

(19)



(11)

**EP 1 301 705 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**03.10.2007 Patentblatt 2007/40**

(51) Int Cl.:  
**F02N 9/02 (2006.01) F02N 17/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **01913583.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/DE2001/000467**

(22) Anmeldetag: **07.02.2001**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2001/081759 (01.11.2001 Gazette 2001/44)**

(54) **VERFAHREN ZUM STARTEN EINER MEHRZYLINDRIGEN BRENNKRAFTMASCHINE**

METHOD FOR STARTING A MULTI-CYLINDER INTERNAL COMBUSTION ENGINE

PROCEDE POUR DEMARRER UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE A PLUSIEURS  
CYLINDRES

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR**

(73) Patentinhaber: **ROBERT BOSCH GMBH**  
**70442 Stuttgart (DE)**

(30) Priorität: **26.04.2000 DE 10020325**

(72) Erfinder: **SIEBER, Udo**  
**74321 Bietigheim (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**16.04.2003 Patentblatt 2003/16**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 569 347 DE-A- 3 117 144**  
**DE-A- 19 743 492**

**EP 1 301 705 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

### Stand der Technik

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs in Vorwärtsrichtung, wobei die Stellung eines Kolbens in einem Zylinder der Brennkraftmaschine ermittelt wird und Kraftstoff in einen Brennraum desjenigen Zylinders eingespritzt wird, dessen Kolben sich in einer Arbeitsphase befindet.

**[0002]** Die Erfindung betrifft außerdem eine mehrzylindrige Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs. Die Brennkraftmaschine umfasst eine Detektorvorrichtung zur Ermittlung der Stellung eines Kolbens in einem Zylinder der Brennkraftmaschine und ein Kraftstoffzumesssystem zum Einspritzen von Kraftstoff in einen Brennraum desjenigen Zylinders, dessen Kolben sich in einer Arbeitsphase befindet. Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung auch ein Steuergerät für eine derartige mehrzylindrige Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs.

**[0003]** Ein Verfahren zum Starten einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art ist beispielsweise aus der DE 31 17 144 A1 bekannt. Das dort beschriebene Verfahren arbeitet ohne einen elektromotorischen Anlasser. Bei stillstehender Brennkraftmaschine wird dabei in den Brennraum eines oder mehrerer Zylinder (Startzylinder), deren Kolben sich in der Arbeitsphase befinden, eine für eine Verbrennung notwendige Menge an Kraftstoff eingespritzt und gezündet. Danach wird jeweils in den Brennraum des oder der Zylinder, deren Kolben den nächsten Arbeitstakt ausführen, Kraftstoff eingespritzt und gezündet, sobald die betreffenden Kolben die Arbeitsstellung erreicht haben. Auf diese Weise kann die Brennkraftmaschine ohne einen elektrischen Anlasser und die damit notwendigerweise verbundenen Bauteile ausgebildet werden. Zudem kann ein Akkumulator der Brennkraftmaschine kleiner dimensioniert werden, da dieser keine elektrische Energie mehr für den Anlasser und die übrigen elektrischen Bauteile liefern muss.

**[0004]** Bei dem bekannten Verfahren zum Starten einer Brennkraftmaschine ist bei einer Kolbenstellung des Startzylinders nahe dem oberen Totpunkt nur eine relativ geringe Luftmasse in dem Brennraum des Startzylinders enthalten. Die aufgrund der geringen Luftmasse aus der Verbrennung des in den Brennraum eingespritzten Kraftstoffs resultierende Brennenergie liefert u. U. eine zu geringe Startenergie, so dass die Brennkraftmaschine nicht gestartet werden kann. Des weiteren kann der Abstand zwischen einem Einspritzventil, über das der Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt wird, und dem Kolben zu gering sein, so dass der eingespritzte Kraftstoff in Folge von Penetration fast vollständig in einen kaum verdampfungsfähigen Kolbenwandfilm übergeht.

**[0005]** Als weiterer Stand der Technik wird noch auf die DE 197 43 492 A1 verwiesen, aus der ebenfalls ein

Verfahren zum Starten einer Brennkraftmaschine ohne einen elektrischen Anlasser bekannt ist.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine mehrzylindrige Brennkraftmaschine ohne elektrischen Anlasser unabhängig von der Stellung der Kolben in den Zylindern vor dem Startvorgang zuverlässig zu starten.

**[0007]** Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung ausgehend von dem Verfahren der eingangs genannten Art vor, dass die Brennkraftmaschine zunächst in Rückwärtsrichtung bewegt wird, indem Kraftstoff in einen Brennraum mindestens eines Zylinders eingespritzt wird, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Verdichtungsphase befindet, und der in dem Brennraum des mindestens einen Zylinders verdichtete Kraftstoff gezündet wird, wobei die Drehbewegung in Rückwärtsrichtung vor Erreichen des unteren Totpunktes der Kolben des mindestens einen Zylinders zum Stehen kommt, und dass die Brennkraftmaschine dann in Vorwärtsrichtung gestartet wird.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird die Brennkraftmaschine also vor dem anlasserfreien Start zunächst so weit rückwärts bewegt, bis sich die Kolben in dem Startzylinder in einer optimalen Startposition befinden. Da zum Starten der Brennkraftmaschine in Vorwärtsrichtung Kraftstoff in den Brennraum eines Zylinders eingespritzt wird, dessen Kolben sich in einer Arbeitsphase befindet, ist die optimale Startposition der Kolben - in Vorwärtsrichtung betrachtet - unmittelbar nach dem oberen Totpunkt. Ausgehend von dieser Stellung der Kolben kann eine Verbrennung des in den Brennraum des Startzylinders eingespritzten Kraftstoffs eine besonders große Brennenergie und somit auch Startenergie erzeugen.

**[0009]** Des weiteren wird erfindungsgemäß während der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine eine relativ große Luftmasse in den Brennraum desjenigen Zylinders gesaugt, der sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in der Arbeitsphase befindet. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die aus der Verbrennung des in den Brennraum des Startzylinders eingespritzten Kraftstoffs resultierende Brennenergie eine ausreichend große Startenergie liefert, so dass die Brennkraftmaschine zuverlässig gestartet werden kann.

**[0010]** Schließlich wird durch die Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine vor dem Starten in Vorwärtsrichtung der Kolben des Startzylinders von dem Einspritzventil wegbewegt, so dass beim Einspritzen des Kraftstoffs in den Brennraum des Startzylinders keine bzw. nur eine sehr geringe Penetration auftritt und der eingespritzte Kraftstoff fast vollständig in ein leicht entzündliches Kraftstoff-Luft-Gemisch in Form einer Kraftstoffwolke übergeht.

**[0011]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass Einlass- und/oder Auslassventile des mindestens einen Zylinders, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - vor seinem oberen Totpunkt befindet, vor dem Startvorgang in eine der Verdichtungsphase entspre-

chende Stellung gebracht werden. Um die Ventile unabhängig von der Brennkraftmaschine in eine vorgebbare Stellung-bringen zu können bedarf es bspw. einer nokkenwellenfreien Steuerung der Einlass- und/oder Auslassventile. Damit kann jedes Einlass- und Auslassventil getrennt von den anderen Ventilen und unabhängig von der Stellung der Nockenwelle angesteuert werden. Zur nokkenwellenfreien Steuerung sind die Einlass- und/oder Auslassventile entweder einzeln oder mehrere gemeinsam mit einem Stellorgan ausgerüstet. Das Stellorgan kann hydraulisch, piezoelektrisch, elektromagnetisch oder auf andere Weise arbeiten. Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von nokkenwellenfreien Steuerungen für Einlass- und Auslassventile bekannt, die in Verbindung mit dem vorliegenden erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt werden können. Gemäß der Weiterbildung können die Ventile unabhängig und - soweit es der Ventilvergabung zulässt - frei geöffnet bzw. geschlossen werden. Auf diese Weise gelingt es, vor bzw. während des Startvorgangs von einer Ansaugphase in eine Arbeitsphase und umgekehrt zu wechseln. In entsprechender Weise ist auch der Wechsel von einer Verdichtungsphase zu einer Ausstoßphase und umgekehrt möglich.

