



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 212 951.1**

(22) Anmeldetag: **15.07.2016**

(43) Offenlegungstag: **01.02.2018**

(51) Int Cl.: **F02M 61/14 (2006.01)**

F02B 3/02 (2006.01)

F02B 23/10 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

(74) Vertreter:
Dörfler, Thomas, Dr.-Ing., 50735 Köln, DE

(72) Erfinder:
**Breuer, Albert, 50769 Köln, DE; Khosravi, Maziar,
50827 Köln, DE; Lorenz, Thomas, 50737 Köln, DE;
Ruhland, Helmut, Dr., 52249 Eschweiler, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine mit im Zylinderrohr angeordneter Einspritzvorrichtung und Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinder (1), bei der

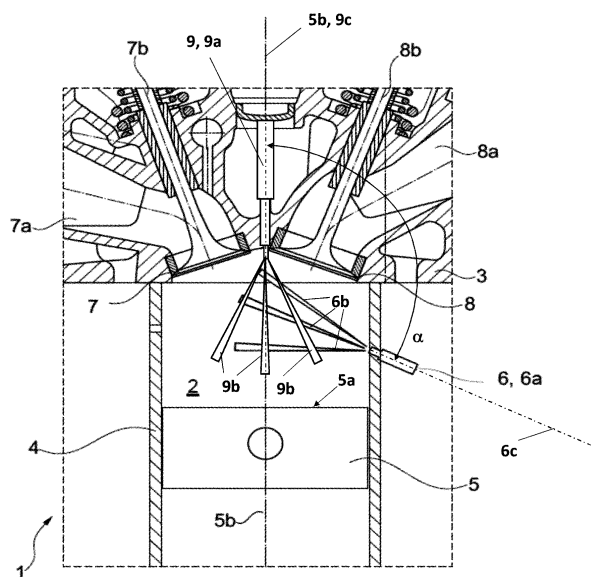
– jeder Zylinder (1) mindestens eine Einlassöffnung (7) zum Zuführen von Verbrennungsluft via Ansaugsystem und mindestens eine Auslassöffnung (8) zum Abführen der Abgase via Abgasabfuhrsystem aufweist,

– jeder Zylinder (1) einen Brennraum (2) umfasst, der durch ein den Brennraum (2) seitlich begrenzendes Zylinderrohr (4) mit ausgebildet ist, und

– jeder Zylinder (1) in einem Bereich des Zylinderrohres (4) mit einer Einspritzvorrichtung (6) zum direkten Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum (2) ausgestattet ist, die über mindestens eine Öffnung verfügt, welche im Rahmen eines Einspritzvorganges zwecks Einbringens von Kraftstoff in den Brennraum (2) aktivierbar ist

dadurch gekennzeichnet, dass

– jeder Zylinder (1) mit einer zusätzlichen Einspritzvorrichtung (9) ausgestattet ist, die im zylinderzugehörigen Zylinderkopf (3) angeordnet ist, wobei die Einspritzvorrichtung (6) auf die zusätzliche Einspritzvorrichtung (9) ausgerichtet ist, in der Art, dass eine virtuelle Verlängerung (6c) einer Längsachse (6c) der Einspritzvorrichtung (6) mit einer virtuellen Verlängerung (9c) einer Längsachse (9c) der zusätzlichen Einspritzvorrichtung (9) in einer Projektion senkrecht zur Kolbenlängsachse (5b) einen stumpfen Winkel α bildet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinderkopf umfassend mindestens einen Zylinder, bei der

- jeder Zylinder mindestens eine Einlassöffnung zum Zuführen von Verbrennungsluft via Ansaugsystem und mindestens eine Auslassöffnung zum Abführen der Abgase via Abgasabfuhrsystem aufweist,
- jeder Zylinder einen Brennraum umfasst, der durch einen Kolbenboden eines zylinderzugehörigen Kolbens, ein den Brennraum seitlich begrenzendes Zylinderrohr und den mindestens einen Zylinderkopf mit ausgebildet ist, wobei der Kolben entlang einer Kolbenlängsachse zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt bewegbar ist, und
- jeder Zylinder in einem Bereich des Zylinderrohres mit einer Einspritzvorrichtung zum direkten Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum ausgestattet ist, die über mindestens eine Öffnung verfügt, welche im Rahmen eines Einspritzvorganges zwecks Einbringens von Kraftstoff in den Brennraum aktivierbar ist.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine.

[0003] Eine Brennkraftmaschine der genannten Art wird als Kraftfahrzeugantrieb eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff Brennkraftmaschine fremdgezündete Ottomotoren, aber auch fremdgezündete Hybrid-Brennkraftmaschinen, d. h. fremdgezündete Brennkraftmaschinen, die mit einem Hybrid-Brennverfahren betrieben werden, sowie Hybrid-Antriebe, die neben der fremdgezündeten Brennkraftmaschine eine mit der Brennkraftmaschine antriebsverbindbare Elektromaschine umfassen, welche Leistung von der Brennkraftmaschine aufnimmt oder als zuschaltbarer Hilfsantrieb zusätzlich Leistung abgibt.

[0004] Brennkraftmaschinen verfügen über einen Zylinderblock und mindestens einen Zylinderkopf, die zur Ausbildung der Zylinder und deren Brennräume miteinander verbunden werden bzw. sind. Der Zylinderblock dient regelmäßig als obere Kurbelgehäusehälfte zur Lagerung der Kurbelwelle und zur Aufnahme des Kolbens bzw. der Zylinderlaufbuchse jedes Zylinders. Der Kolben kann auch unter Weglassen einer Buchse als Zwischenelement direkt in einer Bohrung des Blocks gelagert und geführt sein. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird sowohl die Zylinderlaufbuchse als auch die Bohrung unter den Begriff Zylinderrohr subsumiert.

[0005] Der Zylinderkopf dient üblicherweise zur Aufnahme der für den Ladungswechsel erforderlichen Ventiltriebe. Im Rahmen des Ladungswechsels erfolgt das Abführen der Verbrennungsgase via Abgasabfuhrsystem über die mindestens eine Auslassöffnung und das Zuführen der Verbrennungsluft via Ansaugsystem über die mindestens eine Einlassöffnung des Zylinders. Nach dem Stand der Technik werden bei Viertaktmotoren zur Steuerung des Ladungswechsels nahezu ausschließlich Hubventile verwendet. Das Ventil einschließlich des zugehörigen Betätigungsmechanismus wird als Ventiltrieb bezeichnet.

[0006] Die im Kurbelgehäuse gelagerte Kurbelwelle nimmt die Pleuelstangenkräfte auf und transformiert die oszillierende Hubbewegung der Kolben in eine rotierende Drehbewegung der Kurbelwelle. Die durch den Zylinderblock gebildete obere Kurbelgehäusehälfte wird regelmäßig ergänzt durch die an den Zylinderblock montierbare und als untere Kurbelgehäusehälfte dienende Ölwanne.

