



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 323 908 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.07.2003 Patentblatt 2003/27

(51) Int Cl.7: **F02B 75/02, F02B 75/12**

(21) Anmeldenummer: **02450288.2**

(22) Anmeldetag: **19.12.2002**

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

(72) Erfinder: **Fürhapter, Alois, Dipl.-Ing.**
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Babeluk, Michael, Dipl.-Ing. Mag.**
Patentanwalt
Mariahilfer Gürtel 39/17
1150 Wien (AT)

(30) Priorität: **27.12.2001 AT 9792001 U**

(71) Anmelder: **AVL List GmbH**
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach einem Sechstakt-Verfahren mit folgender Taktfolge:

- 1. Takt (I): Ansaugen von Luft in einen Brennraum,
- 2. Takt (II): Verdichten der Luft und Einspritzen (3a) einer ersten Teilmenge von Otto-Kraftstoff in den Brennraum,
- 3. Takt (III): Erster Arbeitshub mit vorangegangener erster Zündung (5) des Gemisches, wobei die Zündung (5) durch eine Zündeinrichtung eingeleitet wird,
- 4. Takt (IV): Neuverdichtung des Brennrauminhaltes,
- 5. Takt (V): Zweiter Arbeitshub mit vorangegangener zweiter Zündung (6) des im Brennraum befindlichen Kraftstoff-Luftgemisches,
- 6. Takt (VI): Ausschieben der Abgase aus dem

Brennraum,

wobei vor der zweiten Zündung (6) eine Einspritzung (3b) einer zweiten Teilmenge von Otto-Kraftstoff erfolgt.

Um bei einer Brennkraftmaschine möglichst geringen Kraftstoffverbrauch und niedrige Emissionen zu erzielen, wird vorgeschlagen, dass die Einspritzung (3b) der zweiten Teilmenge von Otto-Kraftstoff im dritten Takt (III), vorzugsweise in der zweiten Hälfte des dritten Taktes (III), erfolgt, dass im Brennraum vor der zweiten Zündung (6) ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch gebildet wird und dass die zweite Zündung (6) durch Kompressionszündung dieses homogenen Kraftstoff-Luftgemisches erfolgt.

EP 1 323 908 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach einem Sechstakt-Verfahren mit folgender Taktfolge:

- 1. Takt: Ansaugen von Luft in einen Brennraum,
- 2. Takt: Verdichten der Luft und Einspritzen einer ersten Teilmenge von Otto-Kraftstoff in den Brennraum,
- 3. Takt: Erster Arbeitshub mit vorangegangener erster Zündung des Gemisches, wobei die erste Zündung durch eine Zündeinrichtung eingeleitet wird,
- 4. Takt: Neuverdichtung des Brennrauminhaltes,
- 5. Takt: Zweiter Arbeitshub mit vorangegangener zweiter Zündung des im Brennraum befindlichen Kraftstoff-Luftgemisches,
- 6. Takt: Ausschieben der Abgase aus dem Brennraum,

wobei vor der zweiten Zündung eine Einspritzung einer zweiten Teilmenge von Otto-Kraftstoff erfolgt.

[0002] Aus der DE 34 06 732 A1 ist ein Arbeitsverfahren für Hubkolbenverbrennungskraftmaschinen mit innerer Verbrennung bekannt, bei dem die Zündung des Kraftstoff-Luftgemisches durch eine Zündeinrichtung oder mittels Selbstzündung erfolgt. Das Arbeitstaktverfahren läuft dabei in sechs Takten mit der folgenden Taktweise ab:

- 1. Takt: Ansaugen,
- 2. Takt: Verdichten und Einspritzen einer Kraftstoffteilmenge,
- 3. Takt: erster Arbeitstakt,
- 4. Takt: Neu verdichten der Abgase, die noch ungebundenen Sauerstoff enthalten und Einspritzen einer zweiten Kraftstoffteilmenge,
- 5. Takt: Zweiter Arbeitstakt,
- 6. Takt: Ausschieben.

[0003] Dieses Verfahren wird sowohl für den Dieselmotor, bei dem die Zündung des Kraftstoffes durch Kompressionszündung erfolgt, als auch für den Ottomotor, bei dem die Zündung des Kraftstoffes durch eine Zündeinrichtung erfolgt, beschrieben.