**[0012]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Einlass- und/oder Auslassventile von zwei Zylindern, deren Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - vor ihrem oberen Totpunkt befinden, vor dem Startvorgang in eine der Verdichtungsphase entsprechende Stellung gebracht werden. Die Brennkraftmaschine wird also zunächst in eine Rückwärtsrichtung versetzt, indem Kraftstoff in die Brennräume von zwei Zylindern eingespritzt wird, deren Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Verdichtungsphase befindet. Dann wird der in dem Brennraum der beiden Zylinder verdichtete Kraftstoff gezündet. Durch die doppelte Verbrennung wird eine ausreichend große Brennenergie und damit eine ausreichend große Startenergie erzeugt, um eventuelle Haftreib- bzw. Reib- und Kompressionswiderstände der Brennkraftmaschine zu überwinden und die Brennkraftmaschine zunächst sicher in eine Rückwärtsbewegung zu versetzen.

**[0013]** Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass während der Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung die Einlass- und/oder Auslassventile eines Zylinders, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase befindet, derart gezielt betätigt werden, dass die Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung vor Erreichen des unteren Totpunktes der Kolben des mindestens einen Zylinders zum Stehen kommt. Durch Schließen der Einlass- und Auslassventile eines Zylinders, dessen Kolben sich in einer Ansaugphase befindet, zu Beginn des erfindungsgemäßen Verfahrens oder während der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine kann in dem Brennraum während der Rückwärts-

bewegung ein Druck aufgebaut werden, durch den die Rückwärtsbewegung abgebremst wird. Durch gezieltes Öffnen der Einlass- und/oder Auslassventile kann die Höhe des sich in dem Brennraum während der Rückwärtsbewegung aufbauenden Drucks gesteuert werden, so dass die Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung genau vor Erreichen des unteren Totpunktes der Kolben des mindestens einen Zylinders zum Stehen kommt.

**[0014]** Vorteilhafterweise werden die Einlass- und Auslassventile des Zylinders, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase befindet, während der Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung geschlossen.

**[0015]** Vorzugsweise werden die Einlass- und Auslassventile des Zylinders, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase befindet, nach der Drehrichtungsumkehr der Brennkraftmaschine für eine vorgebbare Zeitdauer geschlossen gehalten. Dadurch kann die in dem Brennraum gespeicherte Kompressionsenergie zur Beschleunigung der Kurbelwelle in Vorwärtsrichtung genutzt werden.

**[0016]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, während der Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung Kraftstoff in einen Brennraum eines weiteren Zylinders eingespritzt wird, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Arbeitsphase befindet, und der in dem Brennraum des mindestens einen Zylinders verdichtete Kraftstoff - in Rückwärtsrichtung betrachtet - vor Erreichen des oberen Totpunktes gezündet wird. Während der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine wird der eingespritzte Kraftstoff in dem Brennraum verdichtet und schließlich kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes gezündet. Durch das Verdichten des Kraftstoffs wird die Rückwärtsbewegung - falls noch nicht geschehen - bis zum Stillstand abgebremst. Durch das Entzünden des Kraftstoffs wird die Brennkraftmaschine dann in eine entgegengesetzte Vorwärtsbewegung versetzt. Damit wird der anlasserfreie Startvorgang in Vorwärtsrichtung eingeleitet.

**[0017]** Gemäß einer noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird dann im weiteren Verlauf des Startvorgangs Kraftstoff in einen Brennraum eines Zylinders eingespritzt, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase oder einer Verdichtungsphase befindet, und der in dem Brennraum des mindestens einen Zylinders verdichtete Kraftstoff gezündet. Der Einspritzbeginn in den Brennraum des weiteren Zylinders liegt bspw. in der Ansaugphase des Kolbens und erfolgt mit einem Einspritzdruck, der von einer unabhängig von der Brennkraftmaschine betriebenen Vorförderpumpe des Kraftstoffzumesssystems aufgebaut wird. Die Vorförderpumpe ist bspw. als eine unabhängig von der Brennkraftmaschine angetriebene Elektrokraftstoffpumpe ausgebildet. Eine Vorförderpumpe dient bspw. bei einem Common-Rail-Kraftstoffzumesssystem zum Fördern von Kraftstoff aus

einem Kraftstoffvorratsbehälter in einen Niederdruckbereich des Kraftstoffzumesssystems. Der Einspritzbeginn kann - sofern der Einspritzdruck hoch genug ist - aber auch in die fortschreitende Verdichtungsphase bis kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes verlagert werden. Ein derart hoher Einspritzdruck kann bspw. durch eine unabhängig von der Brennkraftmaschine betriebenen Hochdruckpumpe des Kraftstoffzumesssystems erzeugt werden. Bei einem Common-Rail-Kraftstoffzumesssystem bspw. fördert die Hochdruckpumpe Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich des Kraftstoffzumesssystems mit Hochdruck in einen Hochdruckspeicher. Von dem Hochdruckspeicher zweigen Einspritzventile ab, über die Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher in die Brennräume der Zylinder eingespritzt wird. Die Hochdruckpumpe kann bspw. elektrisch angetrieben werden. Durch die Verbrennung des in den Brennraum des Zylinders eingespritzten Kraftstoff wird die Drehbewegung der Pleuellwelle in Vorwärtsrichtung weiter beschleunigt.

**[0018]** Unter die vorgeschlagene Ausführungsform fällt auch der Fall, dass Kraftstoff während der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine in einen Brennraum eines Zylinders eingespritzt wird, dessen Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ausstoßphase befindet. Dies entspricht während der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine einer Ansaugphase. Der in diesen Zylinder eingespritzte Kraftstoff kann dann während der Vorwärtsbewegung der Brennkraftmaschine in der Verdichtungsphase, vorzugsweise gegen Ende der Verdichtungsphase, gezündet werden. Selbstverständlich kann auch in diesem Fall der Einspritzbeginn in die fortschreitende Verdichtungsphase - während der Vorwärtsbewegung der Brennkraftmaschine - verlagert werden.

**[0019]** Aus dem erfindungsgemäßen Verfahren ergeben sich zusätzliche Freiheitsgrade bei dem Startvorgang, die u. a. dazu genutzt werden können, nach einer erfolglosen ersten Zündung einen zweiten Startversuch einzuleiten. Die erste Zündung ist bspw. dann erfolglos, wenn sich die Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung nicht bewegt oder der erste Kompressionswiderstand nicht überwunden werden konnte. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass nach einer erfolglosen ersten Zündung des in den mindestens einen Zylinder eingespritzten Kraftstoffs das Verfahren noch einmal mit invertierten Phasen der einzelnen Zylinder durchgeführt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren wird also - und zwar mit invertierten Phasen der einzelnen Zylinder - durchgeführt. Das bedeutet, dass durch entsprechende Betätigung der Einlass- und/oder Auslassventile die Zylinder, die - in Vorwärtsrichtung betrachtet - während des ersten Startversuchs in einer Verdichtungsphase waren bei dem zweiten Startversuch in einer Ausstoßphase sind und umgekehrt. Außerdem werden die Zylinder, die während des ersten Startversuchs in einer Arbeitsphase waren bei dem zweiten Startversuch in eine Ansaugphase versetzt und umgekehrt. Bei dem zweiten Startver-

such erfolgt die Einspritzung von Kraftstoff in die Brennräume und die Zündung des verdichteten Kraftstoffs in der oben beschriebenen Weise.