[0007] Bei der Entwicklung von Brennkraftmaschinen ist man ständig bemüht, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren und die Schadstoffemissionen zu reduzieren.

[0008] Problematisch ist der Kraftstoffverbrauch insbesondere bei Ottomotoren, d. h. bei fremdgezündeten Brennkraftmaschinen. Der Grund hierfür liegt im prinzipiellen Arbeitsverfahren des traditionellen Ottomotors. Der traditionelle Ottomotor arbeitet mit einer äußeren Gemischbildung und einem homogenen Kraftstoff-Luft-Gemisch, wobei die Einstellung der gewünschten Leistung durch Veränderung der Füllung des Brennraums erfolgt, d. h. mittels einer Quantitätsregelung. Durch Verstellen einer im Ansaugsystem vorgesehenen Drosselklappe kann der Druck der angesaugten Luft stromabwärts 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. Dies erklärt auch, weshalb sich die Quantitätsregelung gerade im Teillastbetrieb als nachteilig erweist, denn geringe Lasten erfordern eine hohe Drosselung und Druckabsenkung im Ansaugsystem, wodurch die Ladungswechselverluste mit abnehmender Last und zunehmender Drosselung steigen.

[0009] Einen Lösungsansatz zur Entdrosselung des ottomotorischen Arbeitsverfahrens bietet die Direktinspritzung des Kraftstoffes. Die Einspritzung des Kraftstoffes direkt in den Brennraum des Zylinders wird als eine geeignete Maßnahme angesehen, den Kraftstoffverbrauch auch bei Ottomotoren spürbar zu reduzieren. Die Entdrosselung der Brennkraftmaschine wird dadurch realisiert, dass in gewissen Grenzen eine Qualitätsregelung zur Anwendung kommt.

[0010] Mit der direkten Einspritzung des Kraftstoffes in den Brennraum lässt sich insbesondere eine geschichtete Brennraumladung realisieren, die wesentlich zur Entdrosselung des ottomotorischen Arbeitsverfahren beitragen kann, da die Brennkraftmaschine mit Hilfe des Schichtladebetriebs weit abgemagert werden kann, was insbesondere im Teillastbetrieb, d. h. im unteren und mittleren Lastbereich, wenn nur geringe Kraftstoffmengen einzuspritzen sind, thermodynamische Vorteile bietet.

[0011] Die Direkteinspritzung ist durch eine inhomogene Brennraumladung gekennzeichnet, welche nicht durch ein einheitliches Luftverhältnis charakterisiert ist, sondern regelmäßig sowohl magere ($\lambda > 1$) Gemischteile als auch fette ($\lambda < 1$) Gemischteile aufweist. Die Inhomogenität des Kraftstoff-Luft-Gemisches ist auch ein Grund dafür, dass die vom dieselmotorischen Verfahren her bekannten Partikelemissionen beim direkteinspritzenden Ottomotor ebenfalls von Relevanz sind, wohingegen diese Emissionen beim traditionellen Ottomotor nahezu keine Bedeutung haben.

[0012] Für die Einspritzung des Kraftstoffes, die Gemischaufbereitung im Brennraum, nämlich die Durchmischung von Luft und Kraftstoff und die Aufbereitung des Kraftstoffes im Rahmen von Vorreaktionen einschließlich der Verdampfung, sowie der Zündung des aufbereiteten Gemisches steht vergleichsweise wenig Zeit zur Verfügung, weshalb die Anforderungen an die Gemischbildung besonders hoch sind.

[0013] Da bei einer Direkteinspritzung nur wenig Zeit für die Gemischbildung zur Verfügung steht, sind Maßnahmen erforderlich, mit denen die Gemischbildung unterstützt und beschleunigt wird, um das Kraftstoff-Luft-Gemisch vor der Einleitung der Fremdzündung weitestgehend zu homogenisieren; zumindest solange kein Schichtladebetrieb angestrebt wird. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Verteilen des Kraftstoffes im Brennraum und damit auch dem Einspritzen des Kraftstoffes zu.

[0014] Im Wesentlichen können beim direkteinspritzenden Ottomotor drei Verfahren zur Gemischbildung unterschieden werden.

[0015] Beim luftgeführten Verfahren wird versucht, die Gemischbildung mittels einer der Einlassströmung – beim Ansaugen der Luft in den Brennraum – aufgezwungenen Bewegung zu beeinflussen. Auf diese Weise soll eine gute Durchmischung der angesaugten Luft mit dem eingespritzten Kraftstoff erzielt werden, wobei ein direktes Auftreffen des eingespritzten Kraftstoffes auf die Innenwände des Brennraums durch die erzeugte Ladungsbewegung bzw. Strömung verhindert werden soll.

[0016] Beispielsweise kann die Erzeugung eines sogenannten Tumbles oder einer Drallströmung die Gemischbildung beschleunigen und unterstützen. Ein Tumble ist ein Luftwirbel um eine gedachte Achse, welche parallel zur Längsachse, d. h. zur Drehachse der Kurbelwelle verläuft, im Gegensatz zu einem Drall, der einen Luftwirbel darstellt, dessen Achse parallel zur Kolben- d. h. Zylinderlängsachse verläuft.

[0017] Die Anordnung und die Geometrie des Ansaugsystems, d. h. der Ansaugleitungen, hat maßgeblich Einfluss auf die Ladungsbewegung und damit auf die Gemischbildung, wobei die Ladungsbewegung im Zylinder durch die Brennraumgeometrie mit beeinflusst wird, insbesondere durch die Geometrie des Kolbenbodens bzw. einer gegebenenfalls im Kolbenboden vorgesehenen Kolbenmulde. Nach dem Stand der Technik werden bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen ausschließlich zur Kolbenlängsachse rotationssymmetrische Mulden verwendet, insbesondere omegaförmige Mulden. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse im Zylinderkopf ist eine Optimierung der Ansaugleitungen in Hinblick auf die Gemischbildung und den Ladungswechsel gegebenenfalls nicht oder aber nicht vollumfänglich möglich.

[0018] Beim wandgeführten Verfahren wird der Kraftstoff in der Art in den Brennraum eingespritzt, dass der Einspritzstrahl gezielt auf eine den Brennraum begrenzende Wand gerichtet wird, vorzugsweise in eine am Kolbenboden vorgesehene Mulde. Der Kraftstoffstrahl soll dabei durch den Aufprall in mehrere Teilstrahlen aufgespalten und umgelenkt werden, so dass ein möglichst großer Bereich des Brennraums von den Kraftstoffstrahlen erfasst wird. Insbesondere muss ein Teil des eingespritzten Kraftstoffes in die Nähe der Zündeinrichtung gelenkt werden, um dort mit der angesaugten Luft ein zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch auszubilden.