[0004] Die DE 33 17 128 A1 beschreibt eine Brennkraftmaschine, welche nach einem Sechstakt-Zyklus arbeitet. Während eines Einlasshubes wird ein Treibstoff-Luftgemisch in den Zylinder eingelassen, welches in einem ersten Kompressionshub komprimiert wird. Im Anschluss an die Zündung des komprimierten Treibstoff-Luftgemisches erfolgt ein erster Krafthub. In einem darauffolgenden zweiten Kompressionshub werden die

Verbrennungsprodukte komprimiert. Am Ende des zweiten Kompressionshubes wird der Zylinderinhalt durch eine Zündkerze gezündet. Es folgt ein zweiter Krafthub in Folge der Expansion der komprimierten Verbrennungsprodukte und schließlich ein Auslasshub, währenddessen die Verbrennungsgase aus dem Zylinder herausgetrieben werden.

[0005] Bei den bekannten Sechstakt-Brennkraftmaschinen liegt zu Beginn des ersten und des zweiten Arbeitshubes entweder Kompressionszündung von Diesel- oder Fremdzündung von Otto-Kraftstoff vor.

[0006] Brennkraftmaschinen, welche zumindest teilweise und mit homogener Fremdzündung von Benzin betrieben werden, benötigen für eine sichere Zündung des Luft-Kraftstoff-Restgasgemisches hohe Füllungstemperaturen, sowie hohe Restgasmengen.

[0007] Aus der AT 3.135 U ist ein Verfahren zum Betreiben einer Otto-Kraftstoffbetriebenen Brennkraftmaschine bekannt, deren Motorbetriebsbereich Selbstzündung und Fremdzündungsbereiche aufweist. Während der Teillast wird die Brennkraftmaschine selbstgezündet betrieben, wobei ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum erzeugt wird und die Verbrennung durch Selbstzündung dieses Kraftstoffgemisches eingeleitet wird. Das aus dem englischen Sprachraum als HC-CI-Verfahren (**H**omogenous **C**harge **C**ompression **I**gnition) bezeichnete Verfahren hat besondere Vorteile hinsichtlich der Entstehung von Emissionen. In der AT 5.140 U wird ein Verfahren beschrieben, mit welchem die Selbstzündung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches durch den Restgasgehalt im Brennraum gesteuert werden kann.

[0008] Speziell bei niedrigen Drehzahlen und Lasten reicht die Abgastemperatur selbst bei extrem hohen Restgasmengen allerdings nicht mehr aus, um die Füllung so stark zu erwärmen, dass eine sichere Selbstzündung erreicht wird. Außerdem wirken sich die längeren Zykluszeiten bei niedrigen Drehzahlen negativ auf die Füllungstemperaturen aus, da mehr Zeit für den Wärmeübergang vorhanden ist.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine zu entwickeln, mit welchem einerseits ein hoher Wirkungsgrad und andererseits niedrige Emissionen erreicht werden können.

[0010] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die Einspritzung der zweiten Teilmenge von Otto-Kraftstoff im dritten Takt, vorzugsweise in der zweiten Hälfte des dritten Taktes, erfolgt, dass im Brennraum vor der zweiten Zündung ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch gebildet wird und dass die zweite Zündung durch Kompressionszündung dieses homogenen Kraftstoff-Luftgemisches erfolgt.

[0011] Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, dass das während dem zweiten Takt gebildete Kraftstoff-Luftgemisch mager und geschichtet ist und einen hohen Luftüberschuss mit einem Luft/Kraftstoffverhältnis von $\lambda > 1,5$ aufweist. Der Luftüberschuss gewährleistet, dass

für die zweite Verbrennung noch ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht. Speziell bei sehr geringen eingespritzten Kraftstoffmengen werden durch die magere Schichtverbrennung nur sehr geringe NO_x -Emissionen gebildet. Die Temperatur des verbrannten Gases ist relativ niedrig, aber hoch genug, um damit eine sichere Selbstzündung im zweiten Verbrennungszyklus zu garantieren. Besonders vorteilhaft ist es, wenn durch Einstellen der Größe der ersten Teilmenge des im zweiten Takt eingespritzten Otto-Kraftstoffes die im Anschluss an die zweite Zündung im fünften Takt stattfindende Verbrennung geregelt wird. Durch einfaches Variieren der Menge der ersten Einspritzung oder durch Verändern der Aufteilung zwischen erster und zweiter Einspritzung kann die Zusammensetzung des Verbrennungsgases und somit die Ausgangsbedingung für die Kompressionszündung verändert beziehungsweise angepasst werden.

[0012] Darüber hinaus hat die Schichtverbrennung den Vorteil eines sehr hohen Wirkungsgrades.