**[0020]** Um den Kompressionswiderstand während des erfindungsgemäßen Startvorgangs zu verringern, wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass während des Startvorgangs in einer Verdichtungsphase eines Zylinders der Brennkraftmaschine das entsprechende Einlassventil des Zylinders verspätet geschlossen wird. Dadurch kann jede durchlaufene Verdichtungsphase durch verspätetes Schließen der entsprechenden Einlassventile - diese sind während der vor der Verdichtungsphase stattfindenden Ansaugphase geöffnet - in vorteilhafter Weise verkürzt werden. Auf diese Weise kann die Pleuellwelle der Brennkraftmaschine durch die Verbrennung zu Beginn des Startvorgangs wesentlich leichter in eine Drehbewegung in Vorwärtsrichtung versetzt und die Brennkraftmaschine gestartet werden.

**[0021]** Vorteilhafterweise wird der in einem Brennraum eines Zylinders verdichtete Kraftstoff kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes des Kolbens des jeweiligen Zylinders gegen Ende der Verdichtungsphase gezündet.

**[0022]** Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Steuerelements, das für ein Steuergerät einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs vorgesehen ist. Dabei ist gemäß Anspruch 12, auf dem Steuerelement ein Programm abgespeichert, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfindung durch ein auf dem Steuerelement abgespeichertes Programm realisiert, so dass dieses mit dem Programm versehenen Steuerelement in gleicher Weise die Erfindung darstellt wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Programm geeignet ist. Als Steuerelement kann insbesondere ein elektrisches Speichermedium zur Anwendung kommen, beispielsweise ein Read-Only-Memory oder ein Flash-Memory.

**[0023]** Als eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von der mehrzylinderigen Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass die Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 13, Mittel zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 aufweist.

**[0024]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Brennkraftmaschine eine nockenwellenfreie Steuerung von Einlass- und/oder Auslassventilen der Brennräume aufweist.

**[0025]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Kraftstoffzumesssystem eine unabhängig von der Brennkraftmaschine angetriebene Hochdruckpumpe zum Aufbau eines Kraftstoffeinspritzdrucks aufweist.

**[0026]** Als noch eine weitere Lösung der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von dem Steuergerät der ein-

gangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Steuergerät gemäß Anspruch 16, Mittel zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 aufweist. Das Steuergerät führt also zum Starten einer Brennkraftmaschine eine Ansteuerung von an dem erfindungsgemäßen Startvorgang beteiligten Komponenten der Brennkraftmaschine aus, insbesondere des Kraftstoffzuleitungssystems und der Zündung. Das Steuergerät erhält den Befehl zum Starten der Brennkraftmaschine bspw. durch die Betätigung eines Zündschlüssels oder eines Anlasserknopfes.

**[0027]** Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 ein schematisches Diagramm eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Starten der Brennkraftmaschine aus Fig. 1; und

Fig. 3 ein schematisches Diagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Starten der Brennkraftmaschine aus Fig. 1.

**[0028]** In Fig. 1 ist eine Brennkraftmaschine in ihrer Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet. Die Brennkraftmaschine 1 weist einen Kolben 2 auf, der in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar ist. Der Zylinder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, an den über Ventile 5 ein Ansaugrohr 6 und ein Abgasrohr 7 angeschlossen sind. Des Weiteren sind dem Brennraum 4 ein mit einem Signal TI ansteuerbares Einspritzventil 8 und eine mit einem Signal ZW ansteuerbare Zündkerze 9 zugeordnet.

**[0029]** In einer ersten Betriebsart, dem Schichtbetrieb der Brennkraftmaschine 1, wird der Kraftstoff von dem Einspritzventil 8 während einer durch den Kolben 2 hervorgerufenen Verdichtungsphase in den Brennraum 4 eingespritzt, und zwar örtlich in die unmittelbare Umgebung der Zündkerze 9 sowie zeitlich unmittelbar vor dem oberen Totpunkt OT des Kolbens 2 bzw. vor dem Zündzeitpunkt. Dann wird mit Hilfe der Zündkerze 9 der Kraftstoff gezündet, so dass der Kolben 2 in der nunmehr folgenden Arbeitsphase durch die Ausdehnung des gezündeten Kraftstoffs angetrieben wird.

**[0030]** In einer zweiten Betriebsart, dem Homogenbetrieb der Brennkraftmaschine 1, wird der Kraftstoff von dem Einspritzventil 8 während einer durch den Kolben 2 hervorgerufenen Ansaugphase in den Brennraum 4 eingespritzt. Durch die gleichzeitig angesaugte Luft wird der eingespritzte Kraftstoff verwirbelt und damit in dem Brennraum 4 im Wesentlichen gleichmäßig (homogen) verteilt. Danach wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch während der Verdichtungsphase verdichtet, um dann von der Zündkerze 9 gezündet zu werden. Durch die Ausdehnung des gezündeten Kraftstoffs wird der Kolben 2 angetrieben.

**[0031]** Im Schichtbetrieb wie auch im Homogenbetrieb wird durch den angetriebenen Kolben 2 eine Kurbelwelle 10 in eine Drehbewegung versetzt, über die letztendlich die Räder des Kraftfahrzeugs angetrieben werden. Der Kurbelwelle 10 ist ein Drehzahlsensor 11 zugeordnet, der in Abhängigkeit von der Drehbewegung der Kurbelwelle 10 ein Signal N erzeugt.

**[0032]** Der Kraftstoff wird im Schichtbetrieb und im Homogenbetrieb unter einem hohen Druck über das Einspritzventil 8 in den Brennraum 4 eingespritzt. Zu diesem Zweck ist eine elektrische Kraftstoffpumpe als Vorförderpumpe und eine Hochdruckpumpe vorgesehen, wobei letztere von der Brennkraftmaschine 1 oder elektromotorisch angetrieben sein kann. Die elektrische Kraftstoffpumpe wird unabhängig von der Brennkraftmaschine 1 angetrieben und erzeugt einen sogenannten Rail-Druck EKP von mindestens 3 bar, und die Hochdruckpumpe erzeugt einen Rail-Druck HD bis zu etwa 200 bar.

**[0033]** Die im Schichtbetrieb und im Homogenbetrieb von dem Einspritzventil 8 in den Brennraum 4 eingespritzte Kraftstoffmasse wird von einem Steuergerät 12, insbesondere im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder eine geringe Schadstoffemission, gesteuert und/oder geregelt. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 12 mit einem Mikroprozessor versehen, der in einem Steuerelement, insbesondere in einem Read-Only-Memory, ein Programm abgespeichert hat, das dazu geeignet ist, die genannte Steuerung und/oder Regelung durchzuführen.

**[0034]** Das Steuergerät 12 ist von Eingangssignalen beaufschlagt, die mittels Sensoren gemessene Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 darstellen. Beispielsweise ist das Steuergerät 12 mit einem in dem Ansaugrohr 6 angeordneten Luftmassensensor, einem in dem Abgasrohr 7 angeordneten Lambda-Sensor und/oder mit dem Drehzahlsensor 11 verbunden. Des Weiteren ist das Steuergerät 12 mit einem Fahrpedalsensor 13 verbunden, der ein Signal FP erzeugt, das die Stellung eines von einem Fahrer betätigbaren Fahrpedals angibt.

**[0035]** Das Steuergerät 12 erzeugt Ausgangssignale, mit denen über Aktoren das Verhalten der Brennkraftmaschine 1 entsprechend der erwünschten Steuerung und/oder Regelung beeinflusst werden kann. Beispielsweise ist das Steuergerät 12 mit dem Einspritzventil 8 und der Zündkerze 9 verbunden und erzeugt die zu deren Ansteuerung erforderlichen Signale TI, ZW.

