(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 508 578 A2 2011-02-15**

(12) Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 1672/2010**
(22) Anmeldetag: **07.10.2010**
(43) Veröffentlicht am: **15.02.2011**

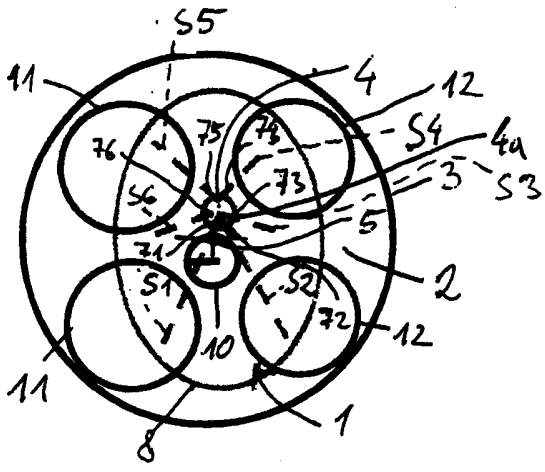
(51) Int. Cl.: ***F02D 41/40*** (2006.01),
F02D 41/30 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ (AT)

(54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER VIERTAKT-BRENNKRAFTMASCHINE MIT FUNKENZÜNDUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Viertakt-Brennkraftmaschine mit Funkenzündung und direkter Kraftstoffeinspritzung in einem Brennraum (2), wobei zumindest im Warmlaufbereich und/oder im betriebswarmen Zustand der Brennkraftmaschine pro Arbeitszyklus zumindest zwei Einspritzungen durchgeführt werden. Um die Partikelemissionen wesentlich zu verringern, ist vorgesehen, dass, vorzugsweise in einem höheren Teillast- oder Volllastbereich, eine erste Einspritzung in einem ersten oder zweiten Zeitfenster (EF1, EF2) und eine zweite Einspritzung in einem zweiten oder dritten Zeitfenster (EF2, EF3) im Ansaugtakt durchgeführt wird.



AT 508 578 A2 2011-02-15

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Viertakt-Brennkraftmaschine mit Funkenzündung und direkter Kraftstoffeinspritzung in einem Brennraum (2), wobei zumindest im Warmlaufbereich und/oder im betriebswarmen Zustand der Brennkraftmaschine pro Arbeitszyklus zumindest zwei Einspritzungen durchgeführt werden. Um die Partikelemissionen wesentlich zu verringern, ist vorgesehen, dass, vorzugsweise in einem höheren Teillast- oder Volllastbereich, eine erste Einspritzung in einem ersten oder zweiten Zeitfenster (EF1, EF2) und eine zweite Einspritzung in einem zweiten oder dritten Zeitfenster (EF2, EF3) im Ansaugtakt durchgeführt wird.

Fig. 1

~~56081~~

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Viertakt-Brennkraftmaschine mit Funkenzündung und direkter Kraftstoffeinspritzung in einem Brennraum, wobei zumindest im Warmlaufbereich und/oder im betriebswarmen Zustand der Brennkraftmaschine pro Arbeitszyklus zumindest zwei Einspritzungen durchgeführt werden.

Vom Gesetzgeber her werden immer engere Grenzen für die zulässige Emission an Partikeln gesetzt. Insbesondere die EURO 6 – Norm für Personenkraftfahrzeuge erfordert erhöhte innermotorische Anstrengungen.

Partikel entstehen bei Interaktion von Kraftstoffen mit kalten Bauteilen. Der Kraftstoff lagert sich an den Bauteilen an und kann vor der Verbrennung nicht verdampfen. Die Flamme erreicht diese Stellen im Brennraum vor der vollständigen Verdampfung des Kraftstoffes. Es entsteht aufgrund der extrem fetten lokalen Verbrennung (Inhomogenität) Ruß. Daher sind wesentliche Verbesserungen insbesondere in der Gemischbildung im kalten Motor und bei hohen Lasten, sowie transienten Vorgängen nötig. Eine Hauptmaßnahme der Verbesserungen kann durch Mehrfacheinspritzungen (mehrere Einspritzungen pro Verbrennungszyklus) erreicht werden. Diese Technik ist an sich sowohl von Dieselmotoren, als auch von Ottomotoren bekannt.

Fremdgezündete Brennkraftmaschinen mit Kraftstoffdirekteinspritzung, bei denen in zumindest einer Motorbetriebsphase eine erste Einspritzung in einem Ansaughub und eine weitere Einspritzung im Kompressionshub durchgeführt wird, sind aus der WO 05/103468 A, der WO 05/100767 A oder DE 10 236 856 A bekannt.

Aus der DE 10 324 176 A ist ein Verfahren zum Betreiben einer Otto-Brennkraftmaschine im Vier-Takt-Arbeitszyklus bekannt, bei dem zur Gemischbildung Kraftstoff zur Direkteinspritzung in einen Brennraum wenigstens eines Zylinders eingespritzt wird, wobei die Brennkraftmaschine in einem Homogenbetrieb, einem Schichtbetrieb oder einem Mehrfacheinspritzbetrieb betrieben werden kann. Im Mehrfacheinspritzbetrieb wird die Kraftstoffgesamtmenge für einen Arbeitszyklus in einer Mehrzahl von zeitlich aufeinander folgenden Teileinspritzvorgängen mit von der Motorsteuerung jeweils vorgegebenen Teileinspritzzeiten entsprechend vorgegebenen Kraftstoffteilmengen in der Ansaugphase und/oder in der Kompressionsphase und/oder in der Ausschubphase eingespritzt.

Aufgabe der Erfindung ist es, bei funkengezündeten Brennkraftmaschinen die Partikelemissionen, insbesondere die Partikelmasse und –anzahl, zu verringern.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass, vorzugsweise in einem höheren Teillast- oder Volllastbereich, eine erste Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem ersten oder zweiten Zeitfenster und eine zweite Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem zweiten oder dritten Zeitfenster im Ansaugtakt durchgeführt wird, wobei vorzugsweise pro Zeitfenster nur eine Einspritzung erfolgt.

Das erste Zeitfenster wird dabei in einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 320° und 260°, das zweite Zeitfenster einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 280° bis 200° und das dritte Zeitfenster in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 240° und 180° vor dem oberen Totpunkt der Zündung definiert.

Gegebenenfalls kann eine dritte Einspritzung oder deren Einspritzbeginn während des dritten Zeitfensters durchgeführt werden.

