



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 195 503 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.04.2002 Patentblatt 2002/15

(51) Int Cl.7: **F02B 75/02**

(21) Anmeldenummer: **01123546.2**

(22) Anmeldetag: **01.10.2001**

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

(72) Erfinder: **Nagel, Edmund Ferdinand
6800 Feldkirch (AT)**

(74) Vertreter: **Hefel, Herbert, Dipl.-Ing. et al
Patentanwälte
Dipl.-Ing. Herbert Hefel, Mag. Dr. Ralf Hofmann
Egelseestrasse 65a
6800 Feldkirch (AT)**

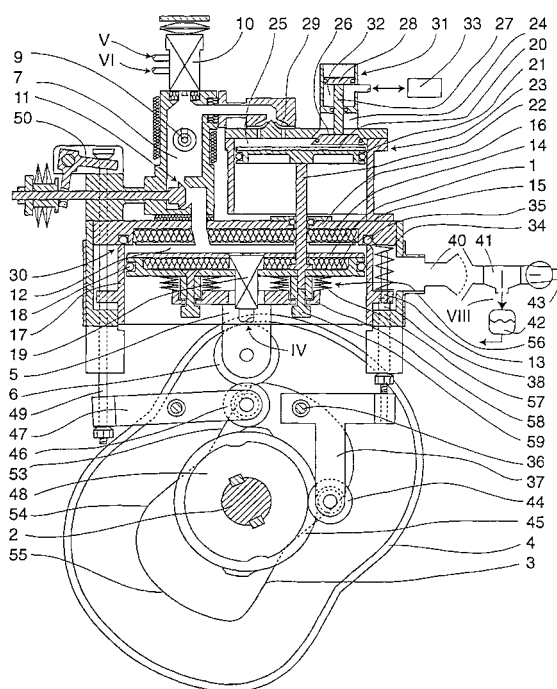
(30) Priorität: **04.10.2000 AT 16822000**

(71) Anmelder: **Heinzle, Friedrich
6800 Feldkirch (AT)**

(54) **Verbrennungsmotor**

(57) Ein Verbrennungsmotor umfaßt eine Brennkammer (7) zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffs unter Bildung eines Verbrennungsgases, eine mit der Brennkammer über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil (11) verbundene, separate Expansionskammer (12), die einen verschiebbar gelagerten Kolben (1) zur Umsetzung von Energie des Verbrennungsgases in mechanische Arbeit bzw. Energie aufweist, und eine oder mehrere als Kolben-Zylinder-Einheiten ausgebildete Verdichterpumpen (23) zur Befüllung der Brennkammer mit verdichteter Luft, die jeweils ein Lufteinlaßventil (24) aufweisen. Das Lufteinlaßventil (24) ist drosselbar und das Volumen des Zylinderraums (25) der Verdichterpumpe (23) oder, im Falle mehrerer Verdichterpumpen (23), das Gesamtvolumen der Zylinderräume der Verdichterpumpen ist um mindestens 25 %, vorzugsweise mindestens 50 % größer, als es einem Volumen für eine Befüllung der Brennkammer (7) mit einem Gemisch mit einer Luftzahl von $\lambda = 1$ bei einer bei Vollast des Motors eingebrachten Menge an Treibstoff entspricht

Fig. 1



EP 1 195 503 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Verbrennungsmotor mit einer Brennkammer zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffs unter Bildung eines Verbrennungsgases, einer mit der Brennkammer über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil verbundenen, separaten Expansionskammer, die einen verschiebbar gelagerten Kolben zur Umsetzung von Energie des Verbrennungsgases in mechanische Arbeit bzw. Energie aufweist, und einer oder mehreren als Kolben-Zylinder-Einheiten ausgebildeten Verdichterpumpen zur Befüllung der Brennkammer mit verdichteter Luft, die jeweils ein Lufteinlaßventil aufweisen.

[0002] Verbrennungsmotoren sind in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt, beispielsweise als herkömmliche Otto- oder Dieselmotoren. Bekannt sind weiters Verbrennungsmotoren mit einer von der Brennkammer, in welcher der Treibstoff unter Bildung eines Verbrennungsgases getaktet verbrannt wird, getrennten Expansionskammer, die mit der Brennkammer über ein steuerbares Einlaßventil verbunden ist. In der Expansionskammer ist ein Kolben verschiebbar gelagert, mittels dem Energie des Verbrennungsgases in mechanische Energie bzw. Arbeit umgesetzt wird. Solche Verbrennungsmotoren sind beispielsweise aus der EP 0 957 250 A2, der AT-PS 172 823, der CH-PS 202 930, der FR-PS 820 750, der DE-PS 4 136 223 und der US-PS 4,716,720 bekannt. Der Vorteil dieser Verbrennungsmotoren besteht insbesondere darin, daß sich das bei der Verbrennung gebildete Verbrennungsgas im Expansionstakt in der Expansionskammer vollständig entspannen kann, wodurch die Energie des Verbrennungsgases besser ausgenützt werden kann. Die Befüllung der Brennkammer mit Treibstoff-Luft-Gemisch kann bei Atmosphärendruck oder verdichtet erfolgen. Für die Verdichtung der Luft in der Brennkammer ist es bereits bekannt, eine eigene Verdichterpumpe zu verwenden, beispielsweise aus der DE-PS 4 136 223 und der US-PS 4,716,720.

