

(12) **GEBRAUCHSMUSTERSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 725/00

(51) Int.Cl.<sup>7</sup> : F02B 11/00

(22) Anmeldetag: 3.10.2000

(42) Beginn der Schutzdauer: 15. 2.2002

(45) Ausgabetag: 25. 3.2002

(73) Gebrauchsmusterinhaber:

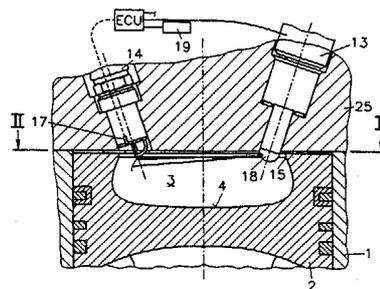
AVL LIST GMBH  
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(72) Erfinder:

CHMELA FRANZ DIPL.ING. DR.  
GRAZ, STEIERMARK (AT).  
CSATO JANOS DR.  
GRAZ, STEIERMARK (AT).  
GLENSVIG MICHAEL DIPL.ING.  
GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER MIT SELBSTZÜNDBAREM KRAFTSTOFF BETRIEBENEN BRENNKRAFTMASCHINE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Brennkraftmaschine, wobei in Selbstzündungsbereichen (CI) ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugt wird, ein für eine Selbstzündung des Kraftstoffes geeignetes hohes Verdichtungsverhältnis bereitgestellt wird und die Verbrennung in Selbstzündungsbereichen (CI) überwiegend durch Selbstzündung erfolgt. Um auf möglichst einfache Weise den Verbrennungsbeginn im Selbstzündungsbereich (CI) zu steuern, ist vorgesehen, dass im Selbstzündungsbereich (CI) Druck und/oder Temperatur des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches, vorzugsweise in Abhängigkeit der Ladungszusammensetzung und/oder Ladungstemperatur, so eingestellt werden, dass die Selbstzündung erst nach dem eigentlichen gewünschten Brennbeginn im Bereich des oberen Totpunktes erreicht werden würde, und die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches durch einen externen Energieimpuls eingeleitet wird.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit selbstzündbarem Kraftstoff betriebenen Brennkraftmaschine, wobei in Selbstzündungsbereichen ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum erzeugt wird, ein für eine Selbstzündung des Kraftstoffes geeignetes hohes Verdichtungsverhältnis bereitgestellt wird und die Verbrennung in Selbstzündungsbereichen überwiegend durch Selbstzündung erfolgt.

Aus der Veröffentlichung "Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) of Diesel Fuel", Allen W. Gray et al., SAE 971676, ist es bekannt, dass bei der Verbrennung eines durch Selbstzündung entflammten mageren Kraftstoff-Luftgemisches wegen der homogenen Konzentrations- und Temperaturverteilung äußerst niedrige Emissionswerte für  $\text{NO}_x$  und Ruß erzielt werden. Dieses Verfahren wird im englischen Sprachraum als HCCI-Verfahren (Homogeneous Charge Compression Ignition) bezeichnet. Weiters ist bekannt, dass Dieselkraftstoff bei diesem Verbrennungsverfahren Schwierigkeiten bereitet, da der Zeitpunkt der Entflammung wegen seiner hohen Zündwilligkeit nur bei niedrigem Verdichtungsverhältnis und niedrigem effektivem Mitteldruck in erwünschter Weise kurz vor dem oberen Totpunkt fixiert werden kann. Das erforderliche niedrige Verdichtungsverhältnis von etwa 10 führt zu erheblichen Nachteilen hinsichtlich des spezifischen Kraftstoffverbrauches und der erreichbaren Leistungsausbeute gegenüber dem konventionellen Dieserverfahren, die die breite Nutzung dieses an sich sehr emissionsgünstigen Verbrennungsverfahren bisher verhindert haben. Als weitere dieselmotorspezifische Schwierigkeit ist die für die Verdampfung und damit für die Homogenisierung der Zylinderladung hinderliche Lage des Siedebereichs zwischen etwa 170 bis 360°C anzusehen, die zu hohen Emissionen von  $\text{NO}_x$ , Ruß und unverbrannten Kohlenwasserstoffen führen kann und die Gefahr der Anreicherung von Dieselkraftstoff im Schmieröl mit sich bringt.