Besonders vorteilhaft zur Senkung der Emissionen ist es, wenn in einem Katalysatorheizbetrieb mindestens drei, vorzugsweise mindestens vier Mal pro Arbeitszyklus im Ansaug- und/oder Verdichtungstakt eingespritzt wird, wobei die erste Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem ersten oder zweiten, die zweite Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem zweiten oder dritten, und die dritte Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem dritten oder vierten, und eventuell eine vierte Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem vierten Katalysatorheizzeitfenster erfolgt. Das erste Katalysatorheizzeitfenster wird dabei in einem Bereich zwischen 300° bis 240° Kurbelwinkel, das zweite Katalysatorheizzeitfenster in einem Bereich zwischen 260° und 200° Kurbelwinkel, das dritte Katalysatorheizzeitfenster in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 240° bis 180° Kurbelwinkel und das vierte Katalysatorheizzeitfenster in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 180° und 60° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt der Zündung definiert. Die Zahl der Einspritzungen pro Arbeitszyklus ist dabei nach oben nicht begrenzt und kann bis zu beispielsweise 20 Einspritzungen pro Arbeitszyklus betragen.

Insbesondere während der Startphase der Brennkraftmaschine ist es vorteilhaft, wenn die Einspritzung des Kraftstoffes mit einem Einspritzdruck von mindestens 50 bar durchgeführt wird, wobei vorzugsweise eine letzte Einspritzung spätestens 100° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt der Zündung stattfindet.

Eine weitere Verringerung der Partikelemission kann erreicht werden, wenn in zumindest einem definierten Betriebsbereich, vorzugsweise im Katalysatorheizbetriebsbereich und/oder in einem Niedriggeschwindigkeitsbetriebsbereich der

Einspritzdruck auf 60 bis 120 bar erhöht wird und wenn in zumindest einem Hochgeschwindigkeitsbereich der Einspritzdruck auf bis zu 300 bar erhöht wird.

Die notwendige Anzahl der Einspritzungen kann dabei als Quotient von benötigter/errechneter Kraftstoffmenge bzw. Einspritzzeit zu minimaler Kraftstoffmenge bzw. Einspritzzeit automatisch ermittelt werden. Dies ist notwendig, um das Unterschreiten der minimal zulässigen, vom Einspritzventil abhängigen, Einspritzdauer einer Einzeleinspritzung einzuhalten.

Um unnötig viele Übergänge zu vermeiden, ist es vorteilhaft, wenn in zumindest zwei Betriebsbereichen der Brennkraftmaschine unterschiedlich oft eingespritzt wird, wobei die Umschaltung zwischen den beiden Betriebsbereichen erst nach einer definierten Anzahl von Einspritzungen durchgeführt wird, und wobei vorzugsweise zu Beginn eines neuen Betriebsbereich ein Zähler für die Zahl der Einspritzungen auf null gesetzt wird, zumindest vor Einleiten des nächsten Umschaltvorganges der Zähler durch eine Steuereinheit ausgelesen und mit einer definierten Mindesteinspritzanzahl verglichen wird.

Eine weitere Verringerung der Partikelemissionen kann erreicht werden, wenn pro Einspritzereignis maximal 4 mg Kraftstoff während einer minimal zulässigen Einspritzdauer, vorzugsweise zwischen 0,3 bis 0,5 Millisekunden, eingespritzt wird. Somit wird der statische Durchfluss des Injektors verringert, wobei gleichzeitig der zulässige Einspritzdruck erhöht werden muss, um die Volllast des Motors wieder zu erreichen. Die Verringerung des statischen Durchflusses erlaubt im Vergleich zu bekannten Einspritzungen eine Aufteilung der Einspritzung in mehrere Pakete, da die Summeneinspritzdauer steigt. Somit kann die minimal zulässige Einspritzdauer (0,3 bis 0,5 Millisekunden Dauer) mit einer geringeren Menge (3 bis 4 mg/Einspritzung statt 6 bis 8 mg (pro Einspritzung)) angewendet werden.

Es hat sich gezeigt, dass die besten Ergebnisse erzielt werden können, wenn für das Strahlbild der Einspritzeinrichtung 6 bzw. 7 Einspritzöffnungen pro Einspritzeinrichtung verwendet werden. Bei seitlicher Injektorlage werden an der Oberseite zwei Einspritzöffnungen, an der Unterseite zwei Einspritzöffnungen und an der Seite zwei Einspritzöffnungen verwendet. Zur Verbesserung der Schichtfähigkeit kann auch eine mittige Einspritzöffnung verwendet werden. Ein 6-Loch-Injektor hat den Vorteil, dass er flacher, also mit geringerer Höhe ausgeführt werden kann.

Bei zentraler Lage der Einspritzeinrichtung werden daher im Allgemeinen 6-Loch-Injektoren verwendet. Dabei zielen vorteilhafter Weise zwei Einspritzstrahlen

Richtung Zündkerze. Der Summenstahl wird bevorzugt oval ausgeführt, da die Ladungsbewegung die Einspritzstrahlen beeinflusst. Die ovale Ausführung verringert die Wandbenetzung.

Partikel entstehen bei Interaktion von Kraftstoff mit kalten Bauteilen. Der Kraftstoff lagert sich an den Bauteilen an und kann vor der Verbrennung nicht verdampfen. Die Flamme erreicht diese Regionen im Brennraum vor der vollständigen Verdampfung des Kraftstoffes. Es entsteht somit aufgrund der extrem fetten lokalen Verbrennung (Inhomogenität) Ruß. Durch Verringerung der Eindringtiefe der Einspritzstrahlen kann die Benetzung von kalten Bauteilen mit Kraftstoff verringert werden. Eine Verringerung dieser Eindringtiefe lässt sich durch Einspritzöffnungen mit möglichst kleinem Durchmesser, insbesondere durch Verkleinerung der Bohrungen in der Lochplatte eines Mehrlocheinspritzventils, sowie durch kurze Lochlängen der Bohrungen erzielen. Auch durch eine Erhöhung der Oberflächengüte der Einspritzbohrungen (scharfkantiger Austritt aus der Öffnung, exakt runde Öffnung verringert die Eindringtiefe) lässt sich eine Benetzung von kalten Bauteilen zumindest verringern.

Zur Verringerung der Eindringtiefe der Einspritzstrahlen wird eine gewisse Interaktion der Einzelstrahlen erwünscht. Liegen die Einzelstrahlen jedoch zu nahe beieinander, so kollabiert der Einspritzstrahl. Es entstehen in der Interaktionszone große Tröpfchen, die zu Rußbildung führen.

Um eine Interaktion der Einspritzstrahlen mit den Einlassventilen möglichst zu vermeiden, ist im Rahmen der Erfindung vorgesehen, dass maximal zwei Einspritzstrahlen (ein Einspritzstrahl pro Einlassventil) jeder Einspritzung ein Einlassventil frühestens 1 mm vor dem maximalen Ventilhub berühren.