[0003] Bei solchen Motoren tritt ebenso wie bei herkömmlichen Otto- und Dieselmotoren das Problem auf, daß bei hohen Motordrehzahlen und bei Vollast des Motors durch die inhärente Drosselwirkung des Einlaßventils bzw. des Luft-Befüllweges eine für eine stöchiometrische Verbrennung erforderliche Luftzahl von mindestens $\lambda = 1$ ohne besondere Maßnahmen nicht mehr erreicht werden kann. Bei herkömmlichen Otto- oder Dieselmotoren werden zur Überwindung dieses Problems beispielsweise Turbolader eingesetzt.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Verbrennungsmotor der eingangs genannten Art bereitzustellen, bei dem in einfacher Weise auch bei der höchsten Motordrehzahl eine Luftzahl von mindestens $\lambda = 1$ jedenfalls erreicht werden kann. Erfindungsgemäß wird dieses Problem dadurch gelöst, daß das Lufteinlaßventil in die Verdichterpumpen drosselbar ist und daß das Volumen des Zylinderraums der Verdichterpumpe oder,

im Falle mehrerer Verdichterpumpen, das Gesamtvolumen der Zylinderräume der Verdichterpumpen um mindestens 25 %, vorzugsweise mindestens 50 % größer ist, als es einem Volumen für eine Befüllung der Brennkammer mit einem Gemisch mit einer Luftzahl von $\lambda = 1$ bei einer bei Voll-last des Motors eingebrachten Menge an Treibstoff entspricht.

[0005] Es wird dadurch sichergestellt, daß auch bei der höchsten Motordrehzahl eine Luftzahl von mindestens $\lambda = 1$ jedenfalls erreicht werden kann, und zwar ohne weitere, herkömmlicherweise vorgesehene aufwendige Maßnahmen. Wird bei geringerer Drehzahl des Motors bzw. bei Teillast eine lediglich geringere Luftmenge benötigt, so kann das Einlaßventil entsprechend gedrosselt werden.

[0006] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft einen Verbrennungsmotor mit einer Brennkammer zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffs unter Bildung eines Verbrennungsgases, einer mit der Brennkammer über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil verbundenen, separaten Expansionskammer, die einen verschiebbar gelagerten Kolben zur Umsetzung von Energie des Verbrennungsgases in mechanische Arbeit bzw. Energie aufweist, und einer oder mehreren als Kolben-Zylinder-Einheiten ausgebildeten Verdichterpumpen zur Befüllung der Brennkammer mit verdichteter Luft, wobei als jeweiliges Lufteinlaßventil in die Verdichterpumpe ein in Schließrichtung vorgespanntes Rückschlagventil vorgesehen ist, das einen an einem Ventil-schaft angeordneten Ventilteller umfaßt.

[0007] Ein derartiger Verbrennungsmotor ist beispielsweise aus der bereits genannten DE 4 136 223 C1 bekannt. Aufgabe der Erfindung ist es, einen Verbrennungsmotor dieser Art bereitzustellen, bei dem die in die Brennkammer eingebrachte Luftmenge in einfacher Weise steuerbar ist. Erfindungsgemäß gelingt dies dadurch, daß das Lufteinlaßventil drosselbar ist und daß das Volumen des Zylinderraums der Verdichterpumpe oder, im Falle mehrerer Verdichterpumpen, das Gesamtvolumen der Zylinderräume der Verdichterpumpen um mindestens 25 %, vorzugsweise mindestens 50 % größer ist, als es einem Volumen für eine Befüllung der Brennkammer mit einem Gemisch mit einer Luftzahl von $\lambda = 1$ bei einer bei Voll-last des Motors eingebrachten Menge an Treibstoff entspricht.

[0008] Es wird somit eine Art "Luftfeder" bereitgestellt, welche die Schließkraft des Ventils vorgibt. Die Federkonstante dieser Luftfeder ist einstellbar. Das Rückschlagventil öffnet erst, wenn die Schließkraft durch den im Zylinder der Verdichterpumpe vorliegenden Unterdruck überstiegen wird und die Größe der Öffnung hängt von der durch die Luftfeder vorgegebenen Schließkraft im Vergleich zum Unterdruck im Zylinder der Verdichterpumpe ab. In Abhängigkeit von der Schließkraft wird daher während der Abwärtsbewegung des Kolbens der Verdichterpumpe somit mehr oder weniger Luft in den Zylinder der Verdichterpumpe gefördert (d.h., am unteren Totpunkt des Kolbens der Verdichter-

pumpe herrscht ein mehr oder weniger großer Unterdruck im Zylinderraum der Verdichterpumpe), da auch im geöffneten Zustand das Rückschlagventil in Abhängigkeit vom Grad seiner Öffnung einen gewissen Strömungswiderstand hat, so daß das Einströmen von Luft in den Zylinderraum der Verdichterpumpe nicht beliebig schnell erfolgen kann. Diese Luftmenge wird bei der anschließenden Aufwärtsbewegung des Kolbens der Verdichterpumpe in die Brennkammer verdichtet.

[0009] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden anhand der beiliegenden Zeichnung erläutert. In dieser zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines erfindungsge-
mäßigen Verbrennungsmotors und

Fig. 2 den Druckverlauf in der Expansionskammer.