[0019] Während beim luftgeführten Verfahren ein direktes Auftreffen des eingespritzten Kraftstoffes auf die Brennrauminnenwände verhindert werden soll, wird dies beim wandgeführten Verfahren angestrebt. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang, dass die Benetzung der Brennrauminnenwände mit Kraftstoff die Ölverdünnung fördert und die Rohemissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen sowie die Partikelemissionen in nachteiliger Weise steigert.

[0020] Beim strahlgeführten Verfahren wird der Kraftstoff gezielt in Richtung Zündeinrichtung eingespritzt, was durch eine entsprechende Ausrichtung der Einspritzstrahlen und eine entsprechend abgestimmte Anordnung von Einspritzeinrichtung und Zündeinrichtung erreicht wird, beispielsweise durch eine Anordnung sowohl der Zündeinrichtung als auch der Einspritzeinrichtung zentral im Zylinderkopf auf der dem Kolbenboden gegenüberliegenden Seite.

[0021] Der Transport und die Verteilung des Kraftstoffes erfolgen im Wesentlichen durch den Impuls des Einspritzstrahls, so dass die Gemischbildung vergleichsweise unabhängig von der Brennraumgeometrie ist, was einen wesentlichen Vorteil gegenüber den beiden anderen Verfahren darstellt. Das strahlgeführte Verfahren eignet sich besonders für den geschichteten Betrieb der Brennkraftmaschine, weil einerseits ein zündfähiges Gemisch in einem eng begrenzten Bereich um die Zündeinrichtung herum ausgebildet werden kann und sich andererseits in weiten Bereichen des Brennraums eine geringe Kraftstoffkonzentration realisieren lässt.

[0022] Die meisten Verfahren zur Gemischbildung weisen sowohl eine luftgeführte als auch eine strahlgeführte Komponente auf.

[0023] Aus dem Stand der Technik sind Konzepte bekannt, bei denen die Einspritzvorrichtung im Zylinderkopf auf der dem Kolbenboden gegenüberliegenden Seite angeordnet ist. In Abhängigkeit von der Eindringtiefe der Einspritzstrahlen, der eingespritzten Kraftstoffmenge und dem Einspritzzeitpunkt, d. h. der Stellung des Kolbens, gelangt ein mehr oder weniger großer Anteil des Kraftstoffes bei der Einspritzung auf die Brennrauminnenwände, insbesondere auf das Zylinderrohr und den Kolbenboden, und mischt sich mit dem dort anhaftenden Ölfilm. Der Kraftstoff gelangt zusammen mit dem Öl in das Kurbelgehäuse und trägt so maßgeblich zur Ölverdünnung bei. Die Benetzung der Brennrauminnenwände mit Kraftstoff wirkt sich zudem nachteilig auf die Rohemission an unverbrannten Kohlenwasserstoffen sowie die Partikelemission aus.

[0024] Grundsätzlich und im Rahmen der vorliegenden Erfindung soll folglich eine Benetzung der Brennrauminnenwände mit eingespritztem Kraftstoff verhindert bzw. vermindert werden.

[0025] Nach dem Stand der Technik kommen daher auch Einspritzvorrichtungen zum Einsatz, deren Einspritzstrahlen eine verminderte bzw. geringe Eindringtiefe in den Brennraum aufweisen. In der Praxis hat sich aber gezeigt, dass die Brennrauminnenwände trotz verminderter Eindringtiefe mit Kraftstoff benetzt werden und zwar auch dann, wenn die Einspritzstrahlen nicht unmittelbar auf die Brennrauminnenwände treffen. Ursächlich verantwortlich dafür ist nicht verdampfter flüssiger Kraftstoff, der in Gestalt von Kraftstofftröpfchen infolge der Ladungsbewegung im Brennraum zu den Brennrauminnenwänden hin transportiert wird und diese benetzt.

[0026] Aus dem Stand der Technik sind auch Konzepte bekannt, bei denen die Zylinder der Brennkraftmaschine jeweils im Bereich des Zylinderrohres mit einer Einspritzdüse ausgestattet sind. Die Einspritzdüse eines Zylinders ist dabei auf den Zylinderkopf

ausgerichtet; im Einzelfall auf das Auslassventil des Zylinders. Diese Maßnahme soll die Verdampfung der Kraftstoffteilchen bzw. Kraftstofftröpfchen unterstützen und beschleunigen und damit die Gemischbildung. Gleichzeitig wird der Kopf bzw. das geschlossene Auslassventil mittels Kraftstoff gekühlt. Es sollen sich Vorteile bei den Schadstoffemissionen ergeben. Es können auch zwei Einspritzdüsen im Bereich des Zylinderrohres vorgesehen werden, wodurch die Gemischbildung nochmals verbessert werden soll. Die US 5,421,301 beschreibt eine derartige Brennkraftmaschine.

[0027] Nachteilig an dem in der US 5,421,301 beschriebenen Einspritzverfahren und generell an Brennkraftmaschinen, deren Zylinder im Bereich des Zylinderrohres mit einer Einspritzvorrichtung ausgestattet sind, ist, dass eine Einspritzung erst vorgenommen werden kann, wenn der zylinderzugehörige Kolben auf seinem Weg zum unteren Totpunkt die Einspritzvorrichtung passiert hat und den Brennraum für die Öffnungen der Einspritzvorrichtung zugänglich macht. Dadurch wird das Kurbelwinkelfenster, in welchem eine Einspritzung grundsätzlich erfolgen kann, eingeschränkt. Dies ist umso relevanter, da bei einer Direkteinspritzung von Hause aus schon sehr wenig Zeit für die Gemischbildung zur Verfügung steht.

[0028] Eine Einspritzdüse, die – wie in der US 5,421,301 beschrieben – auf den Zylinderkopf hin ausgerichtet ist, versorgt im Rahmen des Einspritzvorganges nur den zylinderkopfseitigen Bereich des Brennraums mit Kraftstoff, wohingegen der Bereich des Brennraums zwischen Einspritzvorrichtung und unterem Totpunkt, d. h. der kolbenseitige Bereich des Brennraums, beim Einspritzen unberücksichtigt bleibt.

[0029] Die vorstehenden Ausführungen machen deutlich, dass bei direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschinen weiter Bedarf besteht an verbesserten Verfahren zur Gemischbildung.

[0030] Vor dem Hintergrund des Gesagten ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine fremdgezündete direkteinspritzende Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, bei der die Gemischbildung, insbesondere die Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches, verbessert ist und die Benetzung der Brennrauminnenwände mit eingespritztem Kraftstoff weitestgehend verhindert bzw. vermindert wird.

[0031] Eine weitere Teilaufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine aufzuzeigen.

