PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : F02B 1/12, 75/02

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 99/40301**

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 12. August 1999 (12.08.99)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/00226

(22) Internationales Anmeldedatum: 16. Januar 1999 (16.01.99)

(30) Prioritätsdaten:
198 04 983.8 7. Februar 1998 (07.02.98) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, D–70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: NIEBERDING, Rolf–Günther [DE/DE]; Stitzenburgstrasse 2, D–70182 Stuttgart (DE).

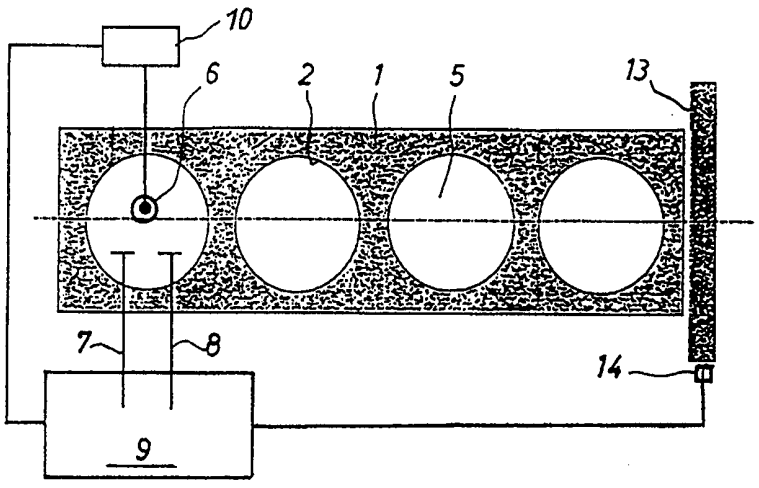
(74) Anwälte: DAHMEN, Toni usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, FTP – C 106, D–70546 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A FOUR–STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES IM VIERTAKT ARBEITENDEN VERBRENNUNGSMOTORS



(57) Abstract

The present invention relates to a method for operating a four–stroke internal combustion engine in which a homogeneous and lean air–fuel mixture is burnt by compression ignition. The fuel is introduced by direct fuel injection into a combustion chamber which is defined by a cylinder with a piston sliding in sealed manner therein. When the mixture is homogeneous, the energy build–up resulting from the compression provides for a homogeneous ignition quality, thus inducing a high energy output with a self–acceleration effect.

(57) **Zusammenfassung**

Bei einem Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors wird ein homogenes, mageres Grundgemisch von Luft und Kraftstoff mit Kompressionszündung gezündet. Der Kraftstoff wird durch direkte Kraftstoffeinspritzung in einen von einem Zylinder mit darin dichtend geführten Kolben begrenzten Brennraum eingebracht. Bei homogener Gemischbildung stellt sich durch die Energiezufuhr infolge der Kompression eine homogene Zündwilligkeit ein, und dadurch erfolgt eine starke selbstbeschleunigende Energiefreisetzung.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	**ES**	Spanien	**LS**	Lesotho	**SI**	Slowenien
AM	Armenien	**FI**	Finnland	**LT**	Litauen	**SK**	Slowakei
AT	Österreich	**FR**	Frankreich	**LU**	Luxemburg	**SN**	Senegal
AU	Australien	**GA**	Gabun	**LV**	Lettland	**SZ**	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	**GB**	Vereinigtes Königreich	**MC**	Monaco	**TD**	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	**GE**	Georgien	**MD**	Republik Moldau	**TG**	Togo
BB	Barbados	**GH**	Ghana	**MG**	Madagaskar	**TJ**	Tadschikistan
BE	Belgien	**GN**	Guinea	**MK**	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	**TM**	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	**GR**	Griechenland			**TR**	Türkei
BG	Bulgarien	**HU**	Ungarn	**ML**	Mali	**TT**	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	**IE**	Irland	**MN**	Mongolei	**UA**	Ukraine
BR	Brasilien	**IL**	Israel	**MR**	Mauretanien	**UG**	Uganda
BY	Belarus	**IS**	Island	**MW**	Malawi	**US**	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	**IT**	Italien	**MX**	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	**JP**	Japan	**NE**	Niger	**UZ**	Usbekistan
CG	Kongo	**KE**	Kenia	**NL**	Niederlande	**VN**	Vietnam
CH	Schweiz	**KG**	Kirgisistan	**NO**	Norwegen	**YU**	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	**KP**	Demokratische Volksrepublik Korea	**NZ**	Neuseeland	**ZW**	Zimbabwe
CM	Kamerun			**PL**	Polen		
CN	China	**KR**	Republik Korea	**PT**	Portugal		
CU	Kuba	**KZ**	Kasachstan	**RO**	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	**LC**	St. Lucia	**RU**	Russische Föderation		
DE	Deutschland	**LI**	Liechtenstein	**SD**	Sudan		
DK	Dänemark	**LK**	Sri Lanka	**SE**	Schweden		
EE	Estland	**LR**	Liberia	**SG**	Singapur		

Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung.

