sind aktiviert und entlang einer gedachten Linie expandiert, wodurch das Gehäuseelement 2 und das Verstellwellenelement 3 gegeneinander verdreht werden. Dadurch können die Steuerzeiten der Ventile der Brennkraftmaschine verändert d.h. nach früh oder spät verschoben werden, da mit dem Verstellwellenelement 3 auch die Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle verdreht wird.

[0093] Ähnliche Effekte erzielt man mit künstlichen Muskeln 11a, die bei einer Aktivierung kontrahieren, beispielsweise mit Polymergel. Die Figur 2c würde dann den deaktivierten Zustand darstellen, während die Figuren 2a und 2b einen aktivierten und kontrahierten Zustand des künstlichen Muskels 11a zeigen, also genau umgekehrt wie bei der oben ausführlich beschriebenen Ausführungsform eines bei Aktivierung expandierenden künstlichen Muskels 11a.

[0094] Die Figuren 3a, 3b und 3c zeigen eine zweite

Ausführungsform des Nockenwellenverstellers 1 im Querschnitt. Es sollen nur die Unterschiede zu der ersten Ausführungsform erörtert werden, weshalb im übrigen bezug genommen wird auf die Figuren 2a, 2b und 2c. Für dieselben Bauteile wurden dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0095] Im Unterschied zu der ersten Ausführungsform ist bei dem in den Figuren 3a, 3b und 3c dargestellten Nockenwellenversteller 1 ein zweiter künstlicher Muskel 11b vorgesehen, der in Bezug auf den ersten künstlichen Muskel 11a auf der gegenüberliegenden Seite des Auslegers 6 mit einem Ende 9b angelenkt ist und mit dem anderen Ende 10b in der Ausnehmung 7 angelenkt ist.

[0096] Durch eine geeignete Auswahl zweier künstlicher Muskeln 11a, 11b oder durch eine gezielte aufeinander abgestimmte Steuerung der beiden Muskeln 11a, 11b kann erreicht werden, daß sich die Muskeln gegenseitig verstärken und größere Verstellkräfte bzw. -momente generiert werden können.

[0097] Als Muskelpaar kann dann ein Muskel 11a eingesetzt werden, der beispielsweise Kohlenstoff-Nanoröhrchen umfaßt und bei Aktivierung expandiert, und ein Muskel 11b, der beispielsweise ein Polymergel aufweist und bei Aktivierung kontrahiert, so daß bei der Aktivierung beider Muskeln 11a, 11b ein Muskel 11b an dem Ausleger 6 zieht, während der andere Muskel 11a den Ausleger 6 wegdrückt, wie dies in den Figuren 3b und 3c dargestellt ist. Figur 3a zeigt dann den Nockenwellenversteller 1 mit deaktivierten Muskeln 11a, 11b.

[0098] Alternativ können auch zwei gleichartige künstliche Muskeln 11a, 11b verwendet werden, die getrennt angesteuert werden. Der erste Muskel 11a wird aktiviert, während der zweite Muskel 11b deaktiviert bleibt und umgekehrt, was zu den Stellungen des Nockenwellenverstellers 1 führt, die in den Figuren 3a und 3c dargestellt sind. Die in Figur 3b dargestellte mittige Position könnte dann dadurch erreicht werden, daß beide Muskeln 11a, 11b halb aktiviert werden, was sich mit mehrstufig oder stufenlos verstellbaren künstlichen Muskeln 11a, 11b erreichen läßt.

[0099] Die Figuren 4a, 4b und 4c zeigen eine dritte Ausführungsform des Nockenwellenverstellers 1 im Querschnitt. Es sollen nur die Unterschiede zu der ersten Ausführungsform erörtert werden, weshalb im übrigen bezug genommen wird auf die Figuren 2a, 2b und 2c. Für dieselben Bauteile wurden dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0100] Im Unterschied zu der ersten Ausführungsform ist bei dem in den Figuren 4a, 4b und 4c dargestellten Nockenwellenversteller 1 ein künstlicher Muskel 11a vorgesehen, der unter Verwendung von Formgedächtniswerkstoffen ausgebildet wurde.

[0101] Im deaktivierten Zustand hat der künstliche Muskel 11a eine angewinkelte Gestalt und damit eine kleine Länge (Figur 4a) d. h. der Abstand der beiden Anlenkpunkte 9a, 10a ist gering. Hingegen streckt sich der künstliche Muskel 11a bei einer Aktivierung, weshalb der künstliche Muskel 11a im aktivierten Zustand, wie in den

Figuren 4b und 4c dargestellt, eine zunehmend längliche Form annimmt.

[0102] Verwendet wurde ein Zwei-Weg-Formgedächtniswerkstoff, so daß der Transformationsprozeß des Muskels 11a umkehrbar ist und die Steuerzeiten der Ventile nach früh und wieder nach spät verstellt werden können. Der künstliche Muskel 11a kann verkürzt und verlängert werden d. h. beliebig zwischen den unterschiedlichen strukturellen Konfiguration wechseln.