Weiters kann optional durch Verwendung unterschiedlicher Lochgrößen der Einspritzstrahlen eine Verringerung der Wandbenetzung durch Ausnutzung der geometrischen Freiräume im Brennraum erreicht werden. Beispielsweise können die oberen und unteren Strahlen mit 10% bis 20% geringerem Durchfluss als die seitlichen Strahlen ausgeführt werden.

Insbesondere bei Turbomotoren kann zur Verbesserung der Gemischaufbereitung die Ladungsbewegung erhöht werden.

In weiterer Ausführung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Luft-Kraftstoffverhältnis in jedem Zylinder unabhängig von anderen Zylindern auf $\lambda = 1$ eingestellt wird, wobei vorzugsweise die Einspritzöffnungen des Injektors und/oder das Ansteuersignal des Injektors zur Anpassung des Luft-Kraftstoffverhältnisses verändert wird. Die zylinderselektive Gleichverteilung der eingespritzten Kraft-

stoffmasse muss entsprechend der in jedem Zylinder befindlichen Luftmasse entsprechend auf $\lambda = 1$ (stöchiometrisch) oder in besonderen Betriebszuständen leicht mager eingestellt werden, sodass eine Verbrennung mit Luftmangel vermieden und eine zu große Einspritzmenge auf einzelnen Zylindern verhindert werden kann, um die Eindringtiefe des Einspritzstrahles zu reduzieren und die Wandbenetzung zu verringern. Das selektive Einstellen des λ-Wertes in jedem Zylinder kann durch Verändern der Einspritzquerschnitte der Einspritzöffnungen jedes Injektors und/oder durch selektives Einstellen des Ansteuersignals jedes Injektors durchgeführt werden. Dabei ist es hilfreich, wenn für jeden Zylinder Einzel-λ-Messungen und/oder Einzel-Kohlenmonoxidmessungen durchgeführt werden, eventuell unter Anwendung von optischer Messtechnik (Beurteilung des Verbrennungslichts aufgrund Ruß in der Verbrennung).

Eine weitere Maßnahme zur Verringerung der Partikelemissionen ist die Erhöhung des Restgasgehaltes im Zylinder, wodurch eine zusätzliche Erwärmung des Gemisches und der Wände im Brennraum erfolgt. Dadurch wird bei Kraftstoffauftrag an der Wand das Abdampfen wesentlich beschleunigt.

Die Füllungen der Zylinder werden insbesondere bei kleinen Laständerungen nicht oder sehr langsam verändert. Die Änderung des effektiv abgegebenen Motordrehmoments erfolgt stattdessen bei kleinen Laständerungen über Zündwinkelverschiebungen.

Eine weitere Maßnahme zur Reduzierung der Partikelemissionen besteht darin, dass während zumindest einem Beschleunigungsbetrieb der Brennkraftmaschine die in den Zylinder eingebrachte Kraftstoffmasse durch zumindest eine zusätzliche Einspritzung erhöht wird, wobei die Kraftstoffmenge pro Einspritzereignis konstant gehalten wird. Durch Vermeiden der Erhöhung der Einspritzmenge pro Einzeleinspritzung wird die Beaufschlagung des Kraftstoffes an Bauteilen vermindert.

Zur Durchführung des Verfahrens eignet sich beispielsweise eine Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinder, in dem ein einen Brennraum begrenzender hin- und hergehender Kolben angeordnet ist, mit zumindest einer seitlich Kraftstoff in einen Brennraum einspritzenden Einspritzeinrichtung, wobei der Kolben eine Kolbenmulde und zumindest eine, vorzugsweise zwei Auslassventiltaschen aufweist. Um eine erhöhte Rußbildung durch Benetzung von kalten Bauteilen, insbesondere der Zylinderwand, zu vermeiden, ist es vorteilhaft, wenn die Auslassventilstasche von der Kolbenmulde durch einen Steg getrennt ist, wobei vorzugsweise zwischen zumindest zwei Auslassventiltaschen normal zur Längsachse der Einspritzeinrichtung eine Mittenkante angeordnet ist. Besonders vor-

teilhaft ist es dabei, wenn die Mittenkante auf der der Einspritzeinrichtung abgewandten Seite der Auslassventilstaschen angeordnet ist und vorzugsweise in die Auslassventiltaschen ausläuft.

Die Erfindung wir im Folgenden an Hand der Fig. näher erläutert.

Es zeigen Fig. 1 ein Strahlbild einer zentral angeordneten Einspritzeinrichtung zur Durchführung des Verfahrens, Fig. 2 und 3 Einspritzzeitfenster für Mehrfacheinspritzung, Fig.4 ein Strahlbild einer als 7-Loch Injektor ausgebildeten, seitlich angeordneten Einspritzeinrichtung zur Durchführung des Verfahrens in einer Schrägansicht auf einen Kolben, Fig. 5 dieses Strahlbild in einer weiteren Schrägansicht, Fig. 6 dieses Strahlbild in einer Ansicht von unten, Fig. 7 das Detail VII aus Fig. 5, Fig. 8 ein weiteres Strahlbild eines seitlich angeordneten 7-Loch-Injektors, Fig. 8a einen 7-Loch-Injektor in einer Schrägansicht und Fig. 9 eine Strahlmatrix eines 6- und eines 7-Loch Injektors.

Die Fig. 1 zeigt schematisch das Strahlbild 1 einer zentral in Bezug auf den Brennraum 2 des jeweiligen Zylinders 3 der Brennkraftmaschine angeordneten Einspritzeinrichtung 4, in einer Draufsicht in Richtung der Zylinderachse 5. Die Einspritzeinrichtung 4 ist beispielsweise als 6-Loch Injektor 4a mit sechs Einspritzöffnungen 71, 72, 73, 74, 75, 76 an der Düsenspitze 7 ausgebildet, wobei der Summenstrahl 8 aller sechs Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6 – in einer von der Einspritzeinrichtung 4 beabstandeten Normalebene ε auf die Injektorachse 4' betrachtet - eine ovale Form aufweist. Zwei Einspritzstrahlen S1, S2 zielen dabei in Richtung des durch eine Zündkerze definierten Zündortes 10. Mit Bezugszeichen 11 und 12 sind Einlass- bzw. Auslassventile angedeutet.

Um Rußbildung durch Anlagerung von eingespritztem Kraftstoff an kalten Bauteilen zu vermeiden, wird die Eindringtiefe der Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6, sowie die Kraftstoffmenge pro Einspritzereignis möglichst gering gehalten.

Um eine gute Gemischbildung und eine rasche Verdampfung des Kraftstoffes zu erreichen, wird der Kraftstoff im Ansaugtakt in mehreren zeitlich getrennten Einspritzpaketen eingespritzt. Nur im Katalysatorheizbetrieb und/oder während der Startphase der Brennkraftmaschine kann zusätzlich zu Einspritzungen während der Ansaugtaktes zumindest eine weitere Einspritzung während des Verdichtungstaktes notwendig sein.