Verbrennungsmotoren mit innerer Verbrennung bieten bei Kompressionszündung homogener, magerer Luft/Kraftstoff-Gemische die Möglichkeit einer geringen Stickoxidbildung und eines hohen thermischen Wirkungsgrades. Diese Vorteile stellen sich aber nur in einem engen Betriebsbereich ein, der von einer Vielzahl sich schnell ändernder Rahmenbedingungen abhängt.

Bei Kompressionszündung wird das Luft/Kraftstoffgemisch durch Kompressionswärme zur Entzündung gebracht. Nach dem Beginn der Entzündung wird durch die dabei freigesetzte Energie ein selbstbeschleunigender Verbrennungsprozeß eingeleitet. Eine zu niedrige Kompression führt zu verzögerter, unvollständiger Verbrennung, eine zu hohe Kompression zu unzulässig steilen Druckanstiegen und zu Gasschwingungen im Arbeitsraum (klopfende Verbrennung).

In der DE- 195 19 663 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors mit Kompressionszündung beschrieben. Hier wird in einer ersten Stufe ein mit äußerer Gemischbildung erzeugtes homogenes und mageres Luft/Kraftstoffgemisch bis nahe an die Zündgrenze komprimiert. In einer zweiten Stufe wird eine Zusatzmenge des gleichen Kraftstoffs fein zerstäubt und unter Vermeidung von Wandberührung in den Arbeitsraum eingespritzt. Der spät eingespritzte Kraftstoff bildet eine Gemischwolke, die sich entzündet, da deren Zündgrenze aufgrund des höheren Kraftstoffgehalts unterhalb der in der ersten Stufe erreichten Kompressionstemperatur liegt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung zu schaffen, mit dem eine dem jeweiligen Betriebsbereich angepaßte sowie verbrauchs- und schadstoffarme Verbrennung möglich ist.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Der Zeitpunkt und Verlauf der Verbrennung sind entscheidend für verbrauchs- und schadstoffarmen sowie aussetzer- und klopffreien Betrieb. Ein Verbrennungsbeginn im Bereich des oberen Totpunktes ist verbrauchs- und schadstoffoptimal. Dagegen läßt eine verschleppte Verbrennung den Kraftstoffverbrauch sowie die Schadstoffemission ansteigen und führt zu Verbrennungsaussetzern, eine zu frühe Verbrennung hingegen führt zu unzulässigen Druckanstiegen und Spitzendrücken mit Klopferscheinungen.

In einem Verbrennungsmotor wird durch die geometrische Kompression des abgeschlossenen maximalen Ausgangsvolumens bis auf ein verbleibendes Restvolumen die Temperatur des Gemisches erhöht. In dem komprimierten Volumen stellt sich eine Temperatur ein, die das Gemisch über die Zeit zur Entzündungsschwelle bringt. Der Verbrennungsprozeß, der sich an die Kompressionszündung des Gemisches anschließt, ist ein aufgrund der durch die Verbrennung freigesetzten Energie selbstbeschleunigender Prozeß. Während des Verbrennungsprozesses beschleunigt sich die Umsetzung weiter. Die hohe Umsetzungsgeschwindigkeit der Verbrennung führt zu starken Druckanstiegen im Brennraum, die eine unerwünschte Form der Verbrennung darstellen. Die im Brennraum zur Entzündung bereite Kraftstoffmenge wirkt sich auf den Druckverlauf aus, d.h. je größer diese Kraftstoffmenge ist, desto stärker wird der Anstieg der Reaktionstätigkeit und die Steilheit des Druckanstiegs. Die Grenzen der Verbrennung bei Kompressionszündung homogener, magerer Gemische hin zu höherer Last mit demzufolge größeren Kraftstoffmengen im Brennraum ist auf die zu homogene Temperaturverteilung im Luft/Kraftstoff-Gemisch im Brennraum zurückzuführen. Für geringe Kraftstoffmengen im Brennraum zeigt sich das Problem nicht, da die freigesetzte Energiemenge nicht so groß ist, daß die kontinuierliche Selbstbeschleunigung des Verbrennungsprozesses bis hin zu einer unerwünscht steilen Drucksteigerung im Brennraum führen könnte.