Bezugszeichen

[0103]

1	Nockenwellenversteller	5
2	Gehäuseelement	
3	Verstellerwellenelement	
4	Antriebsrad, Riemenrad	
5	Drehachse	
6	Ausleger	10
7	Ausnehmung	
8	Seitenwandung	
9a	ein Ende des künstlichen Muskels, Anlenkpunkt	15
9b	ein Ende des künstlichen Muskels, Anlenkpunkt	
10a	anderes Ende des künstlichen Muskels, Anlenkpunkt	20
10b	anderes Ende des künstlichen Muskels, Anlenkpunkt	
11a	künstlicher Muskel	25
11b	künstlicher Muskel	30

Stand der Technik:

[0104]

100	Verstellvorrichtung	35
110	Riemenrad	
112	Gehäusedeckel	
114	erstes Zwischenelement	
116	Verzahnung	40
118	Kolbeneinrichtung	
120	erste Gegenverzahnung	
122	zweite Verzahnung	
124	zweites Zwischenelement	45
126	zweite Gegenverzahnung	
128	Nockenwelle	
132	Verstellkammer	
134	Verstellkammer	
136	Leitung	50
138	Leitung	

Patentansprüche

1. Nockenwellenversteller (1) - zum Verdrehen einer Nockenwelle d.h. zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle zwecks

Verstellung der Steuerzeiten einer Brennkraftmaschine - mit einem außenliegenden Gehäuseelement (2) und mit einem innenliegenden, zumindest teilweise in dem Gehäuseelement (2) angeordnetem Verstellerwellenelement (3), wobei das Gehäuseelement (2) mittels eines Antriebes mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und das Verstellerwellenelement (3) mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und Gehäuseelement (2) und Verstellerwellenelement (3) gegeneinander verdrehbar sind,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Nockenwellenversteller (1) mindestens einen künstlichen Muskel (11a) umfaßt, der durch Aktivierung seine geometrische Gestalt in der Art verändert, daß eine Verdrehung des Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) und somit eine Veränderung der Nockenwellenlage gegenüber der Kurbelwelle realisierbar ist.

2. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** an dem Gehäuseelement (2) ein Antriebsrad (4) vorgesehen ist.
3. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Antriebsrad (4) ein Riemenrad (4) ist und das Gehäuseelement (2) mittels eines Riemens mit der Kurbelwelle verbunden ist.
4. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Antriebsrad (4) ein Kettenrad ist und das Gehäuseelement (2) mittels einer Kette mit der Kurbelwelle verbunden ist.
5. Nockenwellenversteller (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verstellerwellenelement (3) mit dem Gehäuseelement (2) mittels des mindestens einen künstlichen Muskels (11a,11b) in der Art verbunden ist, daß durch Aktivierung des künstlichen Muskels (11a, 11b) eine Verdrehung des Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) realisierbar ist.
6. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verstellerwellenelement (3) einen radial nach außen hervorstehenden Ausleger (6) aufweist, an den der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) mit einem Ende (9a,9b) angelenkt ist, wobei das andere Ende (10a,10b) des mindestens einen künstlichen Muskels (11a,11b) am Gehäuseelement (2) angelenkt ist.

7. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Gehäuseelement (2) eine nach innen offene Ausnehmung (7) aufweist, in die der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) mit dem anderen Ende (10a, 10b) angelenkt ist. 5
8. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
zwei künstliche Muskeln (11a, 11b) vorgesehen sind, die auf gegenüberliegenden Seiten des Auslegers (6) mit einem Ende (9a, 9b) angelenkt sind und jeweils mit dem anderen Ende (10a, 10b) in der Ausnehmung (7) angelenkt sind. 10
9. Nockenwellenversteller (1) nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) bei Aktivierung expandiert und auf diese Weise eine Verdrehung des Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) herbeiführt. 20
10. Nockenwellenversteller (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11 a, 11 b) bei Aktivierung kontrahiert und auf diese Weise eine Verdrehung des Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) herbeiführt. 25 30
11. Nockenwellenversteller (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) bei Aktivierung seine äußere Form ändert und auf diese Weise eine Verdrehung des Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) herbeiführt. 35 40
12. Nockenwellenversteller (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) Kohlenstoff-Nanoröhrchen umfaßt. 45
13. Nockenwellenversteller (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) mindestens ein Polymergel umfaßt. 50
14. Nockenwellenversteller (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) mindestens einen Formgedächtniswerkstoff umfaßt. 55
15. Nockenwellenversteller (1) nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) elektrisch steuerbar ist.
16. Nockenwellenversteller (1) nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) stufenweise steuerbar ist.
17. Nockenwellenversteller (1) nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) zweistufig schaltbar ist.
18. Nockenwellenversteller (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, daß
der mindestens eine künstliche Muskel (11a, 11b) stufenlos steuerbar ist.
19. Verfahren zur Veränderung der Lage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine, bei dem unter Verwendung eines Nockenwellenverstellers (1) mit einem außenliegenden Gehäuseelement (2) und mit einem innenliegenden, zumindest teilweise in dem Gehäuseelement (2) angeordnetem Verstellerwellenelement (3) die Steuerzeiten der Ventile der Brennkraftmaschine verstellt werden, wobei das Gehäuseelement (2) mittels eines Antriebes mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und das Verstellerwellenelement (3) mit der Nockenwelle der Brennkraftmaschine verbunden ist und Gehäuseelement (2) und Verstellerwellenelement (3) gegeneinander verdrehbar sind,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Nockenwellenversteller (1) mit mindestens einem künstlichen Muskel (11a, 11b) versehen wird und durch eine Aktivierung des künstlichen Muskels (11a, 11b) das Verstellerwellenelements (3) gegenüber dem Gehäuseelement (2) verdreht wird und somit eine Veränderung der Nockenwellenlage gegenüber der Kurbelwelle realisiert wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet, daß
durch eine Aktivierung des mindestens einen künstlichen Muskels (11a, 11b) die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine nach spät verstellt werden.
21. Verfahren nach Anspruch 20,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraftmaschine mit zunehmender Drehzahl zunehmend nach spät verstellt werden.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraft-
maschine mit zunehmender Last zunehmend nach
spät verstellt werden. 5
23. Verfahren nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet, daß
durch eine Aktivierung des mindestens einen künst-
lichen Muskels (11a, 11b) die Steuerzeiten der Ein- 10
laßventile der Brennkraftmaschine nach früh ver-
stellt werden.
24. Verfahren nach Anspruch 23,
dadurch gekennzeichnet, daß 15
die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraft-
maschine mit abnehmender Drehzahl zunehmend
nach früh verstellt werden.
25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, 20
dadurch gekennzeichnet, daß
die Steuerzeiten der Einlaßventile der Brennkraft-
maschine mit abnehmender Last zunehmend nach
früh verstellt werden. 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