Benzin hat für das HCCI-Verfahren wegen seiner sehr niedrigen Selbstzündungswilligkeit und des niedriger liegenden Siedebereiches zwischen etwa 30 und 190°C große Vorteile. Das Verdichtungsverhältnis kann hier, ähnlich wie beim Dieselmotor, auf Werte von etwa 15 bis 17 angehoben werden. Allerdings ist auch hier der erreichbare effektive Mitteldruck in nachteiliger Weise auf den Teillastbereich beschränkt, wie aus der Veröffentlichung "An Experimental Study on Premixed-Charge Compression Ignition Gasoline Engine", Taro Aoyama et al., SAE 960081, hervorgeht.

Weiters ist aus der DE 36 32 579 C2 eine fremdgezündete, luftverdichtende, mit dieselmotorähnlich hohem Verdichtungsverhältnis arbeitende Brennkraftma-

schine bekannt, bei der zur Sicherstellung der Entflammung des Luft-Kraftstoffgemisches eine Ladungsschichtung erzeugt wird. Dieses Schichtlade-Brennverfahren kann auch als SCSI-Verfahren (Stratified Charge Spark Ignition) bezeichnet werden. Mit dem Schichtladeprinzip wird erreicht, dass die Gemischzusammensetzung im Bereich der Zündquelle während des Funkenüberschlages lange genug innerhalb der Zündgrenzen liegt, um eine für das Weiterbrennen der Zylinderladung ausreichend große Flamme zu erzeugen. Ein derartiges Schichtlade-Brennverfahren mit Fremdzündung ist allerdings im Teillastbereich nicht so emissionsgünstig wie das HCCI-Verfahren, kann aber mit sehr viel höheren Mitteldrücken betrieben werden und ist bezüglich der Rußemission besser als der Dieselmotor.

Aus der DE 28 51 504 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit variablem Verdichtungsverhältnis bekannt, wobei die Brennkraftmaschine mit einer Kraftstoffsorte fremdgezündet und selbstgezündet betrieben wird. Bei dieser Brennkraftmaschine wird im Teillastbereich das Verdichtungsverhältnis zur Durchführung einer Selbstzündung vergrößert und im Vollastbereich für einen Fremdzündungsbetrieb verkleinert. Über eine in den Hauptbrennraum oder in eine Vorkammer mündende Einspritzdüse wird Kraftstoff für den Dieselmotorbetrieb zugeführt, wodurch ein inhomogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum entsteht. Es liegt somit kein HCCI-Betrieb vor. Die Zuführung des Kraftstoffes für den Fremdzündungsbetrieb erfolgt in einer Ausführung über einen Vergaser und in einer anderen Ausführung über eine in einen Nebenbrennraum mündende weitere Einspritzdüse. Die Verbrennung wird im Fremdzündungsbetrieb über eine in den Nebenbrennraum mündende Zündkerze eingeleitet. Bei Fremdzündung mit Kraftstoffeinspritzung und Luftansaugung im Vollastbetrieb liegt eine Ladungskonzentration im Nebenbrennraum relativ zum Hauptbrennraum vor. Das bekannte Verfahren erlaubt ein stabiles Betriebsverhalten und einen guten Wirkungsgrad. Die vom HCCI-Verfahren bekannten extrem niedrigen Emissionswerte können aber nicht erreicht werden.