[0013] Aber auch die homogene Selbstzündung zeichnet sich durch einen guten Wirkungsgrad aus. Speziell hinsichtlich NO_x - und Ruß-Emissionen bietet die Kompressionszündung wesentliche Vorteile. Auch der Umstand, dass eventuell entstehender Ruß beziehungsweise Kohlenwasserstoffemissionen aus dem ersten Arbeitszyklus einer weiteren Verbrennung zugeführt und damit verbrannt werden, wirkt sich positiv auf die Emissionen aus.

[0014] In einer besonders bevorzugten Ausführungsvarianten der Erfindung ist vorgesehen, dass im Bereich des Überganges zwischen dem dritten und dem vierten Takt eine Druckanpassung im Brennraum durchgeführt wird. Die Druckniveauregulierung im Brennraum kann für die Steuerung der Selbstzündung genutzt werden. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Druckanpassung durch ein kurzfristiges Öffnen zumindest eines Hubventils, vorzugsweise eines Einlassventils durchgeführt wird.

[0015] Dabei dient ein aus dem sechsten und dem ersten Takt bestehender erster Zyklus dem Gaswechsel, das heißt dem Ausschieben von Abgas, sowie dem Ansaugen von Frischfüllung. Der zweite Zyklus - zweiter und dritter Takt- besteht aus Kompression, fremdgezündeter, magerer Schichtverbrennung (SCSI - **Stratified Charge Spat Ignition**) und Expansion und bildet den ersten Arbeitszyklus. Das magere Abgas aus diesem ersten Arbeitszyklus wird nicht ausgeschoben sondern verbleibt im Zylinder und dient als Füllung für den folgenden dritten Zyklus (vierter und fünfter Takt). Dieser dritte Zyklus ist der zweite Arbeitszyklus und wird durch eine homogene Kompressionszündung (HCCI) charakterisiert. Darauf folgt wieder das Ausschieben des Abgases des ersten Zyklus.

[0016] Die niedrigen Ladungswechselverluste und die Kombination der beiden Brennverfahren SCSI und HCCI, so wie die Tatsache, dass bei diesem Sechstakt-Arbeitsverfahren zwei Arbeitszyklen einem Ladungs-

wechselzyklus gegenüber stehen, garantieren hohes Verbrauchspotential bei niedrigsten Emissionen.

[0017] Die Erfindung wird anhand der Figur näher erläutert.

5 **[0018]** Die Figur zeigt die Ventilhübe h der Auslassventile und der Einlassventile, wobei mit Bezugszeichen 1 der Auslassventilhub und mit Bezugszeichen 2 der Einlassventilhub bezeichnet ist.

[0019] Die Linie 3 zeigt die Einspritzereignisse in den Brennraum.

10 **[0020]** Im unteren Teil des Diagramms ist der Zylinderdruck p über dem Kurbelwinkel KW aufgetragen. Diese Kurve ist mit Bezugszeichen 4 bezeichnet.

[0021] Das Arbeitsverfahren weist sechs Takte I, II, III, IV, V, VI auf, wobei jeweils zwei Takte einem Zyklus A, B, C angehören. Der erste Zyklus A dient dem Gaswechsel und besteht aus dem Takt VI zum Ausschieben des Abgases und dem Takt I zum Ansaugen von Luft. Der zweite Zyklus B besteht aus dem Takt II, bei dem die Luft im Zylinder verdichtet wird und eine erste Teilmenge von Otto-Kraftstoff eingespritzt wird, sowie den Takt III dem ersten Arbeitshub des Kolbens. Am Ende des Taktes II wird die erste Teilmenge von Otto-Kraftstoff eingespritzt, wie mit Bezugszeichen 3a angedeutet ist. Gleich darauf wird am Ende des Taktes II das magere und geschichtete Gemisch durch eine Zündeinrichtung gezündet, wie durch Bezugszeichen 5 angedeutet ist. Dabei erfolgt eine magere Schichtverbrennung. Das magere Abgas aus dem ersten Arbeitszyklus B wird nicht ausgeschoben, sondern verbleibt im Zylinder und dient als Füllung für den darauffolgenden dritten Zyklus C, dem zweiten Arbeitszyklus. Der zweite Arbeitszyklus weist den Takt IV, während dem der Zylinderinhalt neu verdichtet wird, und den Takt V, den zweiten Arbeitshub des Kolbens, auf.