Während der Warmlaufphase und während des betriebswarmen Zustand der Brennkraftmaschine werden insbesondere bei hohen Lasten zwei oder drei Einspritzungen während der Zeitfenster EF1 (320° - 260° Kurbelwinkel KW vor dem

oberen Totpunkt der Zündung ZOT), EF2 (280° -200° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT), EF3 (240° bis 180° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT) durchgeführt (Fig. 2).

Während des Startens der Brennkraftmaschine kann zumindest eine Einspritzung im Verdichtungstakt erfolgen, wobei eine letzte Einspritzung spätestens etwa 100° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT erfolgt.

Im Katalysatorheizbetrieb werden mindestens drei, vorteilhafterweise mindestens vier Einspritzungen während der Katalysatorheizzeitfenster KEF1 (300° - 260° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT), KEF2 (260° -200° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT), KEF3 (240° bis 180° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT) und KEF4 (180° bis 60° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt der Zündung ZOT) durchgeführt (Fig. 3). Es können auch mehr als vier Einspritzungen, zum Beispiel zwanzig Einspritzungen erfolgen.

Die einzelnen Einspritzungen können gegebenenfalls mit unterschiedlichen Einspritzmengen erfolgen. Die Zahl der Einspritzungen kann automatisch als Quotient aus benötigter Kraftstoffmenge bzw. Einspritzzeit zu minimaler Kraftstoffmenge bzw. Einspritzzeit berechnet werden.

Die Umschaltung zwischen verschiedenen Betriebsbereichen mit unterschiedlicher Zahl an Einspritzungen und/oder Einspritzmengen erfolgt automatisch über eine Steuereinheit.

Die Fig. 4 und 5 zeigen ein Strahlbild 1 einer seitlich in einem Zylinderkopf angeordneten Einspritzeinrichtung 4, welche als 7-Loch-Injektor 4b ausgebildet ist, wobei alle Strahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 auf eine Kolbenmulde 13 eines Kolbens 14 gerichtet sind. Die Oberfläche des Kolbens 14 weist Auslassventiltaschen 15 und Einlassventiltaschen 16, sowie eine zwischen den beiden Auslassventiltaschen 15 angeordnete Mittenkante 17 auf, welche in die Auslassventiltaschen 15 ausläuft. Wegen der früheren letzten Einspritzung während des Katalysatorheizbetriebes (Kolben 14 steht noch weit vor dem oberen Totpunkt ZOT) kann zur Beibehaltung einer gewissen Schichtung eine auslassseitige Umlenkkante 18 einer beispielsweise aus der EP 1 362 996 B1 bekannten Kolbenmulde 13 des Kolbens 14 möglichst weit auf die Auslassseite verlegt werden, wobei allerdings eine Verschneidung mit den Auslassventiltaschen 15 möglichst zu vermeiden ist. Vielmehr sollte zwischen den Auslassventiltaschen 15 und der Kolbenmulde 13 ein Steg 13a ausgebildet sein, um Auslassventiltaschen 15 von der Kolbenmulde 13 zu trennen. Die Grenze des Verlegens bildet somit üblicher-

weise die Interaktion mit den Auslassventiltaschen 15. Eine übermäßige Verschneidung der Umlenkkante 18 mit den Auslassventiltaschen 15 würde den Umlenkeffekt der Umlenkkante 18 stören. Die Verschiebung der Umlenkkante 18 bzw. der Kolbenmulde 13 vergrößert den geometrischen Abstand zwischen Kolbenoberfläche und Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6. Eine Vergrößerung dieses Abstandes kann auch durch eine tiefere Kolbenmulde 13 oder eventuell auch durch eine variable Verdichtung erzielt werden. Dadurch, dass die Umlenkkante 18 der Kolbenmulde 13 sehr weit auf die Auslassseite angeordnet wird, wird eine frühe Einspritzung ermöglicht, da die Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6 trotz früher Einspritzung in der Kolbenmulde 13 gefangen werden. Falls dennoch Einspritzstrahlen über die Kolbenmulde 13 hinausgelangen, werden sie durch die Auslassventiltaschen 15 und die Mittenkante 17 gefangen, wie in Fig. 4 gezeigt ist. Fig. 5 zeigt eine Einspritzsituation samt Lage der Auslassventile 19 und der Einlassventile 20. Die Anordnung der Einlassventile 20 und der Einspritzöffnungen 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 der Einspritzeinrichtung 4, beispielsweise eines 7-Loch-Injektors 4b, sind so aufeinander abgestimmt, dass nur jeweils ein Strahl S1, S2 pro Einlassventil 20 erst frühestens 1mm vor dem maximalen Hub des Einlassventils 20 den Einlassventilteller 21 benetzt. Eine Ansicht der Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6 von der Seite des Kolbens auf die Einlössventilteller 21 ist in Fig. 6 dargestellt. Fig. 7 zeigt die Benetzung des Einlassventiltellers 21 durch einen Einspritzstrahl S1 im Detail.

Während des Startens der Brennkraftmaschine werden alle Einspritzungen – auch bei Impuls- bzw. Schlepp-Start – mit einem Einspritzdruck von mindestens 50 bar durchgeführt, wobei die letzte oder eine einzige Einspritzung spätestens 100° Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt ZOT der Zündung erfolgt.

Durch eine Erhöhung des Einspritzdruckes auf 60 bis 120 bar im Katalysatorheizbetrieb und im Niedriggeschwindigkeitsbereich, sowie auf bis 300 bar im Hochleistungsbereich, kann die Partikelemission weiter verringert werden, wobei gleichzeitig der statische Durchfluss der Einspritzeinrichtung 4 verringert werden kann. Die Verringerung des statischen Durchflusses erlaubt eine Aufteilung der Einspritzung in mehrere Pakete, da die Summeneinspritzdauer steigt. Somit kann die minimal zulässige Einspritzdauer (üblicherweise 0,3 – 0,5 ms) mit geringeren Mengen (3 – 4 mg/Einspritzung statt 6 – 8 mg/Einspritzung) angewendet werden.