[0032] Gelöst wird die erste Teilaufgabe durch eine direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraft-

maschine mit mindestens einem Zylinderkopf umfassend mindestens einen Zylinder, bei der

- jeder Zylinder mindestens eine Einlassöffnung zum Zuführen von Verbrennungsluft via Ansaugsystem und mindestens eine Auslassöffnung zum Abführen der Abgase via Abgasabfuhrsystem aufweist,
- jeder Zylinder einen Brennraum umfasst, der durch einen Kolbenboden eines zylinderzugehörigen Kolbens, ein den Brennraum seitlich begrenzendes Zylinderrohr und den mindestens einen Zylinderkopf mit ausgebildet ist, wobei der Kolben entlang einer Kolbenlängsachse zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt bewegbar ist, und
- jeder Zylinder in einem Bereich des Zylinderrohres mit einer Einspritzvorrichtung zum direkten Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum ausgestattet ist, die über mindestens eine Öffnung verfügt, welche im Rahmen eines Einspritzvorganges zwecks Einbringens von Kraftstoff in den Brennraum aktivierbar ist, und die dadurch gekennzeichnet ist, dass
- jeder Zylinder mit einer zusätzlichen Einspritzvorrichtung ausgestattet ist, die im zylinderzugehörigen Zylinderkopf angeordnet ist, wobei die Einspritzvorrichtung auf die zusätzliche Einspritzvorrichtung ausgerichtet ist, in der Art, dass eine virtuelle Verlängerung einer Längsachse der Einspritzvorrichtung mit einer virtuellen Verlängerung einer Längsachse der zusätzlichen Einspritzvorrichtung in einer Projektion senkrecht zur Kolbenlängsachse einen stumpfen Winkel α bildet.

[0033] Bei der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine ist jeder Zylinder mit mindestens zwei Einspritzvorrichtungen ausgestattet, nämlich einer Einspritzvorrichtung, die – wie beispielsweise in der US 5,421,301 beschrieben – im zylinderzugehörigen Zylinderrohrbereich angeordnet ist, und einer zusätzlichen Einspritzvorrichtung, die im zylinderzugehörigen Zylinderkopf angeordnet ist. Dies hat gleich mehrere Vorteile bzw. technisch vorteilhafte Effekte zur Folge.

[0034] Die beiden Einspritzvorrichtungen sind nämlich in der Art ausgerichtet, dass die virtuelle Verlängerung der Längsachse der Einspritzvorrichtung mit der Längsachse der zusätzlichen Einspritzvorrichtung bzw. deren virtueller Verlängerung einen stumpfen Winkel α bildet bzw. die Längsachse der Einspritzvorrichtung mit der virtuellen Verlängerung der Längsachse der zusätzlichen Einspritzvorrichtung einen stumpfen Winkel α bildet, wobei ein stumpfer Winkel im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Winkel zwischen 90° und 180° ist. Die Längsachse kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch als Teil der virtuellen Verlängerung der Längsachse angesehen werden.

[0035] Die Einspritzvorrichtungen sind wechselseitig aufeinander ausgerichtet und zwar in der Art, dass zumindest einige der aus den beiden Einspritzvorrichtungen austretenden und in den Brennraum eintretenden Kraftstoffstrahlen gegeneinander gerichtet sind und miteinander kollidieren bzw. interagieren. Die hohen Impulse der gegeneinander gerichteten und miteinander kollidierenden Kraftstoffstrahlen sorgen für eine feine Zerstäubung des Kraftstoffes und eine schnelle und weiträumige Verteilung des Kraftstoffes im Brennraum, wobei der Kraftstoff sich mit der im Brennraum befindlichen Verbrennungsluft mischt und mit dieser interagiert. Dies verbessert insbesondere die Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches, unterstützt und beschleunigt aber auch die Verdampfung der Kraftstoffteilchen bzw. Kraftstofftröpfchen und damit die Gemischbildung im Ganzen. Zu berücksichtigen ist dabei auch, dass die gegeneinander gerichteten und miteinander kollidierenden Kraftstoffstrahlen für zusätzliche Turbulenzen im Brennraum sorgen, d. h. den Turbulenzgrad im Brennraum deutlich erhöhen.

[0036] Die beschleunigte Verteilung des Kraftstoffes im Brennraum unter Ausnutzung der hohen Impulse der einander entgegen gerichteten Kraftstoffstrahlen ist überaus vorteilhaft im Hinblick auf den Umstand, dass bei einer Direkteinspritzung nur sehr wenig Zeit für die Gemischbildung zur Verfügung steht. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang auch, dass das Kurbelwinkelfenster, in welchem eingespritzt werden kann, bei einer im Bereich des Zylinderrohres angeordneten Einspritzdüse, besonders eingeschränkt ist.

[0037] Die schnelle und möglichst umfängliche Verdampfung der Kraftstoffteilchen trägt diesem Umstand ebenfalls Rechnung und verhindert zudem die Benetzung der Brennrauminnenwände mit flüssigem Kraftstoff bzw. vermindert diese weitestgehend. Mit der Benetzung der Brennrauminnenwände entfallen auch die damit einhergehenden nachteiligen Effekte, insbesondere die Ölverdünnung sowie erhöhte Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Ruß.

[0038] Jede Einspritzvorrichtung reduziert die Eindringtiefe der Einspritzstrahlen der jeweils anderen Einspritzvorrichtung, wodurch einer Benetzung der Brennrauminnenwände mit Kraftstoff entgegen gewirkt wird.

[0039] Der kolbenseitige Bereich des Brennraums bleibt nicht unberücksichtigt, wie beispielsweise bei der US 5,421,301, bei der die im Bereich des Zylinderrohres angeordnete Einspritzdüse auf den Zylinderkopf ausgerichtet ist und nur den zylinderkopfseitigen Bereich des Brennraums im Rahmen des Einspritzvorganges mit Kraftstoff versorgt.

[0040] Die Einspritzvorrichtung und die zusätzliche Einspritzvorrichtung spritzen erfindungsgemäß zumindest zeitweise gleichzeitig Kraftstoff ein, können aber auch unabhängig voneinander und insbesondere für sich allein genutzt werden. So kann im Schichtladebetrieb mit der im Bereich des Zylinderrohres angeordneten Einspritzvorrichtung ein zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch im zylinderkopfseitigen Bereich nahe der Zündvorrichtung vor der Einleitung der Fremdzündung generiert werden.

[0041] Mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine wird die erste der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe gelöst, nämlich eine direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitgestellt, bei der die Gemischbildung, insbesondere die Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches, verbessert ist und die Benetzung der Brennrauminnenwände mit eingespritztem Kraftstoff weitestgehend verhindert bzw. vermindert wird.