Bei homogener Gemischverteilung und Kompression wird zeitgleich eine große Menge an Luft/Kraftstoff-Gemisch in Zündungsnähe gebracht und viele Gemischanteile erreichen zur gleichen Zeit die Selbstzündungsbedingung. Dem Prinzip der Selbstbeschleunigung ist immanent die Aktivierung einer Reaktionstätigkeit durch eine differentielle Energiemenge, die zur Freisetzung des Mehrfachen der freigesetzten differentiellen Energiemenge führt.

Die Verzögerung der Entzündungen des Gemisches kann die Energiefreisetzung verschleppen, so daß sich begrenzte Drucksteigerungen im Brennraum einstellen, die in einem akzeptablen Bereich liegen. Eine Verzögerung der Entzündung erfolgt über eine Energieaufnahme der freigesetzten Verbrennungsenergie. Da sich der Entzündungsvorgang als energetisch integraler Prozeß darstellt, kann durch zeitliche und örtliche Spreizung des Selbstzündungsvorgangs eine Verzögerung in der Energiefreisetzung erreicht werden. Anstelle der Homogenität des Gemisches mit ähnlicher Zündungsneigung wird nunmehr ein Gradient der Zündwilligkeit des Gemisches zugrunde gelegt, was zu einer zeitlich verzögerten Energieumsetzung im Brennraum führt, wobei aufgrund verzögerter Verbrennung die Druckanstiege geringer ausfallen. Der Gradient der Zündwilligkeit im Gemisch findet sich differentiell in allen Gemischanteilen, die von der Einspritzung erfaßt werden. Der Gradient darf nicht so groß sein, daß sich ein Temperaturgradient im Gemisch einstellt, daß die Energieweitergabe der Verbrennungsreaktion durch Wärmeleitung bestimmt wird.

Eine zeitliche und örtliche Spreizung der Zündwilligkeit kann durch eine unterschiedliche Energieaufnahme über der Zeit und dem Raum eingestellt werden. Durch die Verdunstungs- und Vermischungsenergie des Kraftstoffs in der Luft sowie die spezifische Wärmekapazität des Gemisches während der Selbstzündungsphase wird Energie aufgenommen. Mit Hilfe innerer Gemischbildung bei der Hubkolbenmaschine ist es möglich, einen lokalen Gradienten der Zündwilligkeit über das Gemischvolumen zu erzeugen. Die Kraftstoffmenge wird in das im Brennraum vorhandene Medium so eingebracht, daß sich Brennraumbereiche unterschiedlicher Kraftstoffverdampfung ergeben. In den Bereichen frühester und bester Verdampfung erhalten die Kraftstoffanteile die höchste Energiezufuhr über die Zeit und bilden aufgrund dessen die höchste Zündneigung aus. Die Bereiche noch unvollständiger Vermischung nehmen noch während der Verdampfung Energie auf, verzögern also die

Selbstzündungsneigung. Die Energieaufnahme durch Verdampfung bewirkt den Gradienten der Zündwilligkeit über den Brennraum. Für die Laststeigerung bei der Verbrennung mit Kompressionszündung ist eine Gradientenbildung über die Schichtung des Einspritzvorgangs in mehrere Einspritzvorgänge möglich. Eine zeitlich geschichtete Einspritzung besteht während der Kompression aus bereits sehr zündwilligen Kraftstoffbereichen. Die dem Brennraum frisch zugeführten Kraftstoffanteile nehmen während ihrer Aufbereitungsphase Energie aus dem komprimierten Gemisch auf und verzögern den Entzündungsprozeß des bereits vorkomprimierten Gemisches. Die Energieaufnahme vermindert die Drucksteigerungen.