Es hat sich gezeigt, dass bei einer Aufteilung der Einspritzung auf 6 bzw. 7 Einspritzöffnungen 7 die besten Ergebnisse erzielt werden können. Fig. 8a zeigt die Aufteilung von einzelnen Einspritzöffnungen 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 bei seitlicher Lage der Einspritzeinrichtung 4, wobei in einem der Brennraumdecke des

Zylinderkopfes zugewandten oberen Bereich der Einspritzeinrichtung 4 zwei Einspritzöffnungen 71, 72 für obere Einspritzstrahlen S1, S2, in einem der Brennraumdecke abgewandten unteren Bereich der Einspritzeinrichtung 4 zwei Einspritzöffnungen 74, 75 für untere Einspritzstrahlen S4, S5 und in seitlichen Bereichen der Einspritzeinrichtung 4 zwei Einspritzöffnungen 73, 76 für seitliche Einspritzstrahlen S3, S6 vorgesehen (siehe Fig. 4 bis 9). Zur Verbesserung der Schichtfähigkeit kann weiters eine mittige Einspritzöffnung 77 für einen mittigen Einspritzstrahl S7 eingesetzt werden (Fig. 8a). Eine typische Strahlmatrix in einer in einem definierten Abstand von der Einspritzeinrichtung 4 entfernten Ebene ε normal zur Längsachse 4' der Einspritzeinrichtung 4 ist beispielsweise in Fig. 9 für einen 6- und einen 7-Loch-Injektor 4a, 4b gezeigt.6-Loch Injektoren 4a haben den Vorteil, dass sie sehr flach (mit geringer Höhe) ausgeführt werden können. Bei seitlicher Lage der Einspritzeinrichtung 4 kann die Einhüllende 8 aller Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 somit bei einem 6-Loch Injektor 4a flacher ausgebildet werden, als bei einem 7-Loch-Injektor 4b.

Durch Verwendung unterschiedlicher Lochgrößen der Einspritzstrahlen (beispielsweise obere und untere Einspritzstrahlen S1, S2, S4, S5 mit 10 – 20% weniger Durchfluss, seitliche Einspritzstrahlen S3 und S6 mit höherem Durchfluss) kann eine Verringerung der Wandbenetzung durch Ausnutzen der geometrischen Freiräume im Brennraum 2 erreicht werden (siehe Fig. 8).Die zylinderselektive Gleichverteilung der eingespritzten Kraftstoffmasse muss entsprechend der in jedem Zylinder 3 befindlichen Luftmasse entsprechend auf $\lambda = 1$ (stöchiometrisch) oder in besonderen Betriebszuständen leicht mager eingestellt werden, sodass einerseits jedes einzelne Luft-Kraftstoff-Verhältnis λ in jedem Zylinder 3 stöchiometrisch ist, damit eine Verbrennung mit Luftmangel vermieden werden kann und andererseits eine zu große Einspritzmenge auf einzelnen Zylinder 3 vermieden werden kann, um die Eindringtiefe der Einspritzstrahlen S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 zu reduzieren und somit die Wandbenetzung zu verringern. Zur Einstellung des stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses λ kann die Kraftstoff-Durchflussmasse erhöht oder verringert werden, um ein Gemisch mit $\lambda = 1$ in jedem Zylinder 3 zu erreichen.

Die Einstellung kann beispielsweise über veränderbare Einspritzöffnungen 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 jeder Einspritzeinrichtung 4 oder über Veränderung des Ansteuersignals der Einspritzeinrichtung 4 erfolgen, wobei für jeden Zylinder 3 einzelne λ-Messungen und/oder CO-Messungen durchgeführt werden können. Auch der Einsatz von optischer Messtechnik zur Beurteilung des Verbrennungslichtes auf Grund rußender Verbrennung kann von Vorteil sein.

Eine weitere Reduktion der Partikelanzahl lässt sich aufgrund einer Erhöhung des Restgasgehaltes und somit einer zusätzlichen Erwärmung des Gemisches und der

Wände im Brennraum 2 erzielen. Damit wird bei Kraftstoffauftrag an die Wand Brennraumes 2 das Abdampfen beschleunigt.

Um Partikelemissionsspitzen zu vermeiden, sollte die Kraftstoff- und Luftmasse bei kleiner Laständerung nicht verändert bzw. verlangsamt verändert werden. Die Änderung des effektiv abgegebenen Motordrehmomentes kann in dieser Zeit über eine Zündwinkelverschiebung erfolgen.

Weiters ist es zur Vermeidung von Partikelemissionsspitzen von Vorteil, wenn die Beschleunigungsanreicherung durch Erhöhen der Einspritzzahl bei gleichbleibender Einspritzmenge pro Einspritzung erfolgt.

010615

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Viertakt-Brennkraftmaschine mit Funkenzündung und direkter Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum (2), wobei zumindest im Warmlaufbereich und/oder im betriebswarmen Zustand der Brennkraftmaschine pro Arbeitszyklus zumindest zwei Einspritzungen durchgeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass, vorzugsweise in einem höheren Teillast- oder Volllastbereich, eine erste Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem ersten oder zweiten Zeitfenster (EF1, EF2) und eine zweite Einspritzung oder deren Einspritzbeginn im zweiten oder dritten Zeitfenster (EF2, EF3) im Ansaugtakt durchgeführt wird, wobei vorzugsweise pro Zeitfenster (EF1, EF2, EF3) nur eine Einspritzung oder deren Einspritzbeginn erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Zeitfenster (EF1) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 320° bis 240° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung definiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Zeitfenster (EF2) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 280° bis 200° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung definiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das dritte Zeitfenster (EF3) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 240° bis 180° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt der Zündung definiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine dritte Einspritzung oder deren Einspritzbeginn während des dritten Zeitfensters (EF3) durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Katalysatorheizbetrieb mindestens zwei, vorzugsweise mindestens drei mal, besonders vorzugsweise mindestens vier mal pro Arbeitszyklus im Ansaug- und/oder Verdichtungstakt eingespritzt wird, wobei eine erste Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem ersten oder zweiten, die zweite Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem zweiten oder dritten, und die dritte Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem dritten oder vierten, und vorzugsweise eine vierte Einspritzung oder deren

Einspritzbeginn in einem vierten Katalysatorheizzeitfenster (KEF1, KEF2, KEF3, KEF4) erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Katalysatorheizzeitfenster (KEF1) im Bereich zwischen etwa 300° bis 240° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung definiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Katalysatorheizzeitfenster (KEF1) in einem Bereich zwischen etwa 260° bis 200° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung definiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das dritte Katalysatorheizzeitfenster (KEF3) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 240° bis 180° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung definiert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das vierte Katalysatorheizzeitfenster (KEF4) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen etwa 180° bis 60° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung definiert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Startphase der Brennkraftmaschine zumindest eine Einspritzung mit einem Einspritzdruck von mindestens etwa 50 bar durchgeführt wird, wobei vorzugsweise eine letzte Einspritzung oder deren Einspritzbeginn spätestens etwa 100° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (ZOT) der Zündung erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einem definierten Betriebsbereich, vorzugsweise im Katalysatorheizbetriebsbereich und/oder in einem Niedriggeschwindigkeitsbetriebsbereich der Brennkraftmaschine der Einspritzdruck auf etwa 60 bis 120 bar erhöht wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einem Hochlastbereich der Brennkraftmaschine der Einspritzdruck auf bis zu 300 bar erhöht wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest zwei Betriebsbereichen der Brennkraftmaschine unter-