[0042] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen die Einspritzvorrichtung auf die zusätzliche Einspritzvorrichtung ausgerichtet ist, in der Art, dass die aus der Einspritzvorrichtung austretenden Kraftstoffstrahlen den aus der zusätzlichen Einspritzvorrichtung austretenden Kraftstoffstrahlen entgegen gerichtet sind. Regelmäßig bilden die aus einer Einspritzvorrichtung austretenden Kraftstoffstrahlen einen Kegel bzw. eine keulenförmige Kraftstoffwolke.

[0043] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine werden im Zusammenhang mit den Unteransprüchen erörtert.

[0044] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen die Einspritzvorrichtung gegenüber der Kolbenlängsachse in Richtung des mindestens einen Zylinderkopfes geneigt ist. Dadurch wird der Gefahr einer ungewollten Benetzung des Kolbens mit Kraftstoff weiter entgegen gewirkt.

[0045] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen die zusätzliche Einspritzvorrichtung zwischen der mindestens einen Einlassöffnung und der mindestens einen Auslassöffnung angeordnet ist. Verfügt ein Zylinder über zwei oder mehr Einlassöffnungen bzw. Auslassöffnungen, wird eine Ebene durch die Einlassöffnungen bzw. Auslassöffnungen gelegt. Dann ist die zusätzliche Einspritzvorrichtung gemäß der vorstehenden Ausführungsform zwischen diesen beiden Ebenen anzuordnen.

[0046] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremd-

gezündeten Brennkraftmaschine, bei denen die zusätzliche Einspritzvorrichtung mittig zwischen der mindestens einen Einlassöffnung und der mindestens einen Auslassöffnung angeordnet ist, d. h. zentral. Die zentrale Anordnung der zusätzlichen Einspritzvorrichtung kann im Einzelfall Vorteile bieten bei der weiträumigen Verteilung des Kraftstoffes im Brennraum und der Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches.

[0047] Vorteilhaft können aber auch Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine sein, bei denen die zusätzliche Einspritzvorrichtung dezentral, d. h. seitlich, in dem mindestens einen Zylinderkopf angeordnet ist.

[0048] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen gilt: $\alpha > 120^\circ$, $\alpha > 130^\circ$ bzw. $\alpha > 140^\circ$.

[0049] Vorteilhaft sind besonders Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen gilt: $\alpha > 150^\circ$ bzw. $\alpha > 160^\circ$.

[0050] Vorteilhaft sind insbesondere Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen gilt: $\alpha > 170^\circ$ bzw. $\alpha \approx 180^\circ$.

[0051] Je größer der Winkel α ist desto direkter sind die Einspritzvorrichtungen aufeinander ausgerichtet und desto stärker treten bei der Kollision der gegeneinander gerichteten Kraftstoffstrahlen bzw. Kraftstoffwolken die Effekte auf, die angestrebt werden und beabsichtigt sind, nämlich eine feine Zerstäubung sowie eine schnelle und weiträumige Verteilung des Kraftstoffes im Brennraum zwecks Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bei gleichzeitiger Verdampfung des Kraftstoffes.

[0052] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen die mindestens eine zylinderzugehörige Einlassöffnung und/oder die mindestens eine zylinderzugehörige Auslassöffnung im zylinderzugehörigen Zylinderkopf angeordnet ist.

[0053] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen jeder Zylinder mindestens zwei Einlassöffnungen zum Zuführen von Verbrennungsluft aufweist.

[0054] Es ist die Aufgabe der Ventiltriebe die Einlassöffnungen und Auslassöffnungen der Zylinder rechtzeitig freizugeben bzw. zu versperren, wobei im Rahmen des Ladungswechsels eine schnelle Freigabe möglichst großer Strömungsquerschnitte angestrebt

wird, um die Drosselverluste in den ein- bzw. ausströmenden Gasströmungen gering zu halten und eine möglichst gute Füllung des Zylinders bzw. ein effektives, d. h. vollständiges Ausschleiben der Verbrennungsgase zu gewährleisten. Daher werden die Zylinder einer Brennkraftmaschine vorzugsweise mit zwei oder mehr Einlass- bzw. Auslassöffnungen ausgestattet.

[0055] Vorteilhaft sind aus den vorstehenden Gründen daher auch Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen jeder Zylinder mindestens zwei Auslassöffnungen zum Abführen der Abgase aufweist.

[0056] Vorteilhaft können Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine sein, bei denen jeder Zylinder mit einer weiteren Einspritzvorrichtung ausgestattet ist, die im zylinderzugehörigen Ansaugsystem angeordnet ist. Mittels Saugrohreinspritzung könnte beispielsweise im Teillastbetrieb der Brennkraftmaschine Kraftstoff in das Ansaugsystem stromaufwärts des Einlasses zu einem Zylinder eingebracht werden.

[0057] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen jeder Zylinder zwecks Einleitens der Fremdzündung mit einer Zündvorrichtung ausgestattet ist.

[0058] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen jeder Zylinder zwecks Einleitens der Fremdzündung mit einer zusätzlichen Zündvorrichtung ausgestattet ist.

[0059] Wird die Zündung an zwei voneinander beabstandeten Positionen der beiden Zündvorrichtungen initiiert, d. h. eingeleitet, breiten sich Flammen von diesen beiden Positionen im Brennraum aus, wobei das aufbereitete im Brennraum befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch in der Gesamtheit schneller von einer Flamme erfasst wird als dies bei Verwendung nur einer Zündvorrichtung zu beobachten bzw. der Fall wäre. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch brennt sozusagen schneller durch, wodurch sich thermodynamische Vorteile ergeben können.

[0060] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen der mindestens eine Zylinderkopf zur Ausbildung einer Flüssigkeitskühlung mit mindestens einem Kühlmittelmantel ausgestattet ist.

[0061] Die bei der Verbrennung durch die exotherme, chemische Umwandlung des Kraftstoffes freigesetzte Wärme wird teilweise über die den Brennraum begrenzenden Wandungen an den Zylinderkopf und den Zylinderblock und teilweise über den Abgasstrom

an die angrenzenden Bauteile und die Umgebung abgeführt. Um die thermische Belastung des Zylinderkopfes in Grenzen zu halten, muss ein Teil des in den Zylinderkopf eingeleiteten Wärmestromes dem Zylinderkopf wieder entzogen werden.