Fig.1

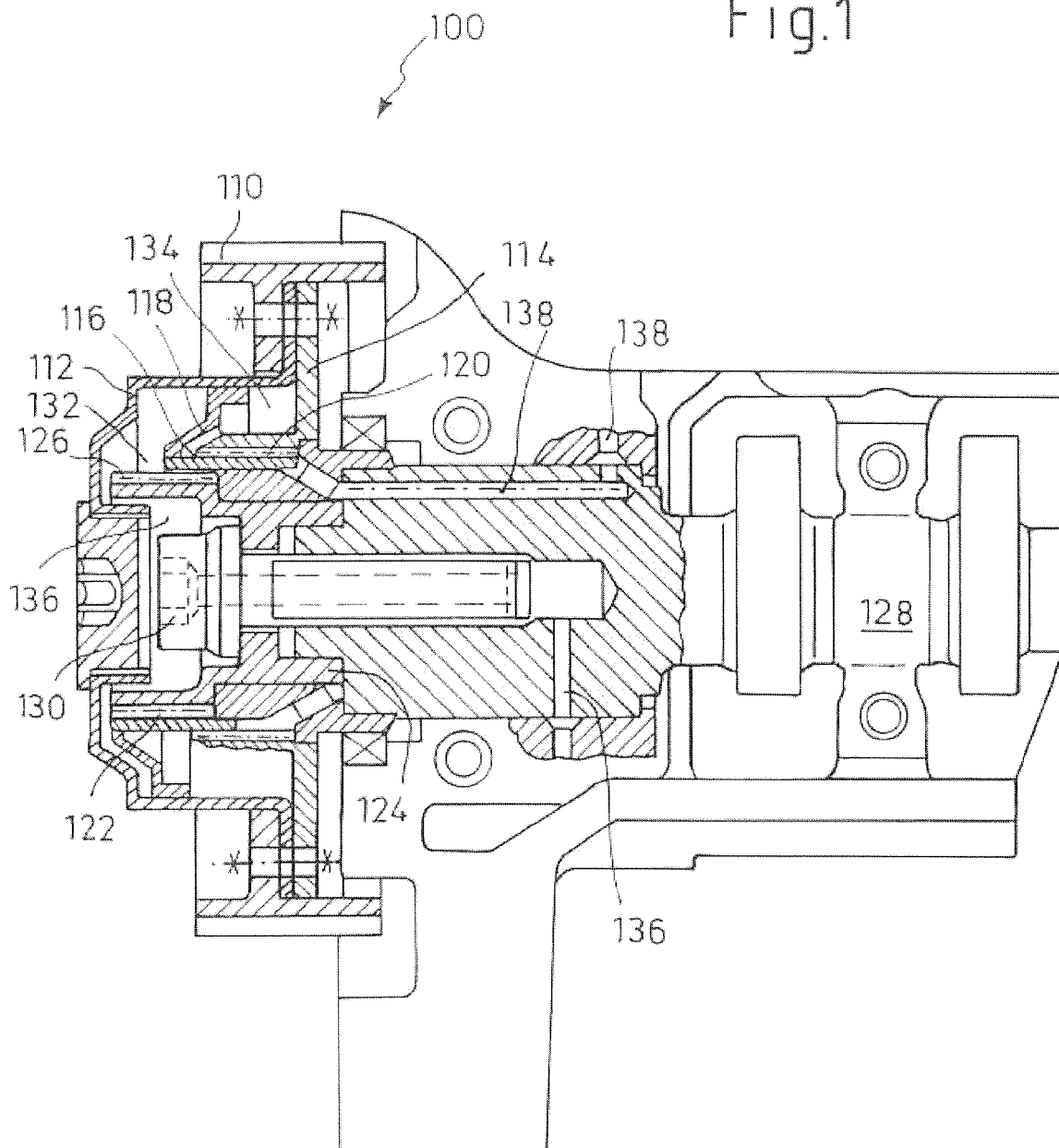
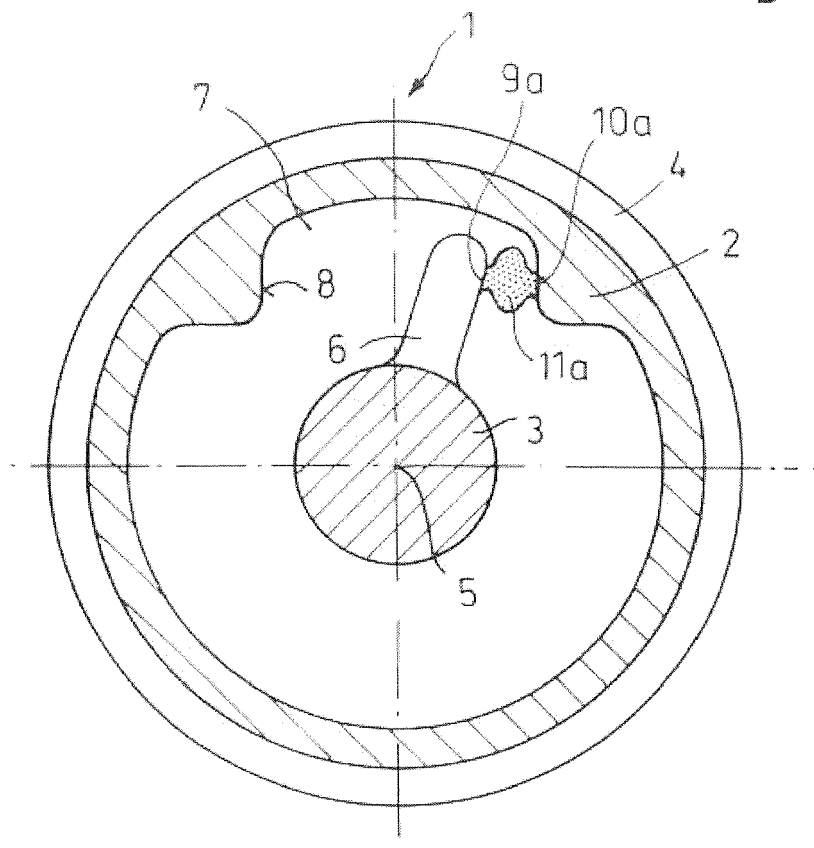