schiedlich oft eingespritzt wird, wobei die Umschaltung zwischen den beiden Betriebsbereichen erst nach einer definierten Anzahl von Einspritzungen durchgeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu Beginn eines neuen Betriebsbereiches ein Zähler für die Zahl der Einspritzungen auf null gesetzt wird, zumindest vor Einleiten des nächsten Umschaltvorganges der Zähler durch eine Steuereinheit ausgelesen und mit einer definierten Mindesteinspritzanzahl verglichen wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass pro Einspritzereignis maximal 4 mg Kraftstoff, vorzugsweise mindestens 3 mg Kraftstoff, während einer minimal zulässigen Einspritzdauer, vorzugsweise zwischen 0,3 bis 0,5 Millisekunden, eingespritzt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei zentraler Lage der Einspritzeinrichtung (4) jede Einspritzung in sechs bis sieben Einspritzstrahlen (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7) in den Brennraum (2) eingebracht wird, wobei vorzugsweise zwei Strahlen (S1, S2) auf den Zündort (10) gerichtet werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei seitlicher Lage der Einspritzeinrichtung (4) jede Einspritzung in sechs bis sieben Einspritzstrahlen (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7) in den Brennraum (2) eingebracht wird, wobei vorzugsweise zwei Einspritzstrahlen (S1, S2) auf gleicher Höhe in einem der Brennraumdecke benachbarten oberen Bereich, zwei Einspritzstrahlen (S4, S5) in einem der Brennraumdecke abgewandten unteren Bereich und zwei Einspritzstrahlen (S3, S6) in einem den Zylinderwänden zugewandten seitlichen Bereich der Einspritzeinrichtung (4) eingebracht werden.

19. Verfahren nach Anspruche 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei seitlicher Lage einer als 7-Loch Injektor (4b) ausgebildeten Einspritzeinrichtung (4) ein Einspritzstrahl (S7) im Bereich der Haupteinspritzrichtung oder der Längsachse (4') der Einspritzeinrichtung (4) in den Brennraum (2) eingebracht wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass pro Einspritzeinrichtung (4) maximal ein Einspritzstrahl (S1, S2) pro Einlassventil (20) den Ventilteller (21) des Einlassventils (20) frühestens 1 mm vor dessen maximalem Ventilhub benetzt.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Einspritzstrahlen (S1, S2, S4, S5; S3, S6) jeder Einspritzung unterschiedliche Volumenströme aufweisen.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Luft-Kraftstoffverhältnis in jedem Zylinder (3) unabhängig von anderen Zylindern (3) auf $\lambda = 1$ eingestellt wird, wobei vorzugsweise zumindest eine Einspritzöffnung (71, 72, 73, 74, 75, 76, 77) des Injektors (4) und/oder ein Ansteuersignal der Einspritzeinrichtung (4) zur Anpassung des Luft-Kraftstoffverhältnisses λ verändert wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Luft-Kraftstoffverhältnis in jedem Zylinder (3) unabhängig von anderen Zylindern (3) auf $\lambda > 1$ eingestellt wird, wobei vorzugsweise zumindest eine Einspritzöffnung (71, 72, 73, 74, 75, 76, 77) der Einspritzeinrichtung (4) und/oder ein Ansteuersignal der Einspritzeinrichtung (4) zur Anpassung des Luft-Kraftstoffverhältnisses λ verändert wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur zylinderselektiven Gleichverteilung der eingespritzten Kraftstoffmasse für jeden Zylinder (3) Einzel-λ-Messungen und/oder Einzel-Kohlenmonoxid-Messungen durchgeführt werden.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass während zumindest einem Beschleunigungsbetrieb der Brennkraftmaschine die in den Zylinder (3) eingebrachte Kraftstoffmasse durch zumindest eine zusätzliche Einspritzung erhöht wird, wobei die Kraftstoffmenge pro Einspritzereignis konstant gehalten wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die notwendige Anzahl der Einspritzungen als Quotient der benötigten und/oder errechneten Kraftstoffmenge oder Einspritzzeit zur minimalen Kraftstoffmenge bzw. Einspritzzeit ermittelt wird.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Summenstrahl (8) aller Einspritzstrahlen (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7) zumindest einer Einspritzeinrichtung (4) – in einer Draufsicht in Richtung des Kolbens (14) betrachtet – eine ovale oder elliptische Form aufweist.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Einspritzungen innerhalb eines Arbeitstaktes mit un-

terschiedlicher Einspritzdauer und/oder unterschiedlichen Einspritzmengen durchgeführt werden.

29. Brennkraftmaschine mit mindestens einem Zylinder (3), in dem ein einen Brennraum (2) begrenzender hin- und hergehender Kolben (14) angeordnet ist, mit zumindest einer vorzugsweise seitlich Kraftstoff in einen Brennraum (2) einspritzenden Einspritzeinrichtung (4), wobei der Kolben (14) eine Kolbenmulde (13) und zumindest eine, vorzugsweise zwei Auslassventilstaschen (15) aufweist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auslassventiltasche (15) von der Kolbenmulde (13) durch einen Steg (13a) getrennt ist, wobei vorzugsweise zwischen zumindest zwei Auslassventiltaschen (15) normal zur Längsachse (4') der Einspritzeinrichtung (4) eine Mittenkante (17) angeordnet ist.

30. Brennkraftmaschine nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mittenkante (17) auf der der Einspritzeinrichtung (4) abgewandten Seite der Auslassventilstaschen (15) angeordnet ist und vorzugsweise in die Auslassventiltaschen (15) ausläuft.

2010 10 07
Fu/Bu

Patentanwalt
Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk
A-1150 Wien, Mariahilfer Gürtel 39/17
Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333
[illegible]