Für die Gestaltung einer Hubkolbenmaschine mit variabler effektiver Verdichtung, beispielsweise über die freie Ansteuerung der Einlaß- und Auslaßorgane über die gleichmäßige Veränderung des Brennraumvolumens, kann die Gemischbildung mit der Rückhaltung von Abgasen im Brennraum zur Beeinflussung des nächsten Verbrennungsvorgangs kombiniert werden. Für die Abgasrückhaltung wird bei Verringerung des Brennraumvolumens das Auslaßorgan früher geschlossen, wodurch die Abgasmenge über das Minimalvolumen komprimiert und anschließend expandiert wird. Bei einer frühen Öffnung direkt nach dem Zeitpunkt des Minimalvolumens und des anschließenden Druckausgleichs zwischen Brennraum und Umgebung stellt sich eine gleichmäßige Schichtung von heißem Abgas gegenüber dem kalten Frischgas im Brennraum ein. Bei einer späten Öffnung der Einlaßorgane ist aufgrund der größeren Druckdifferenz eine höhere Einströmenergie gegeben, die die Schichtung von Abgas und Frischgas vermindert.

In einer zweischichtigen Brennraumtemperaturverteilung kann für geringe Lasten und die demzufolge geringe Kraftstoffmenge der Kraftstoff früh eingespritzt werden. Die geringen Kraftstoffmengen verteilen sich gut und gleichmäßig im Frischgas. Die kompakte Ladung des Abgases erhält aufgrund ihres geringen Oberflächen/Volumen-Verhältnisses eine hohe Temperatur, die zur leichten Entzündung des frischen Gemisches mit hohem Luftüberschuß führt. Der hohe Luftüberschuß verhindert die Reaktionsbeschleunigung hin zu steilen Druckanstiegen. Die Einbringung des Kraftstoffs in den Frischladungsbereich wirkt den ungewollten Prozessen des Kraftstoffumsatzes entgegen wie beispielsweise der Hochtemperaturverbrennung, die zur Bildung von NOx führt oder der Dehydration und Koagulation, aus der Ruß

entsteht. Für höhere Lasten wird die Öffnung des Einlaßventils verzögert, was zu einer besseren Vermischung des heißen Abgases und der kälteren Frischluft führt. Für eine homogene Temperaturverteilung im Brennraum kann eine späte Einspritzung oder die Trennung des Einspritzvorgangs im oben dargestellten Sinne eine Gradienten in der Zündwilligkeit herbeiführen. Die frühe Einspritzung während der turbulenten Gemischbildung des Frischgases mit den Abgasanteilen im Brennraum infolge des spät erfolgenden Öffnens des Einlaßventils ermöglicht dem früher eingespritzten Anteil des Kraftstoffs sich homogen im Brennraum zu verteilen und aufgrund von Temperaturerhöhung über die Aufbereitungszeit zu entzünden. Der zweite Anteil des Kraftstoffs wird später zugeführt, um ein lokales Senken der Zündwilligkeit aufgrund von Energieaufnahme durch Verdampfung herbeizuführen.

Ein Grenzwert des Verfahrens ist durch die optimal gleichmäßige Gemischaufbereitung durch sehr frühzeitige Einspritzung bestimmt. Der entgegengesetzte Grenzwert wird durch die Gemischeinbringung in dem Brennraum zu einem so späten Zeitpunkt gebildet, bei dem die Verdampfung des Kraftstoffs nicht mehr vor der Umsetzung ausreichend großer Anteile des aufbereiteten Kraftstoffs stattfinden kann. Es kommt aufgrund der hohen Energiezustände in der Umgebung des unvollständig aufbereiteten und unverbrannten Kraftstoffs zu Dehydrationsvorgängen und Koagulationen in fetten Bereichen bis hin zu Rußbildung im Brennraum und im Abgasstrang. Das erfindungsgemäße Verfahren wird ausschließlich zwischen diesen beiden genannten Grenzen durchgeführt.

Körperschall, Ionenstrom und Drehungleichförmigkeit sind Meßgrößen, die zeitgleich mit der Verbrennung deren Lage und Verlauf wiedergeben und dadurch die Voraussetzung für einen schnellen Regeleingriff schaffen. Dieser Regeleingriff wird unter Verwendung abgelegter Kennfelder oder durch die Anwendung schneller, lernfähiger Elektronik nach dem Prinzip der neuronalen Netze ermöglicht. Zusätzlich zu den die Verbrennung überwachenden Daten berücksichtigt diese Elektronik noch die Ventilsteuerzeiten und die Einspritzzeitpunkte sowie die daraus abgeleiteten Werte für den Luftüberschuß.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Verbrennungsmotors mit Steuergerät für die Gaswechselorgane und die Kraftstoffeinspritzventile,

Fig. 2 einen Schnitt durch einen Arbeitsraum mit Kraftstoffeinspritzventil und Bereichen unterschiedlicher Zündwilligkeit bei direkter Kraftstoffeinspritzung in den späten Kompressionstakt.