Fig.2 a



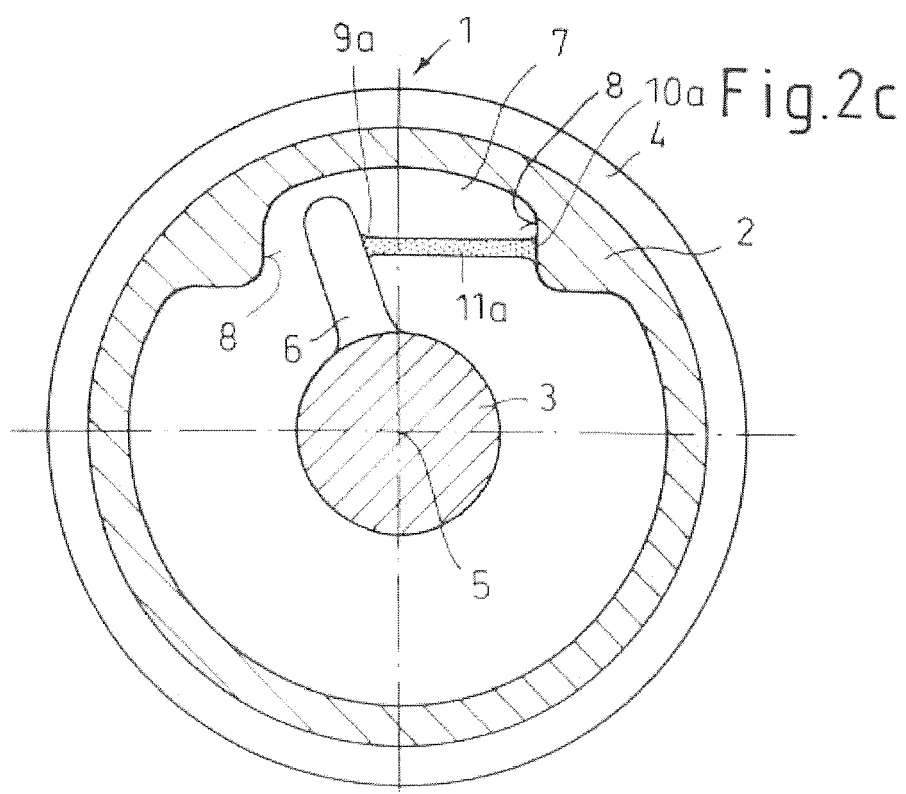