[0062] Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Kühlung in Gestalt einer Luftkühlung oder einer Flüssigkeitskühlung auszuführen. Aufgrund der wesentlichen höheren Wärmekapazität von Flüssigkeiten gegenüber Luft können mit einer Flüssigkeitskühlung wesentlich größere Wärmemengen abgeführt werden, weshalb Brennkraftmaschinen regelmäßig mit einer Flüssigkeitskühlung ausgestattet werden. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang, dass die thermische Belastung des Zylinderkopfes stetig zunimmt, auch weil ein zunehmender Anteil der Brennkraftmaschinen – mittels Abgasturboauflader oder mechanischem Lader – aufgeladen wird. Aufgrund des immer dichteren Packaging im Motorraum und der zunehmenden Integration von Bauteilen und Komponenten in den Zylinderkopf, beispielsweise der Integration des Abgaskrümmers, steigt die thermische Belastung des Zylinderkopfes, so dass erhöhte Anforderungen an die Kühlung zu stellen sind und Maßnahmen zu ergreifen sind, die eine thermische Überlastung der Brennkraftmaschine sicher verhindern. Bestrebungen, leichtere Materialien zur Herstellung des Kopfes verwenden zu wollen, die thermisch weniger belastbar sind, erhöhen nochmals die Anforderungen an die Kühlung.

[0063] Verfügt die Brennkraftmaschine über eine Flüssigkeitskühlung, werden im Zylinderkopf in der Regel mehrere Kühlmittelkanäle bzw. mindestens ein Kühlmittelmantel ausgebildet, die das Kühlmittel durch den Zylinderkopf hindurchführen, was eine sehr komplexe Zylinderkopfstruktur bedingt.

[0064] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen in dem mindestens einen Zylinderkopf ein Kühlmittelmantel integriert ist, der einen unteren Kühlmittelmantel, der zwischen den Abgasleitungen und der Montagefläche des Zylinderkopfes angeordnet ist, und einen oberen Kühlmittelmantel, der auf der dem unteren Kühlmittelmantel gegenüberliegenden Seite der Abgasleitungen angeordnet ist, umfasst.

[0065] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen der zylinderzugehörige Kolben zur Abdichtung des Brennraums mit mindestens einem Kolbenring ausgestattet ist, der in einem den Kolben seitlich begrenzenden Kolbenhemdbereich angeordnet ist.

[0066] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen der mindestens eine Kolbenring bei im oberen Totpunkt be-

findlichem Kolben zwischen der Einspritzvorrichtung und dem oberen Totpunkt positioniert ist.

[0067] Ein im oberen Totpunkt befindlicher Kolben verdeckt dann die im Zylinderrohrbereich angeordnete Einspritzvorrichtung, so dass die Einspritzvorrichtung dem Zylinderdruck erst dann ungeschützt ausgesetzt ist, wenn ein sich auf den unteren Totpunkt zu bewegendem Kolben die Einspritzvorrichtung brennraumseitig freigibt. Die Einspritzvorrichtung ist folglich weniger hohen Drücken ausgesetzt. Dies erleichtert die Abdichtung der Einspritzvorrichtung. Die Ausbildung der Dichtung wird schon dadurch erleichtert, dass der Bereich des Zylinderrohres thermisch weniger beansprucht ist als beispielsweise der Zylinderkopf.

[0068] Eine Einspritzung kann prinzipbedingt erst vorgenommen werden, wenn der zylinderzugehörige Kolben auf seinem Weg zum unteren Totpunkt die Einspritzvorrichtung passiert hat und den Brennraum für die Öffnungen der Einspritzvorrichtung zugänglich macht.

[0069] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine, bei denen die Einspritzvorrichtung auf die mindestens eine zylinderzugehörige Einlassöffnung ausgerichtet ist, in der Art, dass der aus der Einspritzvorrichtung austretende Kraftstoff der via Einlassöffnung in den Brennraum eintretenden Verbrennungsluft entgegen gerichtet ist.

[0070] Vorliegend ist die im Zylinderrohrbereich angeordnete Einspritzvorrichtung auf den zylinderzugehörigen Zylinderkopf ausgerichtet, aber nicht – wie im Stand der Technik, beispielsweise der US 5,421,301 beschrieben – auf den Auslass, sondern auf den Einlass des Zylinders, nämlich auf die mindestens eine zylinderzugehörige Einlassöffnung, so dass der in den Brennraum eingebrachte Kraftstoff mit der in den Brennraum einströmenden und entgegen gesetzt ausgerichteten Verbrennungsluft interagieren kann.

[0071] Die in den Brennraum eintretende Luftströmung reduziert die Eindringtiefe der Einspritzstrahlen der Einspritzvorrichtung, wodurch einer Benetzung der Brennrauminnenwände mit Kraftstoff weiter entgegen gewirkt wird. Durch die Ausrichtung der Einspritzvorrichtung auf den Zylinderkopf wird insbesondere eine Benetzung des Kolbens vermieden.

[0072] Die Ausrichtung der Einspritzstrahlen entgegen der eintretenden Luftströmung soll zudem die Verdampfung der Kraftstoffteilchen sowie die weiträumige Verteilung des Kraftstoffes im Brennraum unterstützen und beschleunigen und die Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches vorantreiben und damit verbessern. Im Gegensatz zu den im Stand

der Technik beschriebenen Konzepten wird unter Ausnutzung der Strömungsdynamik sowohl der zylinderkopfseitige Bereich des Brennraums als auch der kolbenseitige Bereich des Brennraums mit Kraftstoff versorgt.

[0073] Gelangt Kraftstoff bei geöffneter Einlassöffnung in das Ansaugsystem, kann dieser Kraftstoff dazu dienen, die Rückseite des zugehörigen Einlassventils zu reinigen und von Ablagerungen zu befreien.

[0074] Die zweite der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe, nämlich ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine einer zuvor beschriebenen Art aufzuzeigen, wird gelöst mit einem Verfahren, bei dem die im Rahmen eines Arbeitsspiels in den Brennraum eingebrachte Kraftstoffmenge sich aus einer mittels der Einspritzvorrichtung eingebrachten Kraftstoffmenge $m_{1,\text{fuel}}$ und einer mittels der zusätzlichen Einspritzvorrichtung eingebrachten Kraftstoffmenge $m_{2,\text{fuel}}$ zusammensetzt, wobei das Verhältnis $m_{1,\text{fuel}}/m_{2,\text{fuel}}$ festgelegt wird in Abhängigkeit von:

- der Drehzahl n_{mot} der Brennkraftmaschine,
- der Last der Brennkraftmaschine,
- dem Druck der Verbrennungsluft im Ansaugsystem stromaufwärts des mindestens einen Zylinders, und/oder
- der Geschwindigkeit der Verbrennungsluft im Ansaugsystem stromaufwärts des mindestens einen Zylinders.

[0075] Das bereits für die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine Gesagte gilt auch für das erfindungsgemäße Verfahren, weshalb an dieser Stelle im Allgemeinen Bezug genommen wird auf die vorstehend hinsichtlich der Brennkraftmaschine gemachten Ausführungen.