[0010] Obwohl in der schematischen Darstellung gemäß Fig. 1 nur ein einzelner Kolben 1 dargestellt ist, sind bevorzugterweise mindestens zwei auf die angetriebene Welle 2 von gegenüberliegenden Seiten wirkende, synchron laufende Kolben 1 vorgesehen. Es können dabei ein, zwei oder mehrere Paare von solchen gegenüberliegenden, jeweils synchron getakteten Paaren von Kolben 1 in jeweiligen Zylindern vorgesehen sein. Zumindest die jeweils gegenüberliegenden Kolben oder auch alle Kolben können dabei über dieselben inneren und äußeren Kurvenflächen 3, 4 des später noch genauer erläuterten Kurvengetriebes und jeweils eigene Schubglieder in Form von an den Kolbenstangen angeordneten Rollen 6 auf die angetriebene Welle 2 wirken.

[0011] Jedem Kolben 1 ist mindestens eine Brennkammer 7 zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffes zugeordnet. Die Brennkammer ist von einem Mantel aus einem wärmeisolierenden Material umgeben. Nur in der Startphase erfolgt die Zündung des Treibstoff-Luftgemisches durch eine Zündkerze 9. Im Dauerbetrieb erhitzen sich die Wandungen der Brennkammer 7 über die Selbstentzündungstemperatur des Treibstoffes (auf über 700° C) und die Zündung des Treibstoffes erfolgt direkt bei dessen Einspritzung in die Brennkammer 7, wenn er auf deren Wandungen auftritt. Zusammen mit dem Treibstoff wird bevorzugterweise Wasser eingespritzt, um die Verbrennungstemperatur zu erniedrigen, was insbesondere zu einer NOx-Reduktion führt. Die Einspritzdüsen für den Treibstoff und das Wasser sind in Fig. 1 nur schematisch als Einheit 10 dargestellt, wobei die Zuführung des Treibstoffes durch den Pfeil V und die Zuführung des Wassers durch den Pfeil VI angedeutet sind.

[0012] Die Brennkammer 7 ist über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil 11 mit einer von der Brennkammer 7 getrennten Expansionskammer 12 verbunden, die als Zylinderraum ausgebildet ist, in welchem der Kolben 1 verschiebbar gelagert ist. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist eine wärmeisolierende Schicht 14, 15, vorzugsweise aus einem keramischen Material,

an der Innenseite des Zylinderkopfes 16 und an der Expansionskammer 12 zugewandten Oberseite des Kolbens 1 angeordnet. Lediglich die Zylinderwand 17 weist keine derartige Wärmeisolierung auf.

[0013] Zum Einspritzen von Wasser in die Expansionskammer 12 zur Einleitung einer Implosionsphase anschließend an die Expansionsphase, wenn der Kolben 1 den unteren Totpunkt UT erreicht hat, ist eine in die Expansionskammer 12 mündende Einspritzdüse 19 für Wasser vorgesehen. Diese weist eine kreisförmige Düsenöffnung oder mehrere entlang eines Kreisumfangs angeordnete Düsenöffnungen auf, wodurch Wasser unter einem flachen Winkel in Richtung der Zylinderwand 17 gesprüht wird. Diese Wassereinspritzung dient auch zur Kühlung der Zylinderwand 17, so daß eine Kolbendichtung 18 aus Kunststoff verwendet werden kann (vorzugsweise aus Graphit-Teflon, der bis etwa 250° C Dauertemperatur beständig ist). Eine derartige Kolbendichtung 18 ist wasserschmierbar.

[0014] Der nach dem Einspritzen des Wassers in die Expansionskammer sich ausbildende Unterdruck unterstützt einerseits die Spülung der Brennkammer 7, andererseits wird dadurch der Kolben 1 nach oben in Richtung seines oberen Totpunktes OT gezogen. Der Kolben 1 ist über die Kolbenstange 22 mit dem Verdichterkolben 21 einer von einer Kolben-Zylinder-Einheit gebildeten Verdichterpumpe 23 verbunden. Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens 1 und des damit verbundenen Verdichterkolbens 21 öffnet sich das als selbstschließendes Rückschlagventil ausgebildete Lufteinlaßventil 24 und Luft strömt in den Zylinderraum 25 ein. Bei der anschließenden Aufwärtsbewegung des Kolbens 1 bzw. Verdichterkolbens 21 öffnet sich das ebenfalls als selbstschließendes Rückschlagventil ausgebildete Luftauslaßventil 29 und Luft, die zu einem entsprechenden Verdichterdruck führt, wird in die Brennkammer 7 eingepreßt. Auf dem Verdichterkolben 21 ist ein Kissen 20 aus verformbarem Material angeordnet, damit in der obersten Stellung dieses Kolbens alle Luft aus dem Zylinderraum 25 gepreßt wird, welche andernfalls als "Luftfeder" wirken würde, die zu unnötigen Verlusten führen würde.