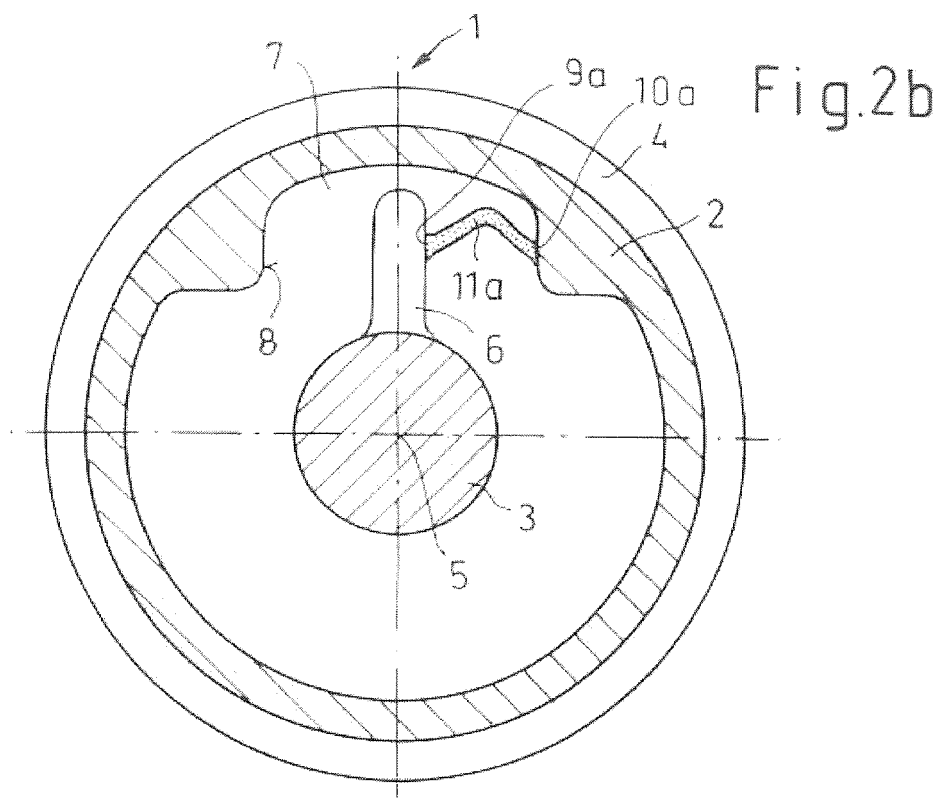
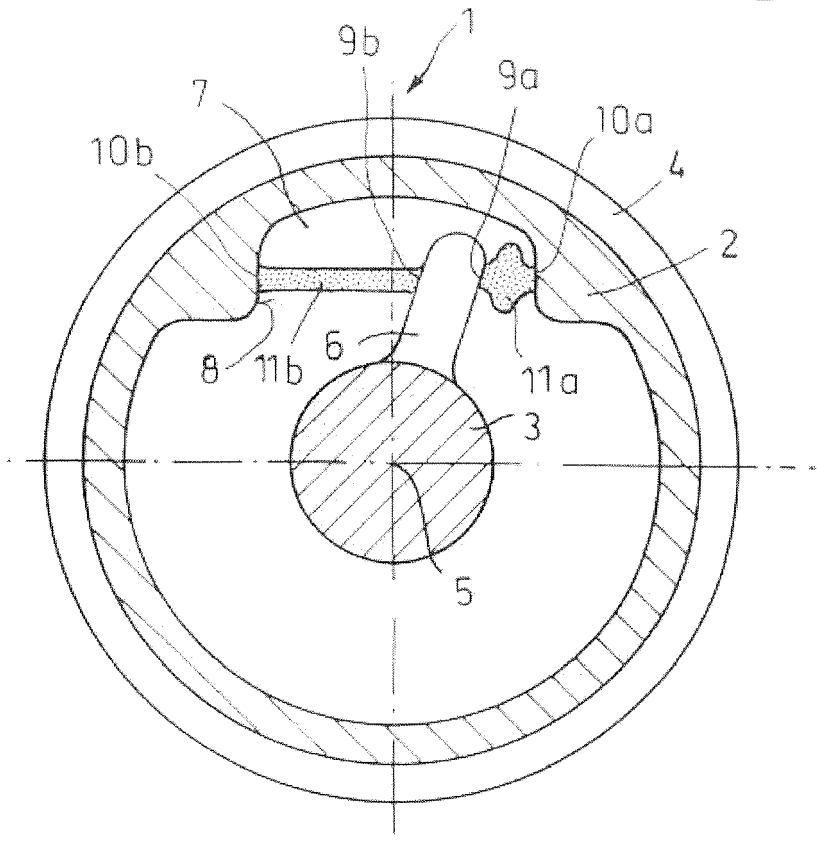