Der in den Fig. 1 und 2 schematisch dargestellte Verbrennungsmotor besitzt einen Zylinderblock 1 mit vier Zylindern 2, in denen Kolben 3 dichtend geführt sind und die durch einen Zylinderkopf 4 verschlossen sind. Zylinder 1, Kolben 3 und Zylinderkopf 4 umschließen einen Brennraum 5, in dem die Verbrennung stattfindet.

Im Zylinderkopf 4 finden sich pro Brennraum 5 ein Kraftstoffeinspritzventil 6, ein Einlaßventil 7 und ein Auslaßventil 8. Die Gaswechselventile 7, 8 werden von einer Ventilsteuereinheit 9 geöffnet und geschlossen. Das Kraftstoffeinspritzventil 6 wird bezüglich Einspritzzeitpunkt und Kraftstoffmenge von einer Einspritzsteuerung 10 betätigt, die zur abgestimmten Steuerung der Gaswechselventile 7, 8 mit der Ventilsteuereinheit 9 verbunden ist.

Auf dem aus dem Zylinderblock 1 herausstehenden Ende der Kurbelwelle befindet sich ein Schwungrad 13, in dessen Bereich ein Drehzahlsensor 14 zum Messen der Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle vorgesehen ist. Der Drehzahlsensor 14 sowie weitere geeignete Sensoren liefern Echtzeitsignale von Lage und Verlauf der Verbrennung, so daß unter Berücksichtigung dieser Werte die Steuerung des Kraftstoffeinspritzventils 6 und der Gaswechselventile 7, 8 erfolgen kann.

In Fig. 2 ist ein Schnitt durch den Brennraum 5 dargestellt, der von Zylinder 2, Kolben 3 und Zylinderkopf 4 begrenzt ist und in den das Krafstoffeinspritzventil 6 Kraftstoff einspritzt. Die mit Z_0 bis Z_n bezeichneten Punkte stellen schematisch die Kraftstoffanteile dar, die mit zunehmendem Index später in den Brennraum gelangten und damit eine niedrigere Zündwilligkeit aufweisen. Die Elemente mit hohen Indizes nehmen während ihrer Verdampfungsphase Energie aus den Gemischbereichen mit sonst homogener Temperaturverteilung auf, die aus Kraftstoffanteilen mit niedrigen

Indizes bestehen. Die Temperaturverhältnisse während der Kompressionsphase im Brennraum 5 zeigt ein mit T bezeichnetes Temperaturprofil durch denselben.

Das erfindungsgemäße Verfahren funktioniert folgendermaßen: Durch ein Einlaßorgan 7 gelangt entweder Luft oder ein mageres Kraftstoff/Luft-Grundgemisch in den Brennraum 5. Dort wird das Gemisch mit heißem Abgas vermisch und/oder bis zur Selbstentzündungsgrenze verdichtet. Nach Beginn der Verbrennung setzt sich diese durch die freigesetzte Wärme selbstbeschleunigend fort, zumal viele Gemischanteile zu gleicher Zeit die Selbstzündungsbedingungen erreichen. Bei geringen Kraftstoffmengen im Brennraum 5 ist die freigesetzte Energiemenge nicht so groß, daß sie zu einer deutlichen Drucksteigerung im Brennraum führen kann. Dies ändert sich jedoch mit steigendem Kraftstoffgehalt im Brennraum 5. Die bei homogener Kraftstoffverteilung große, zündbereite Gemischmenge würde zu einer ungewollten Verbrennung mit steilen Druckanstiegen und hohen Spitzendrücken sowie starken Druckschwingungen im Brennraum 5 führen.

Dieses für die Kompressionszündung homogener Gemische entscheidende Problem wird durch die vorliegende Erfindung beseitigt, wobei dies einerseits durch die Regelung der Verdichtung im Brennraum 5 und andererseits durch die Regelung der Kraftstoffverteilung im Gemisch erfolgt. Diese Maßnahmen können einzeln oder auch in Kombination vorgenommen werden.