[0015] Das Lufteinlaßventil 24 umfaßt einen Ventilteller 26, der an einem Ventilschaft 27 angeordnet ist. Der Ventilschaft 27 bildet gleichzeitig eine mit einem Kolben 28 verbundene Kolbenstange einer Kolben-Zylinder-Einheit 31. Der Zylinderraum 32 dieser Kolben-Zylinder-Einheit ist mit Luft befüllt, wobei der Luftdruck eine in Schließrichtung des Lufteinlaßventils 24 wirkende Kraft hervorruft. Zur Änderung der Schließkraft des Lufteinlaßventils 24 ist der Luftdruck im Zylinderraum über eine eine Luftpumpe umfassende Einheit 33 veränderbar. Dieser Luftdruck stellt somit eine Art "Luftfeder" dar, deren Federkonstante veränderbar ist. Das Lufteinlaßventil öffnet erst, wenn der Unterdruck im Zylinderraum 25 die Schließkraft des Lufteinlaßventils 24 überwindet. Durch die begrenzte Einströmgeschwindigkeit der Luft durch das Lufteinlaßventil 24 herrscht, wenn der Ver-

dichterkolben 21 den unteren Totpunkt erreicht hat, ein in Abhängigkeit von der Schließkraft des Luftereinlaßventils 24 unterschiedlicher Unterdruck. Die in die Brennkammer 7 im anschließenden Verdichterhub eingebrachte Luftmenge und damit der Verdichterdruck sind auf diese Weise veränderbar.

[0016] Während sich der Kolben 1 von seinem unteren Totpunkt UT in Richtung seines oberen Totpunktes OT bewegt, verbindet sich das am unteren Totpunkt UT zunächst unter Unterdruck stehende Verbrennungsgas-Wasserdampfgemisch in der Expansionskammer, bis dessen Druck schließlich über Atmosphärendruck ansteigt und es durch Öffnen des Expansionskammer-Auslaßventils 30 ausströmen kann.

[0017] Das Expansionskammer-Auslaßventil 30 umfaßt die in Längsrichtung des Zylinders verschiebbare Zylinderwand 17. In der geschlossenen Stellung des Expansionskammer-Auslaßventils 30 wird die Zylinderwand 17 gegen einen in einer ringförmigen Nut im Zylinderkopf 16 angeordneten Dichtring 35 gepreßt, und zwar gegen die Kraft einer in Öffnungsrichtung des Expansionskammer-Auslaßventils wirkenden Feder 34. In der geöffneten Stellung wird eine ringförmige Auslaßöffnung freigegeben. Zur Beaufschlagung der verschiebbaren Zylinderwand 17 in die gegen den Dichtring 35 gepreßte Stellung ist im gezeigten Ausführungsbeispiel eine Nockensteuerung vorgesehen. Auf der Welle 2 ist eine Nockenscheibe 45 vorgesehen. Durch die auf dieser Nockenscheibe 45 angeordneten Nocken (die sich abgesehen von zwei Vertiefungen im wesentlichen um die gesamte Nockenscheibe 45 erstrecken; pro Umdrehung der Welle werden zwei Taktzyklen des Motors ausgeführt) wird ein auf einem um eine Drehachse 36 schwenkbaren Hebel 37 gelagerter Stift gegen einen Flansch 13 der Zylinderwand 17 gedrückt. Befindet sich die am schwenkbaren Hebel 37 angeordnete, auf der Nockenscheibe 45 ablaufende Rolle 44 in einer der Vertiefungen zwischen den Nocken, so öffnet das Expansionskammer-Auslaßventil 30 durch die Kraft der Feder 34, und das Verbrennungsgas-Wassergemisch kann aus der Expansionskammer 12 ausströmen. Über ein Leitungsstück 40 gelangt es in einen Wasserabscheider 41, der analog zu dem in der EP 0 957 250 A2 beschriebenen Wasserabscheider aufgebaut sein kann. Das Kühlwasser wird entsprechend dem Pfeil VIII in den Wassertank 42 rückgeführt und das Verbrennungsgas kann durch den Auspuff 43 ausströmen.

[0018] Das Brennkammer-Auslaßventil 11 wird ebenfalls durch eine Nockensteuerung betätigt, wobei eine Rolle 46, die am einen Hebelarm eines verschwenkbaren Hebels 47 gelagert ist, über eine Nockenscheibe 48 abrollt. Die auf dieser Nockenscheibe 48 angeordneten Nocken betätigen über den mit dem anderen Hebelarm des Hebels 47 verbundenen Stift 49 und den Hebel 50 das Brennkammer-Auslaßventil 11.

[0019] Zur Einspritzung des Treibstoffs und des Wassers in die Brennkammer 7 sowie zur Einspritzung des