Fig.3 a



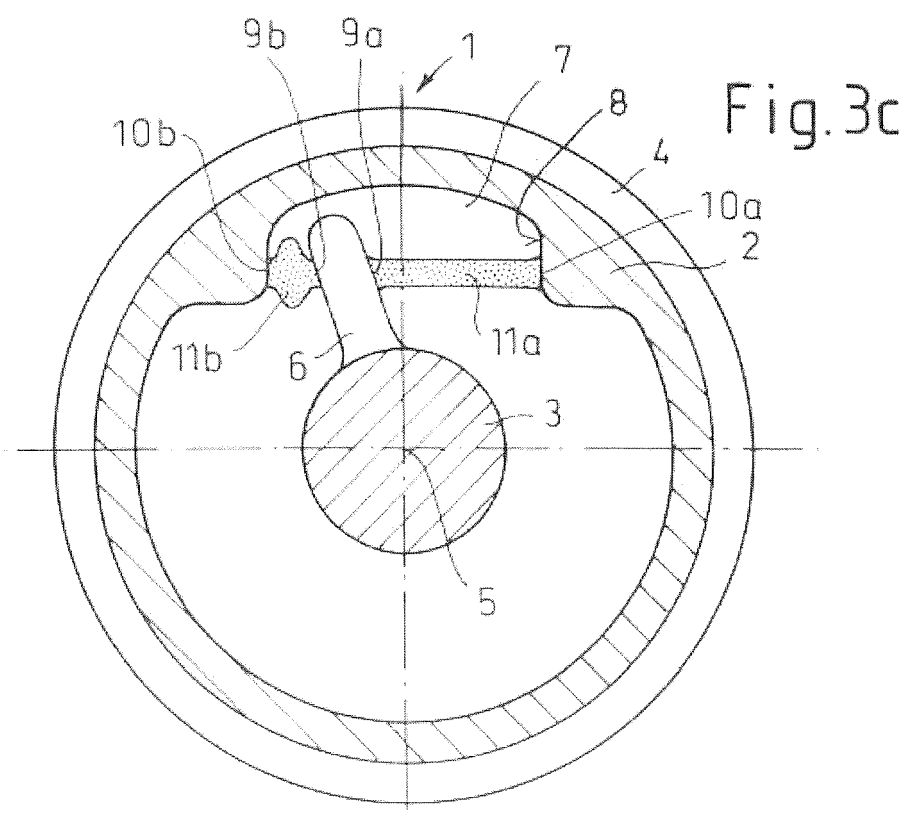
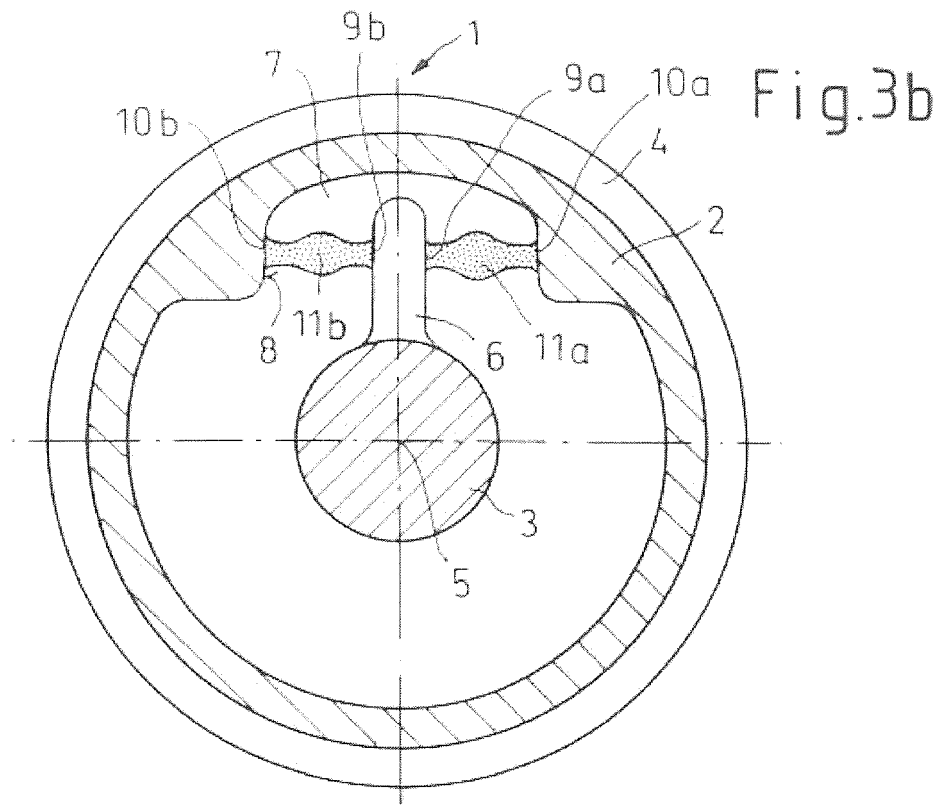