**[0036]** In den Fig. 2 und 3 sind zwei verschiedene erfindungsgemäße Verfahren zum Starten einer 4-Zylinder-Brennkraftmaschine 1 in der Form von Diagrammen schematisch dargestellt. Die einzelnen Zeilen der Diagramme beziehen sich auf den jeweils angegebenen Zylinder 3 der Brennkraftmaschine 1. Die verschiedenen Zylinder 3 sind dabei mit Nummern gekennzeichnet. Die einzelnen Spalten der Diagramme beziehen sich auf die Phasen bzw. Takte, in denen sich der Kolben 2 des zugehörigen Zylinders 3 befindet. Jeder der Kolben 2 kann sich dabei in einer Ansaugphase, einer Verdichtungsphase, einer Arbeitsphase oder einer Ausstoßphase befinden. Die Übergänge zwischen den einzelnen Phasen sind durch den oberen Totpunkt OT der Kolben 2 gekennzeichnet. Insoweit stellt die horizontale Achse entlang der Phasen der Kolben 2 einen Drehwinkel °KW der Kurbelwelle 10 dar. Gestrichelt und mit dem Bezugszeichen 14 bezeichnet ist die Stellung der Brennkraftmaschine 1 vor dem Start dargestellt, also die Stellung im Stillstand der Brennkraftmaschine 1. Die punktierte Linie 15 zeigt den Wendepunkt der Drehbewegung der Kurbelwelle 10, an dem die Drehrichtung von einer Rückwärtsdrehung in eine Vorwärtsdrehung übergeht.

**[0037]** Bei den in den Figuren dargestellten und nachfolgend beschriebenen Verfahren ist der Drehzahlsensor 11 als Absolutwinkelgeber ausgebildet. Dies bedeutet, dass der Drehzahlsensor 11 jederzeit, insbesondere auch nach einem Stillstand der Brennkraftmaschine 1, den Drehwinkel °KW erzeugt und an das Steuergerät 12 weitergibt. Auf diese Weise kann zu Beginn 14 des Startvorgangs die Stellung der Kolben 2 in den Zylindern 3 ermittelt werden. Alternativ kann die Kurbelwelle 10 auch durch einen elektromotorischen Anlasser in eine notwendige Umdrehung versetzt werden, damit der Drehzahlsensor 11 die Stellung des Kolbens 2 signalisieren kann.

**[0038]** Bei dem Verfahren nach Fig. 2 befinden sich bei stillstehender Brennkraftmaschine 1 die Zylinder 3 in einer Verdichtungsphase (Zylinder Nr. 1), einer Arbeitsphase (Nr. 2), einer Ausstoßphase (Nr. 3) und einer Ansaugphase (Nr. 4). Die Einlass- und Auslassventile 5 des Zylinders Nr. 1 sind zunächst geschlossen. Der Kolben 2 des Zylinders Nr. 1 befindet sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - vor dem oberen Totpunkt OT. Zu Beginn 14 des Startvorgangs wird in den Brennraum 4 des Zylinders Nr. 1 Kraftstoff eingespritzt. Falls die Hochdruckpumpe von der Brennkraftmaschine 1 angetrieben wird, erfolgt die Einspritzung nur unter Rail-Druck EKP der elektrischen Kraftstoffpumpe. Andernfalls - die Hochdruckpumpe wird unabhängig von der Brennkraftmaschine 1 angetrieben - wird der Kraftstoff zwecks Gemischaufbereitung unter Hochdruck in den Brennraum 4 eingespritzt. Dann wird der eingespritzte Kraftstoff ebenfalls in der Verdichtungsphase gezündet. Dies hat eine erste Verbrennung zur Folge, durch die die Kurbelwelle 10 in eine rückwärts gerichtete Drehbewegung versetzt wird.

**[0039]** Unmittelbar darauf wird Kraftstoff in die Zylinder Nr. 3 und Nr. 4 eingespritzt. Die Ventile 5 des Zylinders Nr. 3 sind geschlossen. Während der Rückwärtsbewe-

gung bewegt sich der Kolben 2 aufwärts und das in dem Zylinder Nr. 3 befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch wird verdichtet. Mit zunehmender Verdichtung wird die rückwärtsgerichtete Bewegung der Kurbelwelle 10 verlangsamt bis sie schließlich in einem Wendepunkt 15 vollständig zum Stehen kommt. Kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes OT wird das verdichtete Kraftstoff-Luft-Gemisch gezündet, und es erfolgt eine zweite Verbrennung, durch die eine Beschleunigung der Kurbelwelle 10 in Vorwärtsrichtung erfolgt. Der dargestellte Bewegungsvorgang setzt für die erste Einspritzung eine entsprechend niedrig bemessene Kraftstoffmenge voraus, so dass die Brennkraftmaschine 1 aufgrund der ersten Verbrennung nicht in Rückwärtsrichtung über den oberen Totpunkt OT der Zylinder Nr. 2 und Nr. 3 hinausdreht.

**[0040]** Während der Einspritzung des Kraftstoffs in den Zylinder Nr. 4 befindet sich dessen Kolben - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ausstoßphase, was im vorliegenden Fall bei der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine 1 einer Ansaugphase entspricht. Der in den Zylinder Nr. 4 eingespritzte Kraftstoff wird während der Vorwärtsbewegung der Brennkraftmaschine 1 gegen Ende der Verdichtungsphase gezündet, was eine dritte Verbrennung und eine weitere Beschleunigung der Kurbelwelle 10 in Vorwärtsrichtung bewirkt. Selbstverständlich kann der Einspritzbeginn auch in die fortschreitende Verdichtungsphase - während der Vorwärtsbewegung der Brennkraftmaschine 1 - verlagert werden, falls der Einspritzdruck ausreichend groß ist.

**[0041]** Der eigentliche Startvorgang in Vorwärtsrichtung beginnt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren somit stets aus dem Wendepunkt 15 heraus, in dem die Kolben 2 in den Zylindern 3 eine optimale Stellung aufweisen. Zum einen sind die Zylinder, deren Kolben sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in der Arbeitsphase befindet, mit einer relativ großen Luftmasse gefüllt. Die aus der Verbrennung des in den Brennraum eingespritzten Kraftstoffs resultierende Brennenergie liefert somit eine ausreichend große Startenergie, um die Brennkraftmaschine zu starten. Des weiteren ist der Abstand zwischen dem Einspritzventil 8 und der Oberfläche des Kolbens 2 so groß, dass der in den Brennraum 4 eingespritzte Kraftstoff fast vollständig in ein leicht entzündliches Kraftstoff-Luft-Gemisch in Form einer Kraftstoffwolke übergeht.

**[0042]** Die weiteren Einspritzungen, Zündungen und Stellungen der Ventile 5 sind in dem Diagramm am Beispiel des Zylinders Nr. 2 und des Zylinders Nr. 1 dargestellt. Demnach erfolgen die weiteren Einspritzungen während der Ansaugphase des jeweiligen Zylinders 3. Alternativ können die weiteren Einspritzungen auch während der Verdichtungsphase erfolgen, falls der Einspritzdruck ausreichend groß ist. Die weiteren Zündungen erfolgen gegen Ende der Verdichtungsphase kurz vor oder kurz nach Erreichen des oberen Totpunktes OT.

**[0043]** Die Einlass- und Auslassventile 5 des Brennraums 4 werden mittels einer nockenwellenfreien Steuerung verstellt. Dazu ist jedes Einlass- und Auslassventil 5 mit einem eigenen Stellorgan ausgerüstet. Dadurch

können die Ventile 5 unabhängig und frei - soweit es der Ventilfreigang zulässt geöffnet bzw. geschlossen werden. Auf diese Weise gelingt es, von einer Ansaugphase in eine Arbeitsphase und umgekehrt zu wechseln. In entsprechender Weise ist der Wechsel von einer Verdichtungsphase in eine Ausstoßphase und umgekehrt möglich.