Auch die US 4 126 106 A beschreibt eine Brennkraftmaschine, die sowohl nach dem Otto-, als auch nach dem Dieselmotorverfahren betreibbar ist. Dabei wird während der Startphase und des Teillastbetriebes unter direkter Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum eine Schichtladung erzeugt und die Verbrennung durch Fremdzündung dieser geschichteten Ladung eingeleitet. Bei Vollast hingegen wird der Kraftstoff direkt in den Brennraum gegen die heißen Brennraumwände gespritzt, wobei der Kraftstoff verdampft und die Zündung durch Kompression nach dem Dieselmotorverfahren erfolgt. Der Motor wird dabei bei einem Verdichtungsverhältnis von weniger als 16:1 betrieben. Bei höherer Motorlast reicht allerdings die Zeit zwischen Einspritzbeginn und dem Zeitpunkt der Selbstzündung für eine

gute Gemischaufbereitung nicht mehr aus, weshalb es zu einer Verschlechterung des Verbrennungsablaufes und der Emissionen kommt.

Ferner ist aus der US 3 125 079 A eine Vielzweck-Brennkraftmaschine bekannt, welche sowohl selbstzündend, als auch fremdzündend mit einem festen Verdichtungsverhältnis von 15:1 betreibbar ist. Der Kraftstoff wird dabei über eine Vielstrahl-Einspritzdüse direkt radial in den Brennraum eingespritzt. Dies ist zur Erzeugung eines hohen Ladungsschichtungsgrades nicht geeignet.

Um bei einer Brennkraftmaschine für fremd- und selbstzündbarem Kraftstoff die Abgasqualität bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad zu verbessern, wird in der AT 003 135 U1 vorgeschlagen, im Selbstzündungsbereich ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum zu erzeugen. Dieses Verfahren weist die Vorteile des HCCI-Verfahrens auf und vermeidet durch die Umschaltung auf Fremdzündung dessen Nachteile bei hoher Motorlast. Das Verfahren vereinigt somit die Vorteile des HCCI-Verfahrens mit dem des SCSI-Verfahrens. Allerdings lässt sich der Verbrennungsbeginn des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches nur schwer steuern, da zur Erreichung einer Homogenisierung die Gemischbildung ein Saugrohr oder sehr weit vor dem Verbrennungsbeginn erfolgt. Es gibt daher keine direkte Steuerungsmöglichkeit des Verbrennungsbeginnes durch den Spritzbeginn (wie beim Dieselmotor) oder durch den Zündfunken (wie beim Ottomotor).

Für die Steuerung des Verbrennungsbeginnes würde ein HCCI-Motor ein komplexes Regelsystem für die Berücksichtigung bzw. Einstellung einer großen Anzahl von Betriebsparametern benötigen. Dies wäre allerdings mit einem sehr großen regeltechnischen Aufwand verbunden.

Aufgabe der Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und bei einer mit selbstzündbarem homogenen Kraftstoff-Luftgemisch betriebenen Brennkraftmaschine auf möglichst einfache Weise den Verbrennungsbeginn im Selbstzündungsbereich zu steuern.

Erfindungsgemäß erfolgt dies dadurch, dass im Selbstzündungsbereich Druck und/oder Temperatur des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches, vorzugsweise in Abhängigkeit der Ladungszusammensetzung und/oder Ladungstemperatur, so eingestellt werden, dass die Selbstzündung erst nach dem eigentlich gewünschten Brennbeginn im Bereich des oberen Totpunktes erreicht werden würden und die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches erst durch einen externen Energieimpuls eingeleitet wird. Die Ladung wird somit nur bis zu einem gewissen Abstand an die Selbstzündungsfähigkeit herangeführt. Die Einleitung der Verbrennung erfolgt durch den externen Energieimpuls. Durch diesen Energieimpuls wird das Energieniveau der Ladung bis zur Selbstzündungsfähigkeit

angehoben, worauf die gesamte Zylinderladung nach Ablauf eines kurzen weiteren Zündverzuges die Selbstzündungsfähigkeit erreicht und durchbrennt.

Der externe Energieimpuls kann ein elektrischer Zündfunken sein. Genauso kann aber vorgesehen sein, dass die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich durch die Selbstzündung einer unmittelbar vor dem Brennbeginn eingespritzten Pilot-Kraftstoffmenge eingeleitet wird.