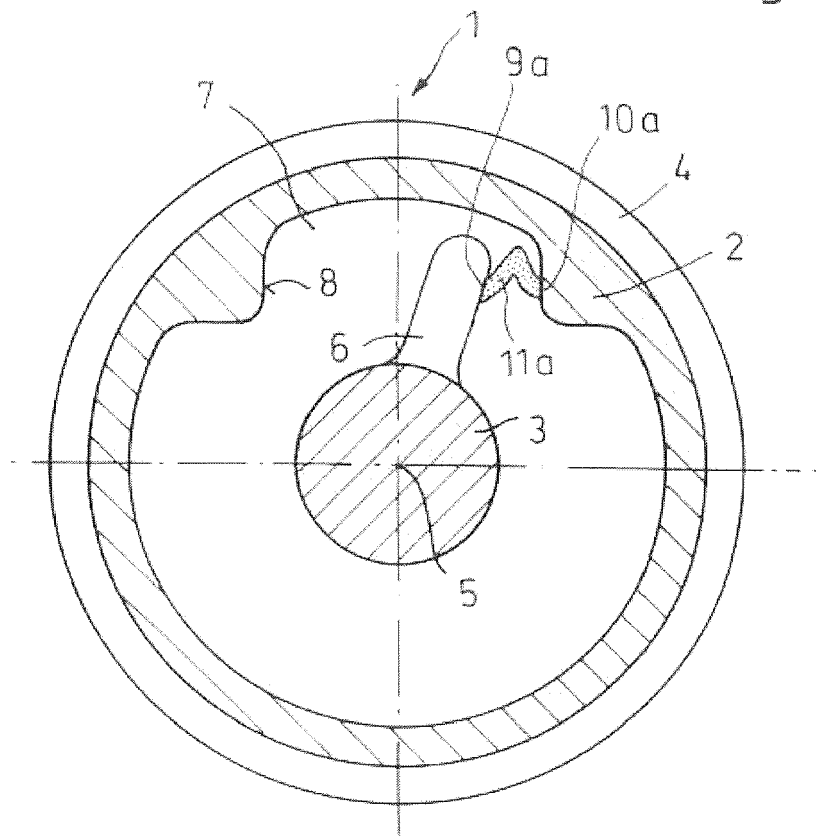
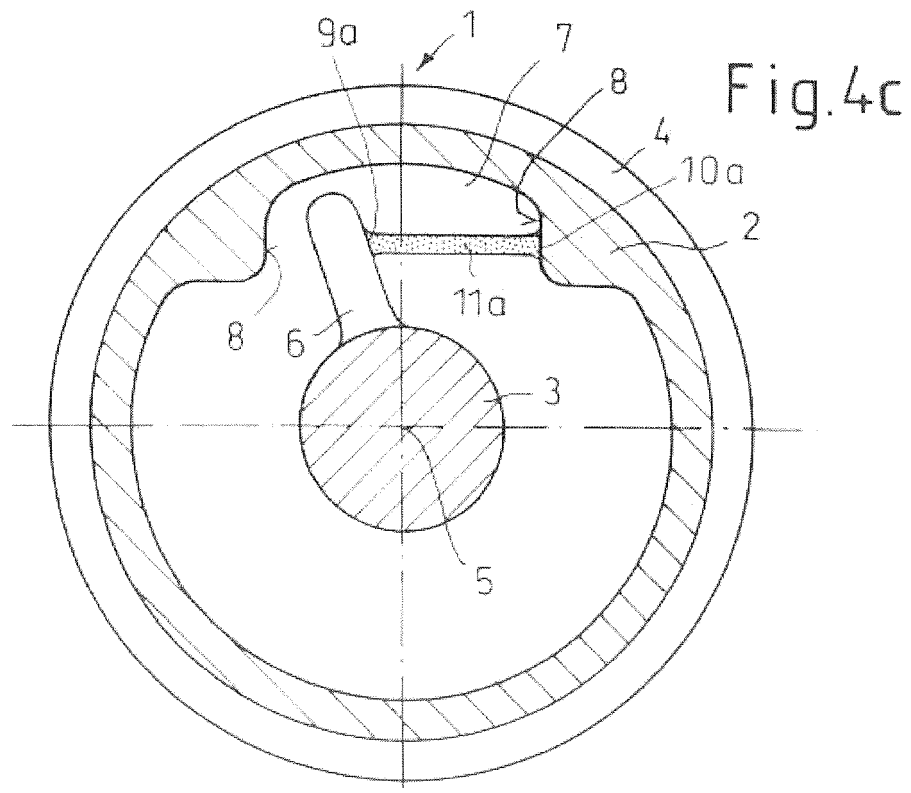
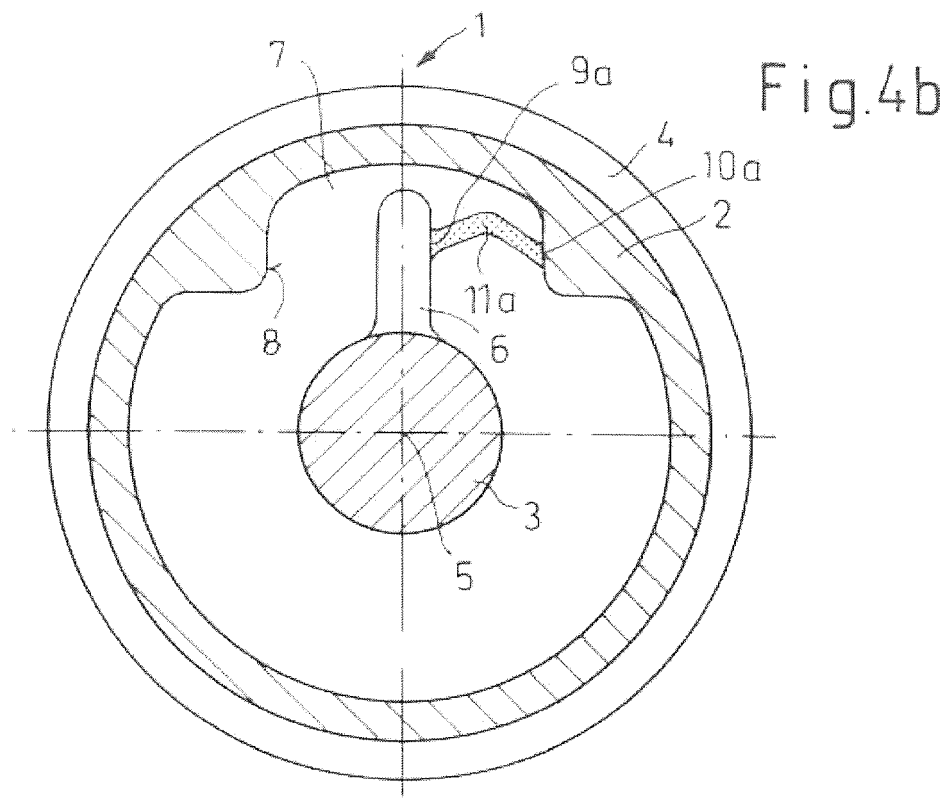