**[0044]** Dadurch können nach einem erfolglosen ersten Startversuch die Phasen aller Zylinder 3 für einen zweiten Startversuch auf einfache Weise invertiert werden, d.h. es wird zwischen Verdichtungsphase und Ausstoßphase sowie zwischen Arbeitsphase und Ansaugphase umgeschaltet. Eine erfolgloser erster Startversuch liegt bspw. vor, wenn die Brennkraftmaschine 1 sich nicht bewegt oder der erste Kompressionswiderstand nicht überwunden werden konnte. Bei dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 2 liegt bei dem zweiten Startversuch somit für den Zylinder Nr. 4 zu Beginn 14 des Startvorgangs - in Vorwärtsrichtung betrachtet - die Ausstoßphase vor. Es wird Kraftstoff in den Brennraum 4 des Zylinders Nr. 4 eingespritzt und gezündet. Durch die erste Verbrennung wird die Brennkraftmaschine 1 in einer Rückwärtsbewegung versetzt. Dann wird Kraftstoff in die Zylinder Nr. 2 und Nr. 1 eingespritzt. Der Zylinder Nr. 2 befindet sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in der Arbeitsphase. In Rückwärtsrichtung betrachtet - kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes wird der in Zylinder Nr. 2 eingespritzte Kraftstoff gezündet. Es kommt zu einer zweiten Verbrennung, die eine Vorwärtsbewegung der Brennkraftmaschine 1 zur Folge hat. Während der Rückwärtsbewegung der Brennkraftmaschine 1 befindet sich der Kolben des Zylinders Nr. 1 in einer Bewegung nach unten, was einer Ansaugphase entspricht. Der in den Zylinder Nr. 1 eingespritzte Kraftstoff wird in der Vorwärtsbewegung der Brennkraftmaschine 1 gegen Ende der Verdichtungsphase gezündet. Im weiteren Verlauf des Startvorgangs wird dann in den Zylinder Nr. 3 und nachfolgend in alle weiteren Zylinder in der Ansaugphase bzw. der Verdichtungsphase Kraftstoff eingespritzt und gegen Ende der Verdichtungsphase gezündet.

**[0045]** Um den Kompressionswiderstand während des erfindungsgemäßen Startvorgangs zu verringern, kann jede durchlaufene Verdichtungsphase durch verspätetes Schließen der entsprechenden Einlassventile 5 - diese sind während der vor der Verdichtungsphase stattfindenden Ansaugphase geöffnet - geeignet verkürzt werden. Das beschriebene Verfahren ist mit entsprechenden Modifikationen auch bei Brennkraftmaschinen 1 mit mehr als vier Zylindern anwendbar.

**[0046]** Bei dem Verfahren gemäß Fig. 3 befindet sich der Zylinder Nr. 1 und der Zylinder Nr. 4 durch Schließen der Ventile 5 in der Arbeitsphase. In beide Zylinder 3 wird gleichzeitig Kraftstoff eingespritzt und gezündet. Die doppelte Verbrennung führt zu einer starken Anfangsbeschleunigung der Kurbelwelle 10. Durch die doppelte Verbrennung sind zu Beginn 14 des Startvorgangs ausreichend Reserven vorhanden, um eventuelle Reib- und Kompressionswiderstände der Brennkraftmaschine 1 si-

cher zu überwinden.

**[0047]** Alle weiteren Einspritzungen, Zündungen und Ventilstellungen entsprechen denen des Verfahrens aus Fig. 1 und können dem Diagramm in Fig. 3 unmittelbar entnommen werden. Selbstverständlich können auch bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens die Kompressionswiderstände verringert werden, indem jede durchlaufene Verdichtungsphase durch verspätetes Schließen der entsprechenden Einlassventile 5 geeignet verkürzt wird. Mit entsprechenden Modifikationen ist diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens auch bei Brennkraftmaschinen 1 mit mehr als vier Zylindern anwendbar.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Starten einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs in Vorwärtsrichtung, wobei die Stellung eines Kolbens (2) in einem Zylinder (3) der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird und Kraftstoff in einen Brennraum (4) desjenigen Zylinders (3) eingespritzt wird, dessen Kolben (2) sich in einer Arbeitsphase befindet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine (1) zunächst in Rückwärtsrichtung bewegt wird, indem Kraftstoff in einen Brennraum (4) mindestens eines Zylinders (3) eingespritzt wird, dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Verdichtungsphase befindet, und der in dem Brennraum (4) des mindestens einen Zylinders (3) verdichtete Kraftstoff gezündet wird, wobei die Drehbewegung in Rückwärtsrichtung vor Erreichen des unteren Totpunktes (UT) der Kolben (2) des mindestens einen Zylinders (3) zum Stehen kommt, und dass die Brennkraftmaschine (1) dann in Vorwärtsrichtung gestartet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** Einlass- und/oder Auslassventile (5) des mindestens einen Zylinders (3), dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - vor seinem oberen Totpunkt (OT) befindet, vor dem Startvorgang in eine der Verdichtungsphase entsprechende Stellung gebracht werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einlass- und/oder Auslassventile (5) von zwei Zylindern (3), deren Kolben (2) sich in Vorwärtsrichtung betrachtet - vor ihrem oberen Totpunkt (OT) befinden, vor dem Startvorgang in eine der Verdichtungsphase entsprechende Stellung gebracht werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** während der Drehbewegung der Brennkraftmaschine (1) in Rückwärtsrichtung die Einlass- und/oder Auslassventile

- (5) eines Zylinders (3), dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase befindet, derart gezielt betätigt werden, dass die Drehbewegung der Brennkraftmaschine (1) in Rückwärtsrichtung vor Erreichen des unteren Totpunktes (UT) der Kolben (2) des mindestens einen Zylinders (3) zum Stehen kommt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einlass- und Auslassventile (5) des Zylinders (3), dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase befindet, während der Drehbewegung der Brennkraftmaschine (1) in Rückwärtsrichtung geschlossen werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einlass- und Auslassventile (5) des Zylinders (3), dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase befindet, nach der Drehrichtungsumkehr der Brennkraftmaschine (1) für eine vorgebbare Zeitdauer geschlossen gehalten werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** während der Drehbewegung der Brennkraftmaschine (1) in Rückwärtsrichtung Kraftstoff in einen Brennraum (4) eines weiteren Zylinders (3) eingespritzt wird, dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Arbeitsphase befindet, und der in dem Brennraum (4) des mindestens einen Zylinders (3) verdichtete Kraftstoff - in Rückwärtsrichtung betrachtet - vor Erreichen des oberen Totpunktes (OT) gezündet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** im weiteren Verlauf des Startvorgangs Kraftstoff in einen Brennraum (4) eines Zylinders (3) eingespritzt wird, dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Ansaugphase oder einer Verdichtungsphase befindet, und der in dem Brennraum (4) des mindestens einen Zylinders (3) verdichtete Kraftstoff gezündet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach einer erfolglosen ersten Zündung des in den mindestens einen Zylinder (3) eingespritzten Kraftstoffs das Verfahren noch einmal mit invertierten Phasen der einzelnen Zylinder (3) durchgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Startvorgangs in einer Verdichtungsphase eines Zylinders (3) der Brennkraftmaschine (1) das entsprechende Einlassventil (5) des Zylinders (3) verspätet geschlossen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der in einem Brennraum (4) eines Zylinders (3) verdichtete Kraftstoff kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes (OT) des Kolbens (2) des jeweiligen Zylinders (3) gegen Ende der Verdichtungsphase gezündet wird.
12. Steuerelement, insbesondere Read-Only-Memory oder Flash-Memory, für ein Steuergerät (12) einer Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, auf dem ein Programm abgespeichert ist, das auf einem Rechnergerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche geeignet ist.
13. Mehrzylindrige Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, wobei die Brennkraftmaschine (1) eine Detektorvorrichtung zur Ermittlung der Stellung eines Kolbens (2) in einem Zylinder (3) der Brennkraftmaschine (1), ein Kraftstoffzumesssystem zum Einspritzen von Kraftstoff in einen Brennraum (4) desjenigen Zylinders (3), dessen Kolben (2) sich in einer Arbeitsphase befindet, und eine Zündkerze (9) zum Entzünden von in dem Brennraum (4) verdichtetem Kraftstoff aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kraftstoffzumesssystem Kraftstoff in den Brennraum (4) mindestens eines Zylinders (3) einspritzt, dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Verdichtungsphase befindet, dass die Zündkerze (9) den in dem Brennraum (4) des mindestens einen Zylinders (3) verdichteten Kraftstoff entzündet, wodurch sich eine Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung ergibt, die vor Erreichen des unteren Totpunktes -(UT) der Kolben (2) des mindestens einen Zylinders (3) beendet ist, und dass Mittel zum Starten der Brennkraftmaschine (1) diese in Vorwärtsrichtung starten.
14. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine (1) eine nockenwellenfreie Steuerung von Einlass- und/oder Auslassventilen (5) der Brennräume (4) aufweist.
15. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kraftstoffzumesssystem eine unabhängig von der Brennkraftmaschine (1) angetriebene Hochdruckpumpe zum Aufbau eines Kraftstoffeinspritzdrucks aufweist.
16. Steuergerät (12) einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, wobei die Brennkraftmaschine (1) eine Detektorvorrichtung zur Ermittlung der Stellung eines Kolbens (2) in einem Zylinder (3) der Brennkraftmaschine (1), ein Kraftstoffzumesssystem zum Einspritzen von