Das Verfahren lässt sich bevorzugt einsetzen zum Betreiben einer mit sowohl fremd-, als auch selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Kraftmaschine, wobei dem Motorbetriebsbereich Selbstzündungs- und Fremdzündungsbereiche zugeordnet werden und die Verbrennung in Fremdzündungsbereichen durch Fremdzündung des Kraftstoff-Luftgemisches eingeleitet wird, und wobei der Teillastbereich dem Selbstzündungsbereich, der Vollastbereich und/oder Motorbetriebsbereiche mit hoher Motorlast sowie der Kaltstart dem Fremdzündungsbereich zugeordnet werden. Dadurch können die Vorteile des HCCI-Verfahrens ausgenutzt und durch die Umschaltung auf Fremdzündung dessen Nachteile bei hoher Motorlast vermieden werden. Zusätzlich zu den Selbstzündungsbereichen kann auch in zumindest einem Fremdzündungsbereich ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum erzeugt werden. Das homogene Kraftstoff-Luftgemisch kann stöchiometrisch oder mager sein. Besonders niedrige Kraftstoffverbräuche und geringe Emissionen lassen sich allerdings erreichen, wenn in Fremdzündungsbereichen eine Schichtladung im Brennraum erzeugt wird.

Bei höherer Motorlast würde beim HCCI-Verfahren die Zeit zwischen Einspritzbeginn und dem Zeitpunkt der Selbstzündung für eine gute Gemischaufbereitung nicht mehr ausreichen, weshalb es bei Selbstzündung zu einer Verschlechterung des Verbrennungsablaufes und der Emissionen kommen würde. Da im Vollastbereich und/oder in Motorbetriebsbereichen mit hoher Motorlast eine Fremdzündung erfolgt, werden diese Nachteile vermieden. Es können somit sowohl im Teillast-, als auch im Vollastbereich die Emissionen deutlich verbessert werden.

Obwohl das SCSI-Verfahren zwar nicht genauso emissionsgünstig ist wie das HCCI-Verfahren, bietet es jedoch hinsichtlich der Emissionsbildung die zwei folgenden Vorteile gegenüber dem DI-Verfahren (direct injection) eines konventionellen Dieselmotors. Zum einen ist die Rußbildungsneigung von Benzin hauptsächlich wegen der kleineren Molekülgröße und des damit zusammenhängenden höheren, die Gemischbildung begünstigenden, Dampfdruckes deutlich kleiner, als bei Dieselmotoren. Zum anderen bietet das Verfahrensmerkmal der Fremdzündung gegenüber dem Dieselmotor den zusätzlichen Freiheitsgrad, die Zeitspanne zwischen Einspritzbeginn und Entflammung durch die Wahl des Abstandes zwi-

schen Einspritzbeginn und Zündzeitpunkt stark vergrößern zu können, womit die für die Gemischaufbereitung zur Verfügung stehende Zeit deutlich verlängert wird, wobei das Schichtladungsprinzip verhindert, dass die vor der Entflammung gebildete Menge vorgemischter Ladung und damit die anfängliche Druckanstiegsgeschwindigkeit zu groß werden würde.

In Motorbetriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum kann die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches vorteilhafterweise durch äußere Gemischbildung, vorzugsweise durch Einspritzung des Kraftstoffes in das Saugrohr erfolgen. In Motorbetriebsbereichen mit Schichtladung im Brennraum wird der Kraftstoff dagegen direkt immer in den Brennraum eingespritzt.

Die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich kann aber auch durch direkte Einspritzung des Kraftstoffes in den Brennraum erfolgen. Dazu kann die Einspritzeinrichtung mit veränderbarer Einspritzcharakteristik ausgeführt sein. Eine veränderbare Einspritzcharakteristik kann mit hubvariablen Einspritzdüsen oder mit Doppelnadeleinspritzdüsen erreicht werden. Eine Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches kann auch durch unterschiedliche Einspritzdrücke der direkteinspritzenden Einspritzeinrichtung realisiert werden. Um die Gemischbildung auch über die Strahlqualität definiert steuern zu können, kann eine luftunterstützte Einspritzeinrichtung von Vorteil sein.