Fig.4a







Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 10 5143

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 6 155 220 A (MARRIOTT ET AL) 5. Dezember 2000 (2000-12-05) * Zusammenfassung * * Abbildungen *	1,2,4,5, 9-11, 15-25	F01L1/34 F15B15/10
A	US 2004/118366 A1 (KLUGE TORSTEN) 24. Juni 2004 (2004-06-24) * das ganze Dokument *	1-25	
A	DE 197 47 566 C1 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV, 8) 8. April 1999 (1999-04-08) * das ganze Dokument *	1-25	
A	EP 0 518 528 A (BORG-WARNER AUTOMOTIVE TRANSMISSION AND ENGINE COMPONENTS CORPORATION) 16. Dezember 1992 (1992-12-16) * das ganze Dokument *	1-25	
A	US 2001/052330 A1 (TAKENAKA AKIHIKO ET AL) 20. Dezember 2001 (2001-12-20) * das ganze Dokument *	1-25	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	US 5 351 602 A (MONROE ET AL) 4. Oktober 1994 (1994-10-04) * das ganze Dokument *	1-25	F01L F15B
A	US 5 250 167 A (ADOLF ET AL) 5. Oktober 1993 (1993-10-05) * das ganze Dokument *	1-25	
A	US 2003/205045 A1 (PELES ZALMAN) 6. November 2003 (2003-11-06) * das ganze Dokument *	1-25	
		-/--	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. März 2005	Prüfer Paulson, B
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 : mündliche 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	

2
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 10 5143

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	US 6 223 648 B1 (ERICKSON JOEL R) 1. Mai 2001 (2001-05-01) * das ganze Dokument * -----	1-25	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. März 2005	Prüfer Paulson, B
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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			

2
EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

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

EP 04 10 5143

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.

23-03-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6155220 A	05-12-2000	DE 10045054 A1	05-04-2001
US 2004118366 A1	24-06-2004	EP 1411211 A1	21-04-2004
		JP 2004138070 A	13-05-2004
DE 19747566 C1	08-04-1999	DE 19901189 C1	21-09-2000
EP 0518528 A	16-12-1992	US 5107804 A	28-04-1992
		US 5172659 A	22-12-1992
		CA 2062354 A1	12-12-1992
		CA 2069041 A1	12-12-1992
		DE 69204751 D1	19-10-1995
		DE 69204751 T2	22-02-1996
		DE 69205339 D1	16-11-1995
		DE 69205339 T2	28-03-1996
		EP 0518472 A1	16-12-1992
		EP 0518528 A1	16-12-1992
		EP 0518529 A1	16-12-1992
		JP 3469257 B2	25-11-2003
		JP 5106412 A	27-04-1993
		JP 5214907 A	24-08-1993
		JP 3333234 B2	15-10-2002
		JP 5195726 A	03-08-1993
		US 5361735 A	08-11-1994
US 2001052330 A1	20-12-2001	JP 2001355414 A	26-12-2001
		DE 10127943 A1	31-01-2002
US 5351602 A	04-10-1994	KEINE	
US 5250167 A	05-10-1993	KEINE	
US 2003205045 A1	06-11-2003	AU 2003223096 A1	17-11-2003
		EP 1511919 A1	09-03-2005
		WO 03093647 A1	13-11-2003
US 6223648 B1	01-05-2001	US 6067892 A	30-05-2000

EPO FORM P0461

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