[0076] Regelmäßig wird die Öffnung einer Einspritzvorrichtung dadurch aktiviert, dass diese Öffnung zwecks Einbringens von Kraftstoff in den Zylinder mit einem Kraftstoffversorgungssystem verbunden und damit freigegeben wird. Beendet wird der Einspritzvorgang dadurch, dass die Öffnungen vom Kraftstoffversorgungssystem getrennt werden, d. h. deaktiviert werden. Das Aktivieren bzw. Deaktivieren der Öffnungen kann auch zeitversetzt erfolgen.

[0077] Zwei Einspritzvorrichtungen erweisen sich als besonders vorteilhaft in den Betriebspunkten, in denen große Kraftstoffmengen in den Zylinder einzubringen sind, d. h. bei hohen Lasten. Jede der beiden Einspritzvorrichtungen kann aber auch – wie bereits erwähnt – für sich alleine benutzt werden, so dass in vorgebbaren Betriebspunkten nur eine der beiden Einspritzvorrichtungen zwecks Einbringens von Kraftstoff zum Einsatz kommt. Die zusätzliche Einspritzvorrichtung erweist sich – alleine oder in Kombination – als besonders geeignet, wenn der Kolben

einen gewissen Abstand vom oberen Totpunkt aufweist und große Kraftstoffmengen einzuspritzen sind.

[0078] Vorteilhaft sind aber insbesondere Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen mit der Einspritzvorrichtung und mit der zusätzlichen Einspritzvorrichtung zumindest zeitweise gleichzeitig Kraftstoff eingespritzt wird.

[0079] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen mindestens eine zylinderzugehörige Einlassöffnung geöffnet wird, bevor Kraftstoff mittels der Einspritzvorrichtung bzw. der zusätzlichen Einspritzvorrichtung eingebracht wird.

[0080] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels gemäß **Fig. 1** näher beschrieben. Hierbei zeigt:

[0081] **Fig. 1** schematisch und im Querschnitt das Fragment eines Zylinders einer ersten Ausführungsform der Brennkraftmaschine.

[0082] **Fig. 1** zeigt schematisch und im Querschnitt entlang der Kolbenlängsachse **5b** das Fragment eines Zylinders **1** einer ersten Ausführungsform der Brennkraftmaschine.

[0083] Der in **Fig. 1** dargestellte Zylinder **1** verfügt über zwei Auslassöffnungen **8** zum Abführen der Abgase via Abgasabführsystem, wobei sich an jede Auslassöffnung **8** eine Abgasleitung **8a** anschließt und jede Auslassöffnung **8** mit einem Auslassventil **8b** ausgestattet ist, um die Auslassöffnung **8** im Rahmen des Ladungswechsels freizugeben oder zu verschließen. Des Weiteren verfügt der Zylinder **1** über zwei Einlassöffnungen **7** zum Zuführen der Verbrennungsluft via Ansaugsystem, wobei sich an jede Einlassöffnung **7** eine Ansaugleitung **7a** anschließt und jede Einlassöffnung **7** mit einem Einlassventil **7b** ausgestattet ist, um die Einlassöffnung **7** im Rahmen des Ladungswechsels freizugeben oder zu verschließen.

[0084] Jeder Zylinder **1** der Brennkraftmaschine umfasst einen Brennraum **2**, der durch den Kolbenboden **5a** eines zylinderzugehörigen Kolbens **5**, ein den Brennraum **2** seitlich begrenzendes Zylinderrohr **4** und den Zylinderkopf **3** mit ausgebildet wird. Der Kolben **5** oszilliert bei in Betrieb befindlicher Brennkraftmaschine entlang der Kolbenlängsachse **5b** zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt.

[0085] Jeder Zylinder **1** der Brennkraftmaschine ist im Bereich des Zylinderrohres **4** mit einer Einspritzvorrichtung **6** zum direkten Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum **2** ausgestattet. Vorliegend dient als Einspritzvorrichtung **6** eine Einspritzdüse **6a**, die gegenüber der Kolbenlängsachse **5b** geneigt ist und über mehrere Öffnungen verfügt, welche im Rahmen

eines Einspritzvorganges zum Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum **2** aktiviert, d. h. freigegeben werden. Zum Beenden des Einspritzvorganges werden die Öffnungen der Einspritzdüse **6a** vom Kraftstoffversorgungssystem getrennt.

[0086] Die Einspritzdüse **6a** ist auf eine zylinderzugehörige Einlassöffnung **7** ausgerichtet und zwar in der Art, dass die aus der Einspritzdüse **6a** austretenden Kraftstoffstrahlen **6b** der via Einlassöffnung **7** in den Brennraum **2** eintretenden Verbrennungsluft entgegen gerichtet sind.

[0087] Zudem ist jeder Zylinder **1** mit einer zusätzlichen Einspritzvorrichtung **9** ausgestattet, die senkrecht stehend im zylinderzugehörigen Zylinderkopf **3** dem Kolben **5** gegenüberliegend angeordnet ist. Vorliegend dient als zusätzliche Einspritzvorrichtung **9** wieder eine Einspritzdüse **9a**, die mittig zwischen den Einlassöffnungen **7** und den Auslassöffnungen **8** platziert ist.

[0088] Die Einspritzvorrichtung **6** ist auf die zusätzliche Einspritzvorrichtung **9** hin ausgerichtet und zwar in der Art, dass die virtuelle Verlängerung **6c** der Längsachse **6c** der Einspritzvorrichtung **6** mit der virtuellen Verlängerung **9c** der Längsachse **9c** der zusätzlichen Einspritzvorrichtung **9** in einer Projektion senkrecht zur Kolbenlängsachse **5b**, d. h. in der Zeichenebene, einen stumpfen Winkel $\alpha \approx 120^\circ$ bildet.

[0089] Die Einspritzstrahlen **6b**, **9b** der Einspritzvorrichtungen **6**, **9** sind ebenfalls in der Projektion senkrecht zur Kolbenlängsachse **5b** dargestellt.

[0090] Die mit den beiden Einspritzvorrichtungen **6**, **9** generierten Kraftstoffstrahlen **6b**, **9b** bzw. Kraftstoffwolken kollidieren bzw. interagieren miteinander. Durch die hohen Impulse der miteinander kollidierenden Kraftstoffstrahlen **6b**, **9b** wird der Kraftstoff zerstäubt und weiträumig im Brennraum **2** verteilt, wodurch eine gute Durchmischung mit der im Brennraum **2** befindlichen Luft und damit eine verbesserte Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches erreicht wird. Die Kollision der Kraftstoffstrahlen **6b**, **9b** sorgt für zusätzliche Turbulenzen im Brennraum **2**. Auch die Verdampfung des Kraftstoffes wird durch die Kollision der Einspritzstrahlen **6b**, **9b** in vorteilhafter Weise unterstützt und beschleunigt. Eine Benetzung der Brennrauminnenwände mit flüssigem Kraftstoff wird verhindert bzw. vermindert.