Die unterschiedliche Kraftstoffverteilung wird durch späte Direkteinspritzung in das homogene Grundgemisch erreicht. Durch die Verdampfungs- und Gemischbildungswärme der einzelnen Kraftstofftröpfchen wird die Gemischtemperatur lokal verringert und dadurch auch dessen lokale Zündwilligkeit. Das führt zu einem verringerten Druckanstieg aufgrund der verzögerten Energiefreisetzung der gesamten Kraftstoffenergie.

Für eine Laststeigerung bei Verbrennung mit Kompressionszündung ist eine Gradientenbildung der Zündwilligkeit über die Schichtung des Einspritzvorgangs in mehrere Einspritzvorgänge vorteilhaft. Die zeitlich geschichtete Einspritzung besteht während der Kompression aus bereits sehr zündwilligen Kraftstoffbereichen und solchen, die gerade in den Brennraum gelangen. Die frisch zugeführten Kraftstoff-

anteile nehmen während ihrer Aufbereitungsphase Energie aus dem vorkomprimierten Gemisch und verzögern dessen Entzündungsprozeß mit der Folge verminderter Drucksteigerungen.

Bei Abgasrückhaltung wird das Auslaßventil 8 früher geschlossen, wodurch das Restgas im Gaswechseltotpunkt komprimiert und anschließend expandiert wird. Bei einer frühen Öffnung des Einlaßventils 7 kurz nach dem Gaswechseltotpunkt und dem sich daran anschließenden Druckausgleich zwischen Brennraum 5 und Umgebung bildet sich im Brennraum 5 eine gleichmäßige Schichtung aus heißem Abgas und kaltem Frischgas aus. Bei einer späteren Öffnung der Einlaßventile 7 stellt sich wegen des höheren Unterdrucks und der dadurch bedingten höheren Einströmenergie eine geringere Schichtung aus Abgas und Frischgas ein.

Bei einer zweischichtigen Temperaturverteilung im Brennraum 5 kann die bei niedrigen Lasten kleine Kraftstoffmenge früh eingespritzt werden. Aufgrund der langen Gemischbildungszeiten verteilen sich die kleinen Kraftstoffmengen gleichmäßig im Frischgas. Das geschichtete Abgas behält aufgrund seines geringen Oberflächen/Volumenverhältnisses seine hohe Temperatur, die zur sicheren Entzündung des mageren Gemischs führt. Der hohe Luftüberschuß verhindert eine Reaktionsbeschleunigung mit daraus folgendem steilen Druckanstieg. Die Einbringung des Kraftstoffs in die Frischladung verhindert die Folgen einer Hochtemperaturverbrennung mit NOx- und Rußbildung.

Für höhere Lasten wird die Öffnung des Einlaßventils 7 verzögert, und zwar zur Erhöhung der Differenz zur Umgebungsbedingung, was aufgrund der stärkeren Turbulenz zu einer Vermischung von heißem Abgas und kälterer Frischluft führt. Bei einer gleichmäßigen Temperaturverteilung im Brennraum 5 kann eine späte, gegebenenfalls sequentielle Kraftstoffeinspritzung eine abgestufte Zündwilligkeit erbringen. Der früh eingespritzte Kraftstoff verteilt sich wegen der hohen Turbulenz des Luft/Restgasgemischs gleichmäßig und entzündet sich wegen der langen Reaktionszeit in demselben. Der spät eingespritzte Kraftstoff führt zu lokalen Senken der Zündwilligkeit aufgrund der Gemischabkühlung durch seine Verdampfung.

Durch die zeitliche Staffelung der Gemischbildung im Brennraum kann die Homogenität der Zündwilligkeit im Brennraum so verringert werden, daß sich weiterhin ein selbstbeschleunigender Prozeß einstellt, dessen Selbstbeschleunigung aber geringer ausfällt, was zu geringeren Druckanstiegen führt.

Ansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors, mit homogenem, mageren Grundgemisch von Luft und Kraftstoff und mit Kompressionszündung sowie einer direkten Kraftstoffeinspritzung in zumindest einen von einem Zylinder (2) mit darin dichtend geführten Kolben (3) begrenzten Brennraum (5),
dadurch gekennzeichnet, daß bei homogener Gemischbildung sich durch die Energiezufuhr infolge der Kompression eine homogene Zündwilligkeit einstellt und dadurch eine starke selbstbeschleunigende Energiefreisetzung erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die Zündwilligkeit im Brennraum (5) durch die Temperatur und den Druckverlauf des mageren Gemisches über die Zeit bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß die Zündwilligkeit im Brennraum (5) während der Kompressionsphase über mehrere Zündwilligkeiten (Z1 bis Zn) erstreckt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß durch Verdampfung des mit innerer Gemischbildung eingebrachten Kraftstoffs Energie aufgenommen wird und durch diese Energieaufnahme die Temperatur des Gemisches zumindest lokal abgesenkt und damit die Zündwilligkeit verzögert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß der Gradient der Zündwilligkeit durch den Einspritzzeitpunkt des Kraftstoffs bei innerer Gemischbildung beeinflußt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß der Gradient der Zündwilligkeit durch die Trennung des Einspritzvorgangs in mehrere Teileinspritzungen beeinflußt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche Verbrennungsbereiche und deren Charakterisierung bestimmbar sind, wobei die Bestimmung aus in Kennfeldern abgelegten Parametern oder durch Anwendung neuronaler Netze erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß eine Regelung in Abhängigkeit der erfaßten Verbrennungsbereiche erfolgt, wobei die Verbrennung über die Gestaltung der Einspritzung und Gemischbildung optimiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß eine Optimierung der Verbrennung durch Variation der Verdichtung und durch gezielte Inhomogenität des Luft/Kraftstoff-Gemisches erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, daß das lokale Luft/Kraftstoff-Gemisch höchstens stöchiometrisch ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß die Motorlast durch gleichzeitiges Einstellen von Einspritzzeitpunkt und -menge sowie durch Auslaß und Einlaßschluß variiert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennung auch bei stationären Betriebspunkten durch Variation von Verdichtung, Turbulenz und Einspritzung optimiert wird.