35 **[0022]** In der zweiten Hälfte des Taktes III wird eine zweite Teilmenge von Otto-Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt. Durch diese frühe Einspritzung wird bis zum durch Bezugszeichen 6 angedeuteten Zeitpunkt der zweiten Zündung eine Homogenisierung des Gemisches erreicht. Die zweite Zündung 6 ist eine Kompressionszündung. Danach erfolgt im Takt VI wieder das Ausschieben des Abgases.

40 **[0023]** Zwischen den beiden Arbeitszyklen B und C kann ein kurzes Öffnen zumindest eines Einlassventils vorgesehen sein, um das Druckniveau im Zylinder zu regulieren. Dieses kurze Öffnen des Einlassventils ist mit Bezugszeichen 2a angedeutet. Die Druckanpassung durch kurzes Öffnen des Einlassventils im Bereich des unteren Totpunktes zwischen dem Zyklus III und dem Zyklus IV kann für die Steuerung der Selbstzündung genutzt werden.

50 **[0024]** Die magere Schichtverbrennung im Arbeitszyklus B funktioniert mit hohem Luft-überschuss und produziert speziell bei sehr wenig eingespritztem Kraftstoff sehr geringe NO_x -Emissionen. Auch die Temperatur des verbrannten Gases ist relativ gering, jedoch aber hoch genug, um damit eine sichere Selbstzündung im

folgenden Arbeitszyklus C zu garantieren. Durch einfaches Variieren der Einspritzmenge kann die Zusammensetzung des Verbrennungsgases und somit die Ausgangsbedingung für die Kompressionszündung 6 verändert beziehungsweise angepasst werden. Sowohl die Schichtverbrennung als auch die homogene Selbstzündung zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus.

[0025] Speziell hinsichtlich der NO_x- und Ruß-Emissionen bietet die Kompressionszündung 6 deutliche Vorteile. Auch der Umstand, dass eventuell entstehender Ruß beziehungsweise Kohlenwasserstoffemissionen aus dem ersten Arbeitszyklus B einer weiteren Verbrennung zugeführt und damit verbrannt werden, wirkt sich positiv auf die Emissionen aus.

[0026] Der niedrige Ladungswechselverlust und die Kombination der beiden Brennverfahren, sowie die Tatsache, dass bei dem beschriebenen Sechstakt-Verfahren zwei Arbeitszyklen B, C einem Ladungswechselzyklus A gegenüberstehen, garantieren hohes Verbrauchspotential bei niedrigsten Emissionen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach einem Sechstakt-Verfahren mit folgender Taktfolge:

- 1. Takt (I): Ansaugen von Luft in einen Brennraum, 30
- 2. Takt (II): Verdichten der Luft und Einspritzen (3a) einer ersten Teilmenge von Otto-Kraftstoff in den Brennraum, 35
- 3. Takt (III): Erster Arbeitshub mit vorangegangener erster Zündung (5) des Gemisches, wobei die Zündung (5) durch eine Zündeinrichtung eingeleitet wird, 40
- 4. Takt (IV): Neuverdichtung des Brennrauminhalt, 45
- 5. Takt (V): Zweiter Arbeitshub mit vorangegangener zweiter Zündung (6) des im Brennraum befindlichen Kraftstoff-Luftgemisches, 50
- 6. Takt (VI): Ausschieben der Abgase aus dem Brennraum, 55

wobei vor der zweiten Zündung (6) eine Einspritzung (3b) einer zweiten Teilmenge von Otto-Kraftstoff erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einspritzung (3b) der zweiten Teilmenge von Otto-Kraftstoff im dritten Takt (III), vorzugsweise in der zweiten Hälfte des dritten Taktes (III), erfolgt, dass im Brennraum vor der zweiten Zündung (6) ein zu-

mindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch gebildet wird und dass die zweite Zündung (6) durch Kompressionszündung dieses homogenen Kraftstoff-Luftgemisches erfolgt.

- 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des zweiten Taktes (II) ein geschichtetes, mageres Kraftstoff-Luftgemisch mit einem Luft/Kraftstoffverhältnis $\lambda > 1,5$ gebildet wird.
- 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich des Überganges zwischen dem dritten und dem vierten Takt (III, IV) eine Druckanpassung im Brennraum durchgeführt wird.
- 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckanpassung durch ein kurzfristiges Öffnen (2a) zumindest eines Hubventils, vorzugsweise eines Einlassventils durchgeführt wird.
- 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch Einstellen der Größe der ersten Teilmenge des im zweiten Takt (II) eingespritzten Otto-Kraftstoffes die im Anschluss an die zweite Zündung (6) im fünften Takt (V) stattfindende Verbrennung geregelt wird.