Bezugszeichenliste

1	Zylinder
2	Brennraum
3	Zylinderkopf
4	Zylinderrohr
5	Kolben
5a	Kolbenboden

5b	Kolbenlängsachse
6	Einspritzvorrichtung
6a	Einspritzdüse
6b	Einspritzstrahlen, Kraftstoffstrahlen
6c	Längsachse der Einspritzvorrichtung, virtuelle Verlängerung der Längsachse
7	Einlassöffnung
7a	Ansaugleitung
7b	Einlassventil
8	Auslassöffnung
8a	Abgasleitung
8b	Auslassventil
9	zusätzliche Einspritzvorrichtung
9a	Einspritzdüse
9b	Einspritzstrahlen, Kraftstoffstrahlen
9c	Längsachse der Einspritzvorrichtung, virtuelle Verlängerung der Längsachse
α	Winkel zwischen der virtuellen Verlängerung der Längsachse der Einspritzvorrichtung und der virtuellen Verlängerung der Längsachse der zusätzlichen Einspritzvorrichtung
$m_{1,\text{fuel}}$	mittels der Einspritzvorrichtung eingebrachte Kraftstoffmenge
$m_{2,\text{fuel}}$	mittels der zusätzlichen Einspritzvorrichtung eingebrachte Kraftstoffmenge
n_{mot}	Drehzahl der Brennkraftmaschine

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 5421301 [0026, 0027, 0028, 0033, 0039, 0070]

Patentansprüche

1. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinderkopf (3) umfassend mindestens einen Zylinder (1), bei der

- jeder Zylinder (1) mindestens eine Einlassöffnung (7) zum Zuführen von Verbrennungsluft via Ansaugsystem und mindestens eine Auslassöffnung (8) zum Abführen der Abgase via Abgasabfuhrsystem aufweist,

- jeder Zylinder (1) einen Brennraum (2) umfasst, der durch einen Kolbenboden (5a) eines zylinderzugehörigen Kolbens (5), ein den Brennraum (2) seitlich begrenzendes Zylinderrohr (4) und den mindestens einen Zylinderkopf (3) mit ausgebildet ist, wobei der Kolben (5) entlang einer Kolbenlängsachse (5b) zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt bewegbar ist, und

- jeder Zylinder (1) in einem Bereich des Zylinderrohres (4) mit einer Einspritzvorrichtung (6) zum direkten Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum (2) ausgestattet ist, die über mindestens eine Öffnung verfügt, welche im Rahmen eines Einspritzvorganges zwecks Einbringens von Kraftstoff in den Brennraum (2) aktivierbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- jeder Zylinder (1) mit einer zusätzlichen Einspritzvorrichtung (9) ausgestattet ist, die im zylinderzugehörigen Zylinderkopf (3) angeordnet ist, wobei die Einspritzvorrichtung (6) auf die zusätzliche Einspritzvorrichtung (9) ausgerichtet ist, in der Art, dass eine virtuelle Verlängerung (6c) einer Längsachse (6c) der Einspritzvorrichtung (6) mit einer virtuellen Verlängerung (9c) einer Längsachse (9c) der zusätzlichen Einspritzvorrichtung (9) in einer Projektion senkrecht zur Kolbenlängsachse (5b) einen stumpfen Winkel α bildet.

2. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einspritzvorrichtung (6) gegenüber der Kolbenlängsachse (5b) in Richtung des mindestens einen Zylinderkopfes (3) geneigt ist.

3. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zusätzliche Einspritzvorrichtung (9) zwischen der mindestens einen Einlassöffnung (7) und der mindestens einen Auslassöffnung (8) angeordnet ist.

4. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zusätzliche Einspritzvorrichtung (9) mitig zwischen der mindestens einen Einlassöffnung (7) und der mindestens einen Auslassöffnung (8) angeordnet ist.

5. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha > 120^\circ$.

6. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha > 130^\circ$.

7. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha > 140^\circ$.

8. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha > 150^\circ$.

9. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha > 160^\circ$.

10. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha > 170^\circ$.

11. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt: $\alpha \approx 180^\circ$.

12. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Zylinder (1) mindestens zwei Einlassöffnungen (7) zum Zuführen von Verbrennungsluft aufweist.

13. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Zylinder (1) mindestens zwei Auslassöffnungen (8) zum Abführen der Abgase aufweist.

14. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Zylinder (1) mit einer weiteren Einspritzvorrichtung ausgestattet ist, die im zylinderzugehörigen Ansaugsystem angeordnet ist.

15. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Zylinder (1) zwecks Einlebens der Fremdzündung mit einer Zündvorrichtung ausgestattet ist.

16. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Zylinder (1) zwecks Einlebens der Fremdzündung mit einer zusätzlichen Zündvorrichtung ausgestattet ist.

17. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zylinderzugehörige Kolben (5) zur Abdichtung des Brennraums (2) mit mindestens einem Kolbenring ausgestattet ist, der in einem den Kolben (5) seitlich begrenzenden Kolbenhemdbereich angeordnet ist.

18. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Kolbenring bei im oberen Totpunkt befindlichem Kolben (5) zwischen der Einspritzvorrichtung (6) und dem oberen Totpunkt positioniert ist.

19. Direkteinspritzende fremdgezündete Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einspritzvorrichtung (6) auf die mindestens eine zylinderzugehörige Einlassöffnung (7) ausgerichtet ist, in der Art, dass der aus der Einspritzvorrichtung (6) austretende Kraftstoff der via Einlassöffnung (7) in den Brennraum (2) eintretenden Verbrennungsluft entgegen gerichtet ist.

20. Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden fremdgezündeten Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Rahmen eines Arbeitsspiels in den Brennraum eingebrachte Kraftstoffmenge sich aus einer mittels der Einspritzvorrichtung (6) eingebrachten Kraftstoffmenge $m_{1,\text{fuel}}$ und einer mittels der zusätzlichen Einspritzvorrichtung (9) eingebrachten Kraftstoffmenge $m_{2,\text{fuel}}$ zusammensetzt, wobei das Verhältnis $m_{1,\text{fuel}}/m_{2,\text{fuel}}$ festgelegt wird in Abhängigkeit von:

- der Drehzahl n_{mot} der Brennkraftmaschine,
- der Last der Brennkraftmaschine,
- dem Druck der Verbrennungsluft im Ansaugsystem stromaufwärts des mindestens einen Zylinders (1), und/oder
- der Geschwindigkeit der Verbrennungsluft im Ansaugsystem stromaufwärts des mindestens einen Zylinders (1).

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit der Einspritzvorrichtung (6) und mit der zusätzlichen Einspritzvorrichtung (9) zumindest zeitweise gleichzeitig Kraftstoff eingespritzt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