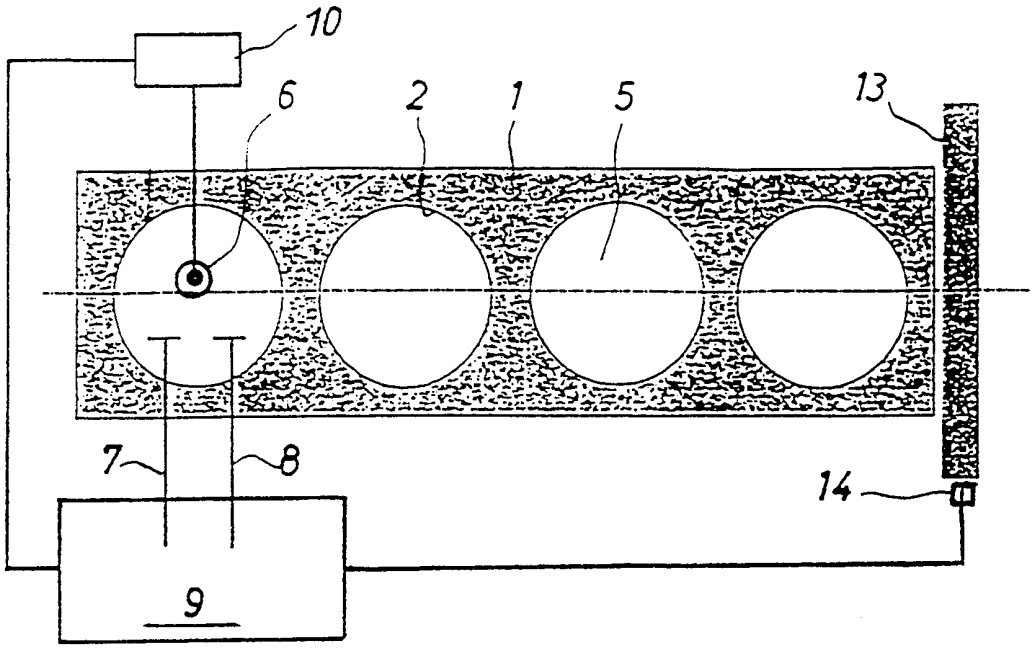


Fig.1

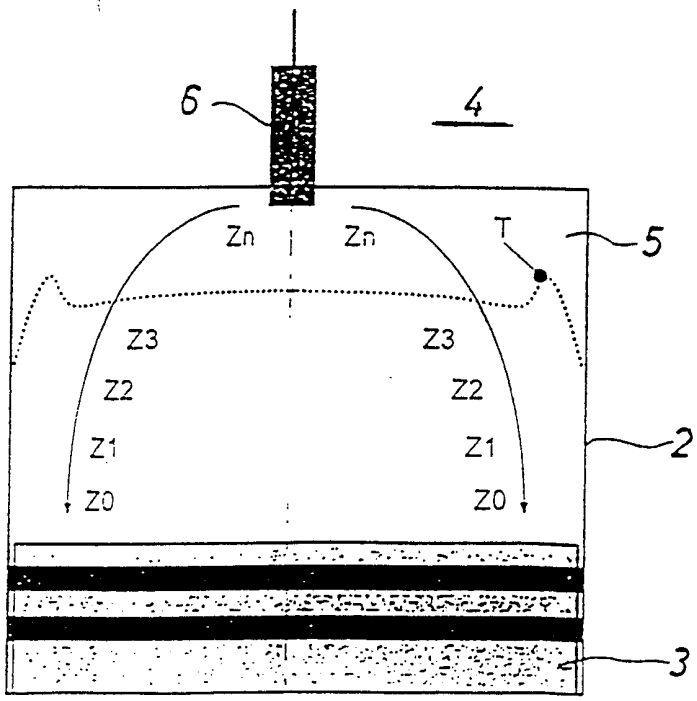


Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int(onal Application No
PCT/EP 99/00226

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 F02B1/12 F02B75/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 F02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 20 17 153 A (R.W.WOLF) 21 October 1971 see claims 1,2	1-4,7,11
A	see page 11, paragraph 4 - page 14, paragraph 2	5,8-10, 12

X	DE 464 601 C (DAIMLER-BENZ) see figure 1 see claim 1	1-4
A	see page 2, line 1 - line 43	9-11

X	DE 11 22 763 B (LEUNIG) see claims 1,2	1-4
A	see column 1, line 23 - column 4, line 15	5-12

	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
7 May 1999	14/05/1999

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Wassenaar, G

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte onal Application No
PCT/EP 99/00226

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 609 131 A (GRAY JR CHARLES L ET AL) 11 March 1997 see figure 1 see abstract see column 4, line 15 - column 5, line 30 ---	1-12
A	DE 195 19 663 A (DAIMLER BENZ AG) 15 May 1996 cited in the application see figures 1,2 see claims 1-3 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inte onal Application No
PCT/EP 99/00226

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 2017153 A	21-10-1971	NONE	
DE 464601 C		NONE	
DE 1122763 B		NONE	
US 5609131 A	11-03-1997	AU 701088 B	21-01-1999
		AU 7375996 A	30-04-1997
		CA 2234077 A	17-04-1997
		CN 1199444 A	18-11-1998
		EP 0854973 A	29-07-1998
		WO 9713966 A	17-04-1997
DE 19519663 A	15-05-1996	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int ionales Aktenzeichen
PCT/EP 99/00226

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 F02B1/12 F02B75/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 F02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 20 17 153 A (R.W.WOLF) 21. Oktober 1971 siehe Ansprüche 1,2	1-4,7,11
A	siehe Seite 11, Absatz 4 - Seite 14, Absatz 2	5,8-10, 12

X	DE 464 601 C (DAIMLER-BENZ) siehe Abbildung 1 siehe Anspruch 1	1-4
A	siehe Seite 2, Zeile 1 - Zeile 43	9-11

X	DE 11 22 763 B (LEUNIG) siehe Ansprüche 1,2	1-4
A	siehe Spalte 1, Zeile 23 - Spalte 4, Zeile 15	5-12

	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
7. Mai 1999	14/05/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Wassenaar, G

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. ...onales Aktenzeichen
PCT/EP 99/00226

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 609 131 A (GRAY JR CHARLES L ET AL) 11. März 1997 siehe Abbildung 1 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 4, Zeile 15 - Spalte 5, Zeile 30 ---	1-12
A	DE 195 19 663 A (DAIMLER BENZ AG) 15. Mai 1996 in der Anmeldung erwähnt siehe Abbildungen 1,2 siehe Ansprüche 1-3 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inte ›nales Aktenzeichen
PCT/EP 99/00226

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2017153 A	21-10-1971	KEINE	
DE 464601 C		KEINE	
DE 1122763 B		KEINE	
US 5609131 A	11-03-1997	AU 701088 B	21-01-1999
		AU 7375996 A	30-04-1997
		CA 2234077 A	17-04-1997
		CN 1199444 A	18-11-1998
		EP 0854973 A	29-07-1998
		WO 9713966 A	17-04-1997
DE 19519663 A	15-05-1996	KEINE	