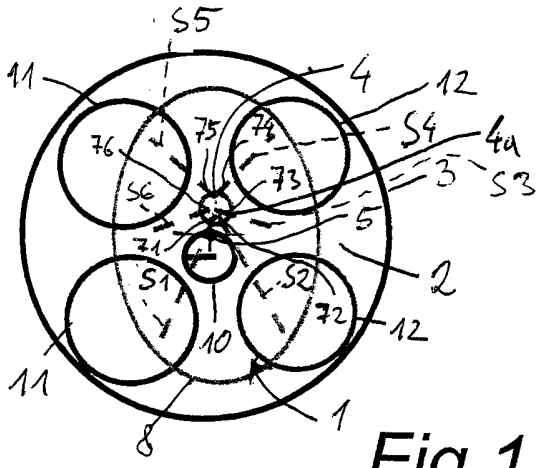


Fig.1

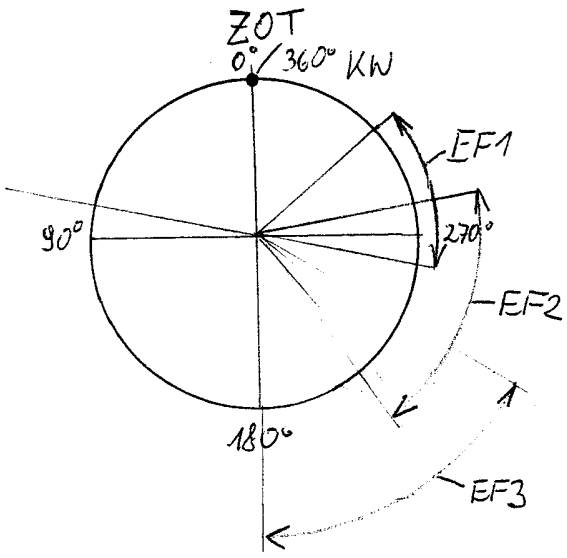


Fig.2

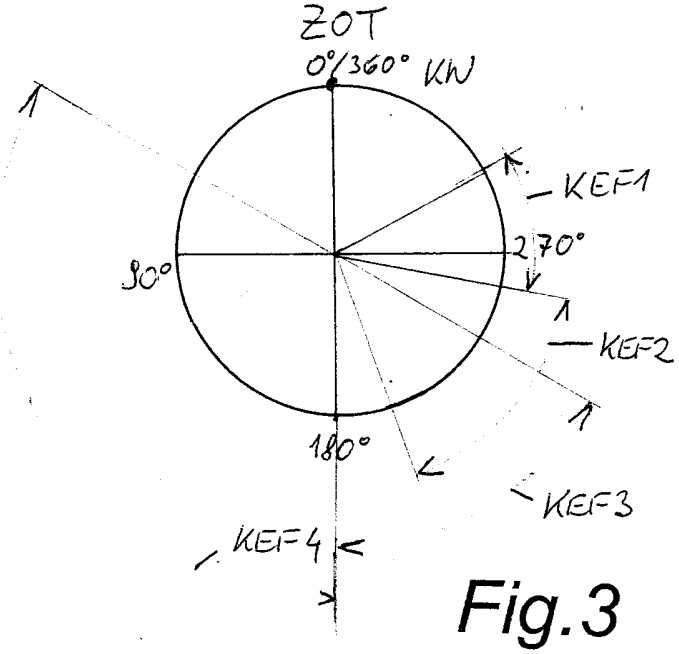


Fig.3

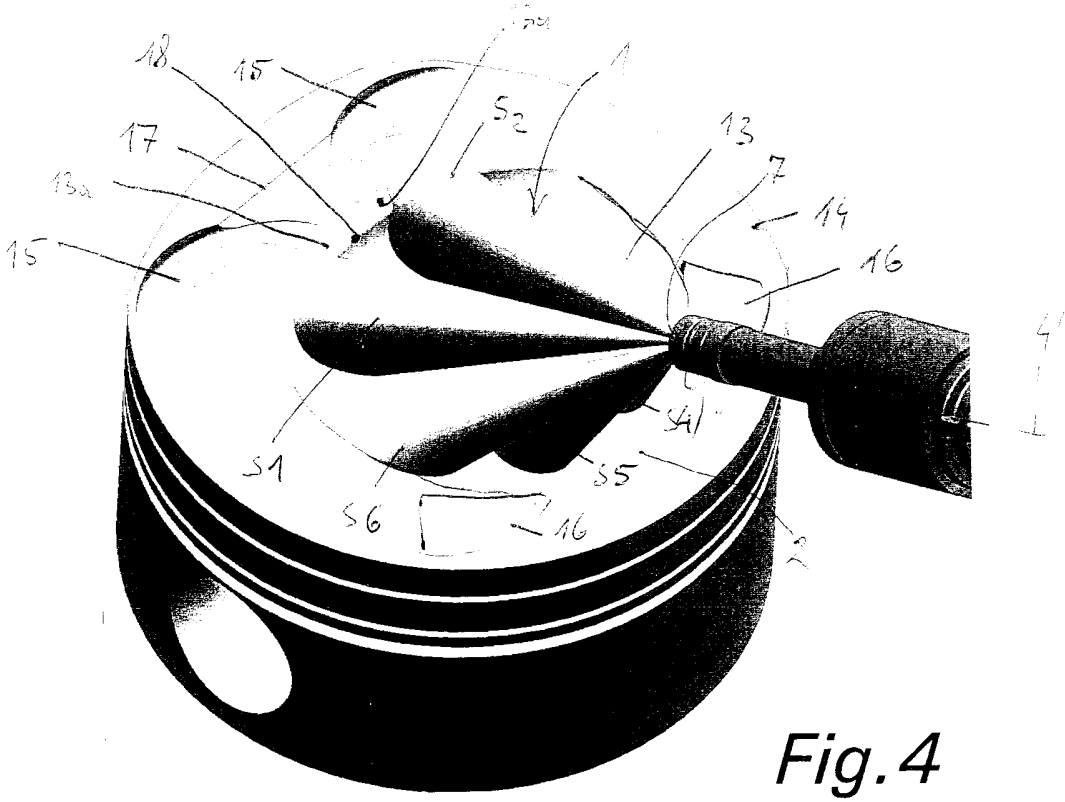

18
15
17
13a
15
S2
13
7
14
16
4
41
S1
S5
S6
16

Fig.4

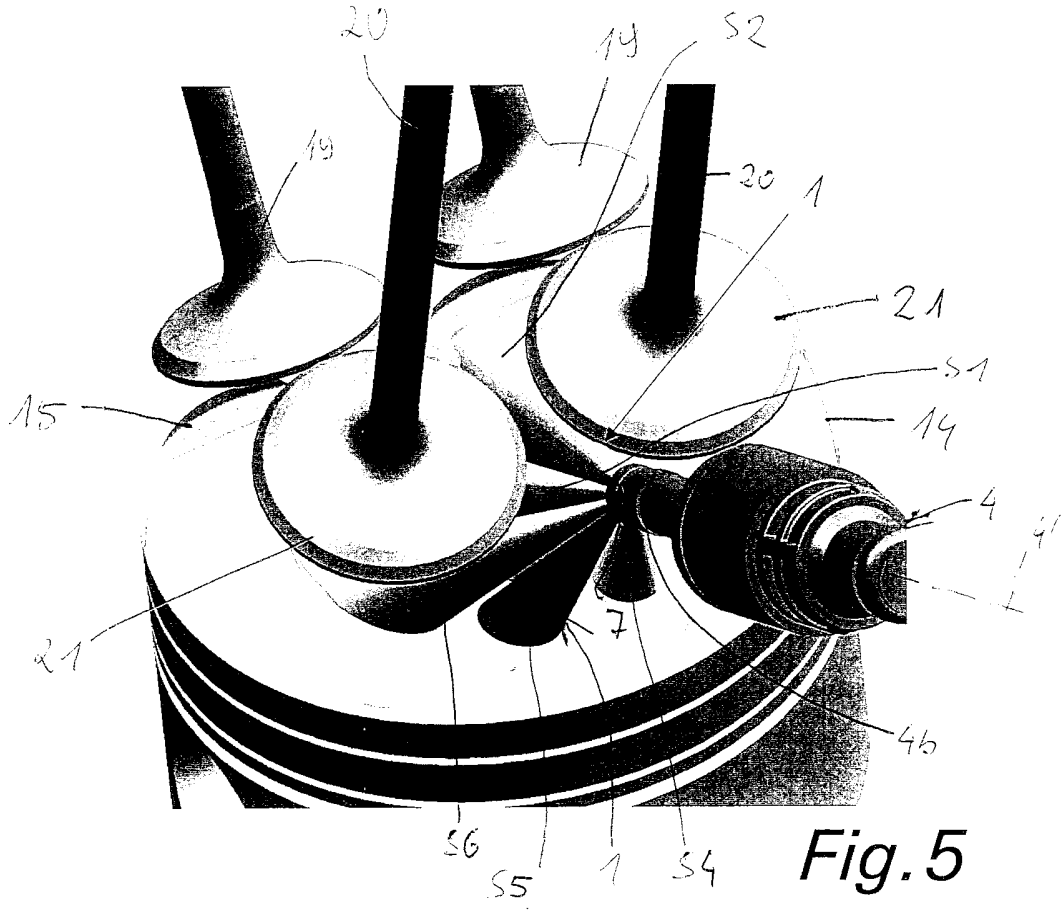