Wassers in die Expansionskammer 12 können unterschiedliche herkömmlich ausgebildete Pumpeinrichtungen verwendet werden, beispielsweise von der Welle 2 angetriebene Nockenpumpen. Am freien Ende der vom Kolben 1 beaufschlagten Stange 5 ist eine Rolle 6 drehbar gelagert. Diese ist zwischen inneren und äußeren Kurvenflächen 3, 4 angeordnet. Der Abstand zwischen den beiden Kurvenflächen 3, 4 ist dabei etwas größer als der Durchmesser der Rolle 6, so daß die Rolle 6, die als Schubglied des Kurvengetriebes wirkt, entweder auf der inneren Kurvenfläche 3 oder der äußeren Kurvenfläche 4 abrollen kann. Wenn bei der Abwärtsbewegung des Kolbens 1 vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt die Rolle 6 auf der inneren Kurvenfläche 3 abrollt, so wird der Welle 2 Energie zugeführt (durch den Überdruck des expandierenden Verbrennungsgases), falls die Rolle 6 bei der Abwärtsbewegung des Kolbens auf der äußeren Kurvenfläche 4 abrollt, so treibt die Welle 2 den Kolben an (dadurch kann das Verbrennungsgas in der Expansionskammer 12 bis unter Atmosphärendruck verdünnt werden, wie weiter unten noch erläutert wird). Bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens 1 vom unteren Totpunkt in Richtung des oberen Totpunktes erfolgt dagegen die Energiezufuhr zur Welle 2 im Falle des Abrollens der Rolle 6 auf der äußeren Kurvenfläche 4. Beim Abrollen der Rolle 6 über die innere Kurvenfläche 3 erfolgt eine Energieentnahme (beispielsweise, falls die Energie aufgrund des durch die infolge des Einspritzens des Wassers hervorgerufene Implosion erzeugten Unterdrucks in der Expansionskammer 12 nicht für die Verdichtung der Luft mittels der Verdichterpumpe 23 ausreichen sollte).

Bei der inneren und bei der äußeren Kurvenfläche 3, 4 handelt es sich jeweils um eine umfangsgeschlossene Mantelfläche. Jeweils weisen die Kurvenflächen 3, 4 entlang ihres Umfangs drei Abschnitte auf, die im folgenden anhand der inneren Kurvenfläche 3 erläutert werden. Im ersten Abschnitt 53 nimmt der Abstand der Kurvenfläche vom Mittelpunkt der Welle 2 erst rasch, dann langsamer ab. Dieser Abschnitt ist der Abwärtsbewegung des Kolbens vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt zugeordnet. Die anfänglich rasche Abnahme des Abstandes entspricht dabei der anfänglich raschen Abnahme des Drucks in der Expansionskammer. Im folgenden zweiten Abschnitt 54 nimmt der Abstand der Kurvenfläche 3 vom Wellenmittelpunkt wiederum zu. Dieser Abschnitt ist der Aufwärtsbewegung des Kolbens vom unteren Totpunkt zum oberen Totpunkt zugeordnet. Anschließend an den zweiten Abschnitt 54 folgt ein dritter Abschnitt 55, der einen konstanten maximalen Abstand vom Mittelpunkt der Welle 2 aufweist. Während des Ablaufs der Rolle 6 über diesen Abschnitt 55 der Kurvenfläche bleibt daher der Kolben bewegungslos am oberen Totpunkt OT stehen ("Wartephase"). Während dieser Zeit kann die vollständige Verbrennung des Treibstoffs in der Brennkammer 7 durchgeführt werden. Die drei Abschnitte 53, 54, 55 sind entlang des Umfangs der Kurvenfläche 3 zweimal

vorgesehen, so daß während einer vollständigen Umdrehung der Welle 2 zwei vollständige Arbeitszyklen bzw. Taktzyklen des Motors durchgeführt werden. Die äußere Kurvenfläche 4 ist in analoger Weise in den Abschnitten 53, 54, 55 in entsprechende Abschnitte unterteilt.

[0020] Zwischen dem Kolben 1 und der vom Kolben 1 beaufschlagten, über das beschriebene Kurvengetriebe die Welle 2 antreibenden Stange 5 ist eine Federeinrichtung 56 vorgesehen. Diese umfaßt Druckfedern 57, die hier als Tellerfedern ausgebildet sind. Die Druckfedern sind zwischen einer an der Stange 5 festgelegten Druckplatte 58 und der von der Expansionskammer 12 abgewandten Rückseite des Kolbens 1 angeordnet. Um ein Verkippen des Kolbens 1 während dessen Aufwärtsbewegung, in der er den Verdichterkolben 21 antreibt, sind mindestens drei Druckfedern vorgesehen, die an den Eckpunkten eines gedachten Dreiecks angeordnet sind, im gezeigten Ausführungsbeispiel sind vier an den Eckpunkten eines gedachten Quadrats angeordnete Druckfedern vorgesehen, wobei die Druckplatte 58 von zwei sich kreuzenden Armen gebildet wird. Die Tellerfedern 57 sind weiters über Schrauben 59 vorgespannt. Der Kolben 1 bewegt sich gegenüber der Druckplatte 58 daher erst, wenn eine diese Vorspannung übersteigende Kraft auf den Kolben ausgeübt wird. Dies verhindert wiederum eine Verkipfung des Kolbens bei dessen Aufwärtsbewegung aufgrund der durch den Verdichterkolben 21 unsymmetrisch auf den Kolben 1 wirkenden Kraft.

Zur Vermeidung einer unsymmetrischen Belastung des Kolbens 1 bei dessen Aufwärtsbewegung könnte die Kolbenstange 22 zentral am Kolben 1 angreifen, d.h., mit der Stange 5 fluchten (wobei die Brennkammer 7 weiter seitlich verlegt werden müßte). In diesem Fall würde eine einzelne, zentrale Druckfeder 57 zwischen dem Boden des Kolbens 1 und der Stange 5 genügen, wobei die Vorspannung der Feder auch entfallen könnte.

[0021] Die Federeinrichtung ist dabei derart ausgelegt, daß sie die in einer ersten Phase der Abwärtsbewegung des Kolbens 1 auf diesen vom Verbrennungsgas nach dem Öffnen des Brennkammer-Auslaßventils 11 auf den Kolben 1 ausgeübte Druckspitze aufnehmen kann und als potentielle Energie speichert. Dadurch wird der auf die Stange 5 ausgeübte maximale Druck verringert, wie dies aus dem Diagramm von Fig. 2 ersichtlich ist. Der Druck, der ohne die Federeinrichtung 56 auf die Stange ausgeübt würde (und der auf dem Kolben 1 lastet), ist durch die strichlierte Linie 60 dargestellt. Aufgrund der Federeinrichtung ergibt sich der Druckverlauf entsprechend der durchgezogenen Linie 61. Der Maximaldruck ist somit wesentlich geringer. Die in der ersten Phase der Abwärtsbewegung des Kolbens von der Federeinrichtung gespeicherte Energie ist durch die schraffierte Fläche 62 dargestellt. In einer weiteren Phase der Abwärtsbewegung des Kolbens bei einem geringeren Druck des Verbrennungsgases wird

diese gespeicherte potentielle Energie wiederum an die Stange 5 abgegeben. Diese abgegebene Energie entspricht der Fläche 63.

[0022] Der Taktzyklus des Verbrennungsmotors läuft somit folgendermaßen ab:

[0023] Während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 1 in Richtung seines oberen Totpunktes OT wird mittels der Verdichterpumpe 23 Frischluft in die Brennkammer 7 eingebracht und verdichtet. Sobald der Kolben 1 den oberen Totpunkt OT erreicht hat bzw. kurz davor, erfolgt die Einspritzung von Treibstoff und Wasser in die Brennkammer 7. Nur beim Kaltstart des Verbrennungsmotors erfolgt eine Zündung über die Zündkerze 9. Zum Kaltstart des Motors wird weiters der Kolben 1 über die Welle 2 und das Kurvengetriebe mittels eines in der Figur nicht dargestellten Elektromotors angetrieben.

[0024] Nach dem vollständigen Abbrand des Treibstoff-Luftgemisches, wobei sich der Kolben 1 immer noch an seinem oberen Totpunkt OT befindet, wird das Expansionskammer-Auslaßventil 30 geschlossen und das Brennkammer-Auslaßventil 11 geöffnet. Der Druck in der Expansionskammer 12 steigt dadurch zunächst rasch an und sinkt in der Folge bei nach unten laufendem Kolben 1 allmählich wieder ab. Bei Vollastbetrieb ist der Druck in der Expansionskammer 12 bei einer bevorzugten Betriebsweise gerade auf Atmosphärendruck abgesunken, wenn der Kolben 1 den unteren Totpunkt UT erreicht hat. In diesem Fall wird bei Teillastbetrieb des Motors der Atmosphärendruck bereits erreicht, während sich der Kolben 1 noch auf seinem Weg vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt befindet. In der Folge kommt es im Teillastbetrieb zu einem Absinken des Drucks in der Expansionskammer 12 unter Atmosphärendruck. Das Verbrennungsgas wird dadurch "verdünnt", bevor die Implosionsphase eingeleitet wird. Die Implosionsphase wird eingeleitet, sobald der Kolben 1 den unteren Totpunkt UT erreicht hat, indem Kühlwasser in die Expansionskammer 12 eingespritzt wird. Durch die schlagartige Abkühlung des Verbrennungsgases kommt es dadurch zu einem weiteren Absinken des Drucks in der Expansionskammer 12, der nun auch im Falle des Vollastbetriebs des Motors unterhalb des Atmosphärendrucks liegt. Der Kolben 1 wird durch diesen Unterdruck nach oben gezogen und bewegt sich nunmehr vom unteren Totpunkt in Richtung des oberen Totpunkts. Während dieser Bewegung wird anfangs noch das Brennkammer-Auslaßventil 11 offengehalten, um den Ladungsaustausch in der Brennkammer 7 zu ermöglichen. Es folgt die weitere Aufwärtsbewegung des Kolbens, bei der die Frischluft in der Brennkammer 7 verdichtet wird und außerdem der Druck in der Expansionskammer 12 in Richtung Atmosphärendruck ansteigt. Kurz bevor der Kolben 1 den oberen Totpunkt erreicht, steigt der Druck in der Expansionskammer 12 über den Atmosphärendruck an und das Expansionskammer-Auslaßventil 30 wird geöffnet, wobei das in der Expansionskammer 12 enthaltene Verbrennungsgas-Wassergemisch durch das Expansionskammer-Aus-

laßventil 30 ausgepreßt wird ("Auspuffphase"). Mit Erreichen des oberen Totpunktes OT des Kolbens 1 oder kurz davor erfolgt die nächste Zündung des Treibstoffs in der Brennkammer. Bis zu dessen vollständiger Verbrennung verharrt der Kolben am oberen Totpunkt ("Wartephase"), worauf durch Öffnen des Auslaßventils 11 die nächste Expansionsphase eingeleitet wird.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Betriebsweise ist bereits im Vollastbetrieb eine Verdünnung des Verbrennungsgases bis unterhalb des Atmosphärendrucks vorgesehen, wenn der Kolben den unteren Totpunkt erreicht hat.

[0026] Das Volumen des Zylinderraums 25 der Verdichterpumpe 23 ist um mindestens 25 %, in einer bevorzugten Ausführungsform um mindestens 50 % größer, als es dem Volumen für eine Befüllung der Brennkammer mit einem Gemisch entspricht, dessen Mischungsverhältnis eine Luftzahl von $\lambda = 1$ aufweist, und zwar bei einer bei Vollast des Motors in die Brennkammer 7 eingespritzten Menge an Treibstoff. Es kann dadurch in Verbindung mit dem drosselbaren Lufteinlaßventil 24 sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Drehzahlen des Motors jeweils eine Luftzahl des Gemisches in der Brennkammer 7 von mindestens $\lambda = 1$ erreicht werden. Die Vollast des Motors entspricht der bei der jeweiligen Drehzahl maximalen Leistungsabgabe, für die der Motor ausgelegt ist.

[0027] Anstelle des beschriebenen gedrosselten Lufteinlaßventils 24 könnte ein gedrosseltes Lufteinlaßventil z. B. auch in Form eines elektromagnetischen Ventils ausgeführt werden.

Legende zu den Hinweisziffern:

[0028]

- 1 Kolben
- 2 Welle
- 3 innere Kurvenfläche
- 4 äußere Kurvenfläche
- 5 Stange
- 6 Rolle
- 7 Brennkammer
- 9 Zündkerze
- 10 Einheit
- 11 Brennkammer-Auslaßventil
- 12 Expansionskammer
- 13 Flansch
- 14 wärmeisolierende Schicht
- 15 wärmeisolierende Schicht
- 16 Zylinderkopf
- 17 Zylinderwand
- 18 Kolbendichtung
- 19 Einspritzdüse
- 20 Kissen
- 21 Verdichterkolben
- 22 Kolbenstange
- 23 Verdichterpumpe

- 24 Lufteinlaßventil
- 25 Zylinderraum
- 26 Ventilteller
- 27 Ventilschaft
- 5 28 Kolben
- 29 Luftauslaßventil
- 30 Expansionskammer-Auslaßventil
- 31 Kolben-Zylinder-Einheit
- 32 Zylinderraum
- 10 33 Einheit
- 34 Feder
- 35 Dichtring
- 36 Drehachse
- 37 Hebel
- 15 38 Stift
- 40 Leitungsstück
- 41 Wasserabscheider
- 42 Wassertank
- 43 Auspuff
- 20 44 Rolle
- 45 Nockenscheibe
- 46 Rolle
- 47 Hebel
- 48 Nockenscheibe
- 25 49 Stift
- 50 Hebel
- 53 erster Abschnitt
- 54 zweiter Abschnitt
- 55 dritter Abschnitt
- 30 56 Federeinrichtung
- 57 Druckfeder
- 58 Druckplatte
- 59 Schraube
- 60 Linie
- 35 61 Linie
- 62 Fläche
- 63 Fläche

40 Patentansprüche

1. Verbrennungsmotor mit einer Brennkammer zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffs unter Bildung eines Verbrennungsgases, einer mit der Brennkammer über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil verbundenen, separaten Expansionskammer, die einen verschiebbar gelagerten Kolben zur Umsetzung von Energie des Verbrennungsgases in mechanische Arbeit bzw. Energie aufweist, und einer oder mehreren als Kolben-Zylinder-Einheiten ausgebildeten Verdichterpumpen (23) zur Befüllung der Brennkammer mit verdichteter Luft, die jeweils ein Lufteinlaßventil aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Lufteinlaßventil (24) drosselbar ist und daß das Volumen des Zylinderraums (25) der Verdichterpumpe (23) oder, im Falle mehrerer Verdichterpumpen (23), das Gesamtvolumen der Zylinderräume der Verdichterpumpen um

mindestens 25 %, vorzugsweise mindestens 50 % größer ist, als es einem Volumen für eine Befüllung der Brennkammer (7) mit einem Gemisch mit einer Luftzahl von $\lambda = 1$ bei einer bei Vollast des Motors eingebrachten Menge an Treibstoff entspricht.

5

2. Verbrennungsmotor mit einer Brennkammer zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffs unter Bildung eines Verbrennungsgases, einer mit der Brennkammer über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil verbundenen, separaten Expansionskammer, die einen verschiebbar gelagerten Kolben zur Umsetzung von Energie des Verbrennungsgases in mechanische Arbeit bzw. Energie aufweist, und einer oder mehreren als Kolben-Zylinder-Einheiten ausgebildeten Verdichterpumpen (23) zur Befüllung der Brennkammer mit verdichteter Luft, wobei als jeweiliges Lufteinlaßventil in die Verdichterpumpe ein in Schließrichtung vorgespanntes Rückschlagventil vorgesehen ist, das einen an einem Ventilschaft angeordneten Ventilteller umfaßt, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Lufteinlaßventil (24) drosselbar ist, wobei der Ventilschaft (27) mit einem Kolben (28) einer Kolben-Zylinder-Einheit (31) verbunden ist, welche einen Zylinderraum (32) aufweist, in dem ein in Schließrichtung des Lufteinlaßventils wirkender Luftdruck vorliegt, und wobei zur Änderung der Schließkraft des Lufteinlaßventils der Luftdruck im Zylinderraum (32) veränderbar ist.
3. Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit einer Brennkammer zur getakteten Verbrennung eines Treibstoffs unter Bildung eines Verbrennungsgases, einer mit der Brennkammer über ein steuerbares Brennkammer-Auslaßventil verbundenen, separaten Expansionskammer, die einen verschiebbar gelagerten Kolben zur Umsetzung von Energie des Verbrennungsgases in mechanische Arbeit bzw. Energie aufweist, und einer oder mehreren als Kolben-Zylinder-Einheiten ausgebildeten Verdichterpumpen (23) zur Befüllung der Brennkammer mit verdichteter Luft, die jeweils ein Lufteinlaßventil aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, daß** die in die Brennkammer (7) eingebrachte Luftmenge durch Steuerung des drosselbar ausgebildeten Lufteinlaßventils (24) gesteuert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Volumen des Zylinderraums (25) der Verdichterpumpe (23) oder, im Falle mehrerer Verdichterpumpen (23), das Gesamtvolumen der Zylinderräume der Verdichterpumpen um mindestens 25 %, vorzugsweise mindestens 50 % größer ist, als es einem Volumen für eine Befüllung der Brennkammer (7) mit einem Gemisch mit einer Luftzahl von $\lambda = 1$ bei einer bei Vollast des Motors eingebrachten Menge an Treibstoff entspricht.

Fig. 1

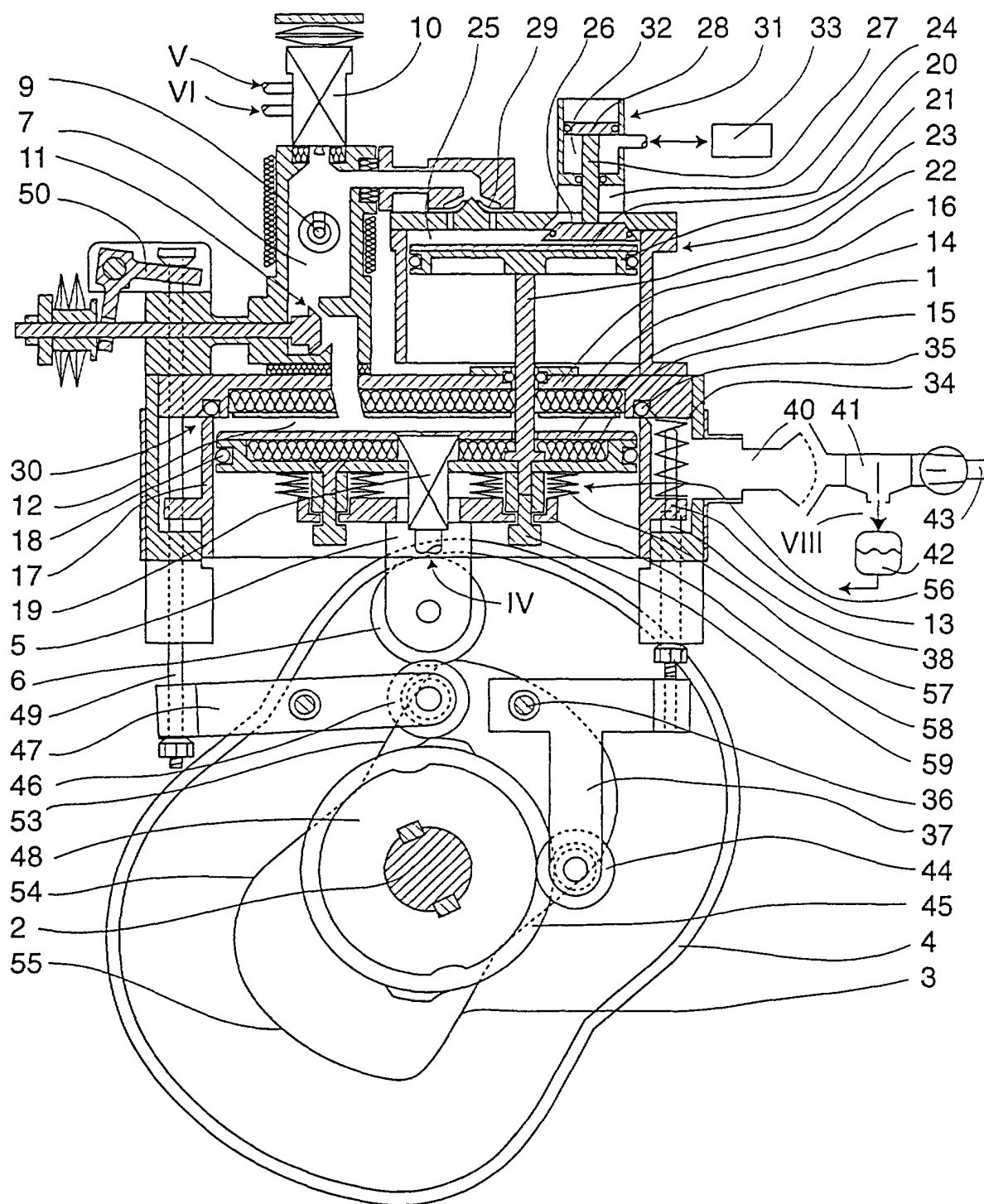


Fig. 2