Kraftstoff in einen Brennraum (4) desjenigen Zylinders (3), dessen Kolben (2) sich in einer Arbeitsphase befindet, und eine Zündkerze (9) zum Entzünden von in dem Brennraum (4) verdichtetem Kraftstoff aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuergerät (12) das Kraftstoffzumesssystem derart ansteuert, dass es Kraftstoff in den Brennraum (4) mindestens eines Zylinders (3) einspritzt, dessen Kolben (2) sich - in Vorwärtsrichtung betrachtet - in einer Verdichtungsphase befindet, dass das Steuergerät (12) die Zündkerze (9) derart ansteuert, dass sie den in dem Brennraum (4) des mindestens einen Zylinders (3) verdichteten Kraftstoff entzündet, wodurch sich eine Drehbewegung der Brennkraftmaschine in Rückwärtsrichtung ergibt, die vor Erreichen des unteren Totpunktes (UT) der Kolben (2) des mindestens einen Zylinders (3) beendet ist, und dass das Steuergerät (12) Mittel zum Starten der Brennkraftmaschine (1) derart ansteuert, dass sie diese in Vorwärtsrichtung starten.

## Claims

1. Method for starting a multi-cylinder internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, in the forward direction, the position of a piston (2) in a cylinder (3) of the internal combustion engine (1) being determined, and fuel being injected into a combustion space (4) of that cylinder (3), the piston (2) of which is in a working phase, **characterized in that** the internal combustion engine (1) is first moved in the reverse direction, **in that** fuel is injected into a combustion space (4) of at least one cylinder (3), the piston (2) of which is in a compression phase, as seen in the forward direction, and the fuel compressed in the combustion space (4) of the at least one cylinder (3) is ignited, the rotational movement in the reverse direction coming to a stop before the bottom dead centre (BDC) of the pistons (2) of the at least one cylinder (3) is reached, and **in that** the internal combustion engine (1) is then started in the forward direction.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** inlet and/or outlet valves (5) of the at least one cylinder (3), the piston (2) of which is prior to its top dead centre (TDC), as seen in the forward direction, are brought before the starting operation into a position corresponding to the compression phase.
3. Method according to Claim 2, **characterized in that** the inlet and/or outlet valves (5) of two cylinders (3), the pistons (2) of which are prior to their top dead centre (TDC), as seen in the forward direction, are brought before the starting operation into a position corresponding to the compression phase.
4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that**, during the rotational movement of the internal combustion engine (1) in the reverse direction, the inlet and/or outlet valves (5) of a cylinder (3), the piston (2) of which is in an intake phase, as seen in the forward direction, are actuated in a directed manner such that the rotational movement of the internal combustion engine (1) in the reverse direction comes to a stop before the bottom dead centre (BDC) of the pistons (2) of the at least one cylinder (3) is reached.
5. Method according to Claim 4, **characterized in that** the inlet and outlet valves (5) of the cylinder (3), the piston (2) of which is in an intake phase, as seen in the forward direction, are closed during the rotational movement of the internal combustion engine (1) in the reverse direction.
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the inlet and outlet valves (5) of the cylinder (3), the piston (2) of which is in an intake phase, as seen in the forward direction, are kept closed for a predetermined duration after the reversal of the direction of rotation of the internal combustion engine (1).
7. Method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that**, during the rotational movement of the internal combustion engine (1) in the reverse direction, fuel is injected into a combustion space (4) of a further cylinder (3), the piston (2) of which is in a working phase, as seen in the forward direction, and the fuel compressed in the combustion space (4) of the at least one cylinder (3) is ignited before the top dead centre (TDC) is reached, as seen in the reverse direction.
8. Method according to Claim 7, **characterized in that**, in the further course of the starting operation, fuel is injected into a combustion space (4) of a cylinder (3), the piston (2) of which is in an intake phase or a compression phase, as seen in the forward direction, and the fuel compressed in the combustion space (4) of the at least one cylinder (3) is ignited.
9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that**, after an unsuccessful first ignition of the fuel injected into the at least one cylinder (3), the method is carried out once again with inverted phases of the individual cylinders (3).
10. Method according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that**, during the starting operation, in a compression phase of a cylinder (3) of the internal combustion engine (1), the corresponding inlet valve (5) of the cylinder (3) is closed with a delay.
11. Method according to one of Claims 1 to 10, **characterized in that**, during the starting operation, in a compression phase of a cylinder (3) of the internal combustion engine (1), the corresponding inlet valve (5) of the cylinder (3) is closed with a delay.

**terized in that** the fuel compressed in a combustion space (4) of a cylinder (3) is ignited towards the end of the compression phase shortly before the top dead centre (TDC) of the piston (2) of the respective cylinder (3) is reached.

12. Control element, in particular Read-Only-Memory or Flash-Memory, for a control apparatus (12) of an internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, in which is stored a program which is executable on a computing apparatus, in particular on a micro-processor, and which is suitable for carrying out a method according to one of the preceding claims.

13. Multi-cylinder internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, the internal combustion engine (1) having a detector device for determining the position of a piston (2) in a cylinder (3) of the internal combustion engine (1), a fuel metering system for the injection of fuel into a combustion space (4) of that cylinder (3), the piston (2) of which is in a working phase, and a spark plug (9) for the ignition of fuel compressed in the combustion space (4), **characterized in that** the fuel metering system injects fuel into the combustion space (4) of at least one cylinder (3), the piston (2) of which is in a compression phase, as seen in the forward direction, **in that** the spark plug (9) ignites the fuel compressed in the combustion space (4) of the at least one cylinder (3), thus resulting in a rotational movement of the internal combustion engine in the reverse direction, which is terminated before the bottom dead centre (BDC) of the pistons (2) of the at least one cylinder (3) is reached, and **in that** means for starting the internal combustion engine (1) start the latter in the forward direction.

14. Internal combustion engine (1) according to Claim 13, **characterized in that** the internal combustion engine (1) has a camshaft-free control of inlet and/or outlet valves (5) of the combustion spaces (4).

15. Internal combustion engine (1) according to Claim 13 or 14, **characterized in that** the fuel metering system has a high-pressure pump driven independently of the internal combustion engine (1) in order to build up a fuel injection pressure.

16. Control apparatus (12) of a multi-cylinder internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, the internal combustion engine (1) having a detector device for determining the position of a piston (2) in a cylinder (3) of the internal combustion engine (1), a fuel metering system for the injection of fuel into a combustion space (4) of that cylinder (3), the piston (2) of which is in a working phase, and a spark plug (9) for the ignition of fuel compressed in the

combustion space (4), **characterized in that** the control apparatus (12) activates the fuel metering system in such a way that it injects fuel into the combustion space (4) of at least one cylinder (3), the piston (2) of which is in a compression phase, as seen in the forward direction, **in that** the control apparatus (12) activates the spark plug (9) in such a way that it ignites the fuel compressed in the combustion space (4) of the at least one cylinder (3), thus resulting in a rotational movement of the internal combustion engine in the reverse direction which is terminated before the bottom dead centre (BDC) of the pistons (2) of the at least one cylinder (3) is reached, and **in that** the control apparatus (12) activates means for starting the internal combustion engine (1) in such a way that they start the latter in the forward direction.