20
14
S2
19
20
1
21
S1
15
14
4
41
21
7
46
S6
S5
1
S4

Fig.5



Fig.6

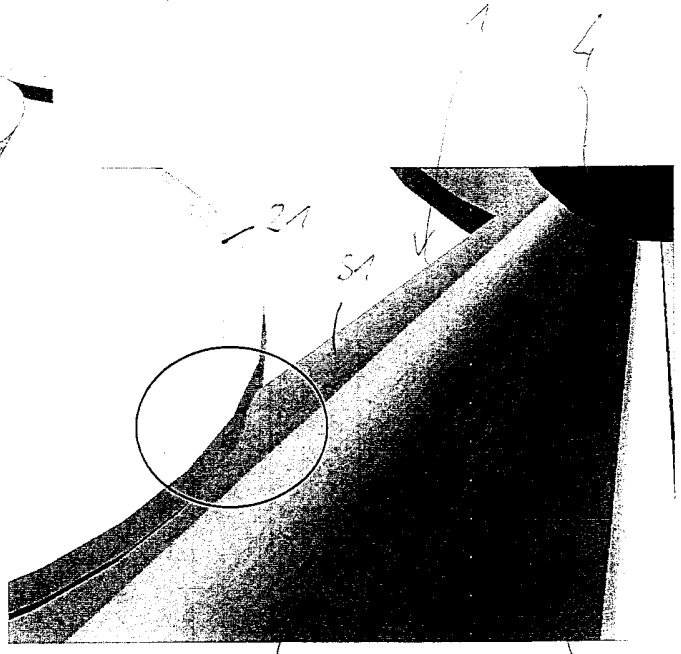


Fig.7

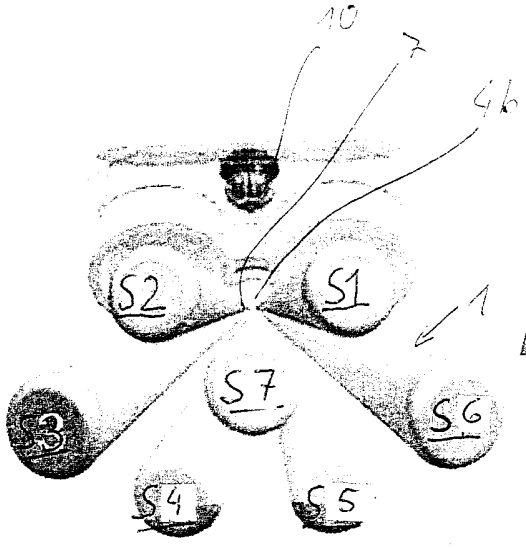


Fig.8

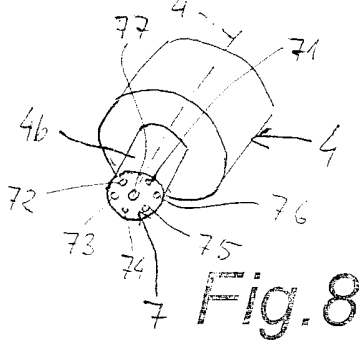


Fig.8a

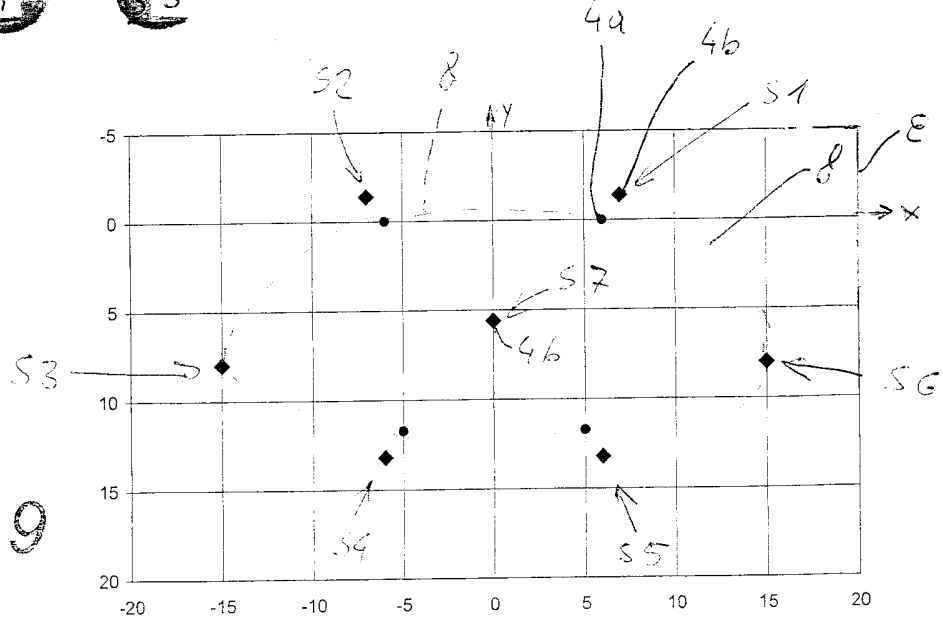


Fig.9