Das Umschalten zwischen Selbst- und Fremdzündung wird in Abhängigkeit des effektiven Mitteldruckes des Arbeitsprozesses bei einem vorbestimmten Grenzwert des effektiven Mitteldruckes durchgeführt. Dabei liegt unterhalb dieses Grenzwertes der Selbstzündungsbereich und oberhalb dieses Grenzwertes der Fremdzündungsbereich. Der Grenzwert wird in einem Bereich des effektiven Mitteldruckes, in dem der indizierte Mitteldruck zwischen etwa 4 bis 9 bar, vorzugsweise etwa 6 bis 9 bar, besonders vorzugsweise etwa 7 bis 8,5 bar beträgt, definiert, wobei vorzugsweise die Druckanstiegsgeschwindigkeit des Zylinderdruckes kleiner gleich 5 bar pro Grad Kurbelwinkel ist.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann der Zeitpunkt des Verbrennungsbegins des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich so genau festgelegt werden, wie dies bisher nur bei nicht homogenen selbstzündenden Ladungen durch den Einspritzzeitpunkt oder bei fremdzündenden Ladungen durch den Zündzeitpunkt möglich war.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine Brennkraftmaschine gemäß Linie I-I in Fig. 2,

Fig. 2 eine Draufsicht auf einen Zylinder gemäß Linie II-II in Fig. 1 und

Fig. 3 ein Diagramm, in welchem der mittlere effektive Druck über der Drehzahl aufgetragen ist.

In Fig. 2 sind zusätzlich im Zylinderkopf angeordnete Elemente strichliert dargestellt.

In der Fig. 1 ist der im Zylinder 1 hin- und hergehende Kolben 2 in seiner oberen Totpunktlage dargestellt. Der Kolben 2 weist eine einen Brennraum 3 bildende Kolbenmulde 4 auf. Im Zylinderkopf 25 sind Einlasskanäle 6, 7 angeordnet, von denen zumindest ein Einlasskanal 6 drallerzeugend ausgebildet ist, wie in Fig. 2 durch strichlierte Linien angedeutet ist. Jeder der Einlasskanäle 5, 6 führt zu einem Einlassventil 7, 8. Im Zylinderkopf sind weiters Auslasskanäle 9, 10 angeordnet, welche über Auslassventile 11, 12 in den Brennraum 3 münden.

Im Zylinderkopf 25 ist eine Einspritzeinrichtung 13 zur direkten Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum 3 sowie eine Zündeinrichtung bildende Hochspannungszündkerze 14 vorgesehen, wobei sowohl die Einspritzeinrichtung 13, als auch die Zündkerze 14 im Bereich des Randes 15 der eingezogenen, rotationskörperförmigen Kolbenmulde 4 angeordnet sind.

Die Düse 18 der Einspritzeinrichtung 13 weist eine Ein- oder Zweistrahl Düse mit guter Strahlaufösung und einen nicht weiter dargestellten Luftanschluss zur Luftunterstützung auf. Die Einspritzeinrichtung 13 ist mit einem ebenfalls nicht weiter dargestellten Einspritzsystem verbunden, mit dem sich mindestens zwei verschiedene Druckniveaus realisieren lassen.

Die Durchstoßpunkte der Achse 14a der Zündkerze 14 und der Achse 13a der Einspritzeinrichtung 13 durch das Feuerdeck des Zylinderkopfes weisen - im Grundriss betrachtet - einen Zentriwinkel  $\alpha$  zueinander von etwa  $90^\circ$  bis  $200^\circ$ , vorzugsweise  $120^\circ$  auf. Dabei ist die Zündkerze in Drallrichtung um diesen Winkel stromabwärts angeordnet.

Zumindest einer der Einlasskanäle 