## Revendications

1. Procédé pour démarrer un moteur à combustion interne à plusieurs cylindres, en particulier d'un véhicule automobile, en marche avant, selon lequel on détermine la position d'un piston (2) dans un cylindre (3) du moteur à combustion interne et on injecte du carburant dans la chambre de combustion (4) de ce cylindre (3) dont le piston (2) se trouve en phase de travail,

### caractérisé en ce que

le moteur à combustion interne est tout d'abord actionné en marche arrière, avec injection de carburant dans une chambre de combustion (4) d'au moins un cylindre (3) dont le piston (2) (par rapport au sens de la marche avant) se trouve dans une phase de compression et le carburant comprimé dans la chambre de combustion (4) d'au moins un cylindre (3) est allumé, le mouvement de rotation étant arrêté avant l'atteinte du point mort bas (UT) du piston (2) de ce cylindre (3) et ensuite on démarre le moteur à combustion interne (1) en marche avant.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la soupape d'admission et/ou d'échappement (5) du cylindre (3) dont le piston (par rapport au sens de marche avant) se trouve avant le point mort haut (OT), avant le processus de démarrage, sont mises à une position correspondant à la phase de compression.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les soupapes d'admission et/ou d'échappement (5) de deux cylindres (3) dont les pistons (2) se trouvent (par rapport à la marche avant) avant leur point mort haut (OT) sont mises, avant le processus de démarrage, dans une position correspondant à la phase

de compression.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que**

pendant le mouvement de rotation du moteur à combustion interne en marche arrière, les soupapes d'admission et/ou d'échappement d'un cylindre (3) dont le piston se trouve (par rapport au sens de la marche avant) dans une phase d'aspiration sont commandées de manière ciblée de sorte que le mouvement de rotation du moteur à combustion interne vient de s'arrêter en position arrière avant l'atteinte du point mort bas (UT) du piston (2) de l'unique cylindre (3).

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que**

les soupapes d'admission et d'échappement du cylindre (3), dont le piston (2) se trouve (par rapport au sens de la marche avant) dans une phase d'aspiration, sont fermées pendant le mouvement de rotation du moteur à combustion interne (1) en marche arrière.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**

les soupapes d'admission et d'échappement (5) du cylindre (3), dont le piston (2) se trouve (par rapport au sens de la marche avant) dans une phase d'aspiration, sont maintenues fermées pendant une durée prédéterminée après le changement de direction de rotation du moteur à combustion interne (1).

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que**

pendant le mouvement de rotation du moteur à combustion interne en marche arrière du carburant est injecté dans une chambre de combustion (4) d'un autre cylindre (3) dont le piston (2) se trouve (par rapport au sens de la marche avant) dans une phase de travail et le carburant étanchéifié dans la chambre de combustion (4) cylindre (3) est allumé (par rapport au sens de la marche avant) avant l'atteinte du point mort haut (OT).

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que**

dans la suite du processus de démarrage, du carburant est injecté dans une chambre de combustion (4) d'un cylindre (3) dont le piston (2) se trouve (par rapport au sens direct) dans une phase d'aspiration ou une phase de compression et le carburant comprimé se trouvant dans la chambre de combustion (4) de l'unique cylindre (3) est allumé.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**

après un premier allumage sans succès du carbu-

rant injecté dans l'unique cylindre (3), le procédé est reconduit avec des phases inversées de l'unique cylindre (3).

- 5 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que**

pendant le processus de démarrage dans l'une des phases de compression d'un cylindre (3) du moteur à combustion interne, la soupape d'admission (5) correspondante du cylindre (3) est fermée en retard.

- 10 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que**

le carburant comprimé dans une chambre de combustion (4) d'un cylindre (3) est allumé juste avant d'atteindre le point mort haut (OT) du piston (2) du cylindre correspondant (3) vers la fin de la phase de compression.

- 15 20 25 12. Élément de commande, en particulier mémoire ROM ou mémoire flash pour un appareil de commande (12) d'un moteur à combustion interne (1), en particulier d'un véhicule automobile sur lequel est mémorisé un programme pouvant être exécuté sur un appareil de calcul, en particulier un microprocesseur et approprié à la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une des revendications précédentes.

- 30 35 40 45 13. Moteur à combustion interne 1 à plusieurs cylindres, en particulier d'un véhicule automobile, le moteur à combustion interne (1) comportant un dispositif de détection pour déterminer la position d'un piston (2) dans au moins un cylindre (3) du moteur à combustion interne, un dispositif de dosage du carburant à injecter dans une chambre de combustion (4) du cylindre (3), dont le piston (2) se trouve dans une phase de travail et une bougie d'allumage (9) pour allumer le carburant comprimé dans la chambre de combustion (4),

**caractérisé en ce que**

le système de dosage de carburant injecte du carburant dans la chambre de combustion (4) d'au moins un cylindre (3) dont le piston (2) se trouve (par rapport au sens de la marche avant) dans une phase de compression, la bougie d'allumage (9) allume le carburant comprise dans la chambre de combustion (4) de l'unique cylindre (3), engendrant un mouvement de rotation du moteur à combustion interne en marche arrière qui s'achève avant l'atteindre du point mort bas (UT) du piston (2) de ce cylindre (3) et des moyens pour démarrer le moteur à combustion interne (1) démarrent celui-ci en marche avant.

- 50 55 14. Moteur à combustion interne (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**

le moteur à combustion interne (1) présente une commande sans arbre à came des soupapes (5)

d'admission et d'échappement de la chambre de combustion (4).

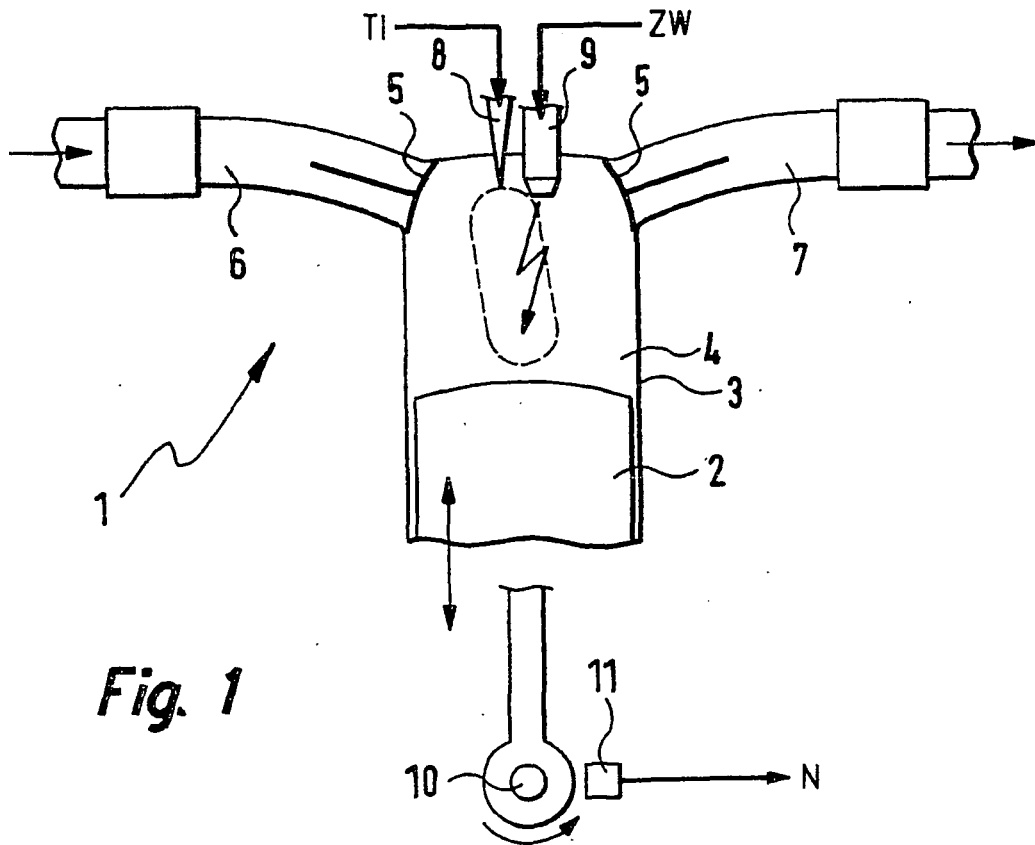
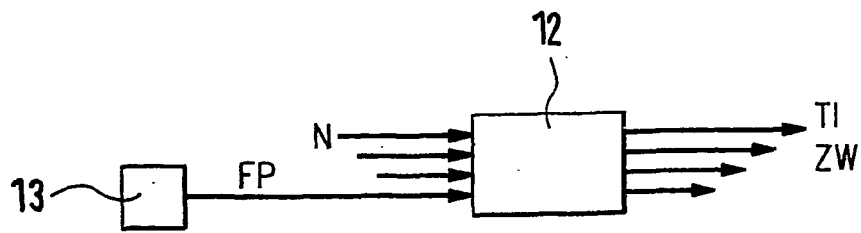
- 15.** Moteur à combustion interne (1) selon la revendication 13 ou 14, 5  
**caractérisé en ce que**  
 le système de dosage de carburant a une pompe haute pression commandée indépendamment du moteur à combustion interne (1) pour établir une pression d'injection de carburant. 10
- 16.** Appareil de commande 12 d'un moteur à combustion interne (1) à plusieurs cylindres, en particulier d'un véhicule automobile, le moteur à combustion interne (1) comportant un dispositif de détection pour déterminer la position d'un piston (2) dans au moins un cylindre (3) du moteur à combustion interne, un dispositif de dosage du carburant à injecter dans une chambre de combustion (4) du cylindre (3), dont le piston (2) se trouve dans une phase de travail et une bougie d'allumage (9) pour allumer le carburant comprimé dans la chambre de combustion (4), 15  
**caractérisé en ce que**  
 le système de dosage de carburant injecte du carburant dans la chambre de combustion (4) d'au moins un cylindre (3) dont le piston (2) se trouve (par rapport au sens de la marche avant) dans une phase de compression, la bougie d'allumage (9) allume le carburant comprimé dans la chambre de combustion (4) de l'unique cylindre (3), engendrant un mouvement de rotation du moteur à combustion interne en marche arrière qui s'achève avant l'atteindre du point mort bas (UT) du piston (2) de ce cylindre (3) et des moyens pour démarrer le moteur à combustion interne (1) démarrent celui-ci en marche avant. 20  
25  
30  
35

40

45

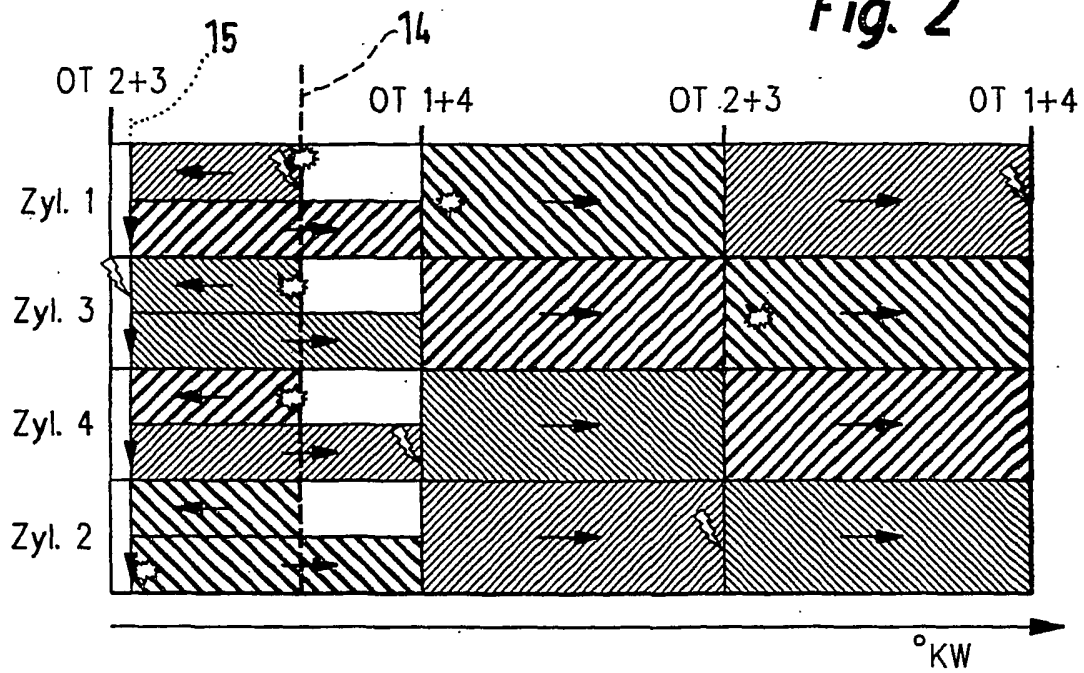
50

55

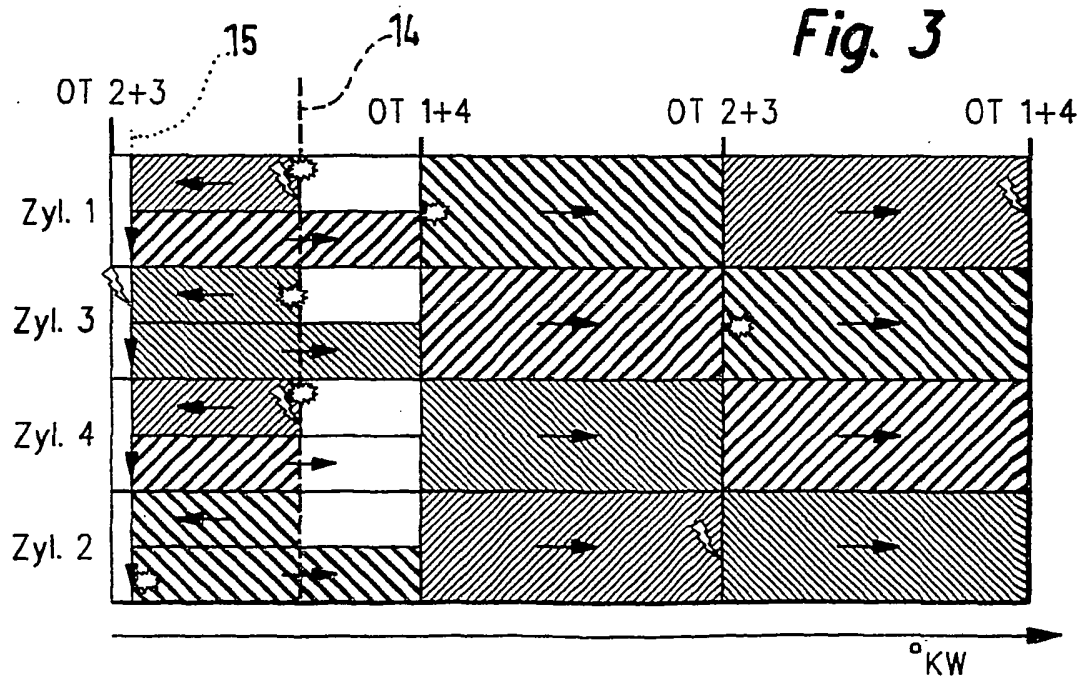


**Fig. 1**

**Fig. 2**



**Fig. 3**



⚡ Einspritzung

⚡ Zuendung

Verdichtungsphase

Arbeitsphase

Ausstossphase

Ansaugphase

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 3117144 A1 [0003]
- DE 19743492 A1 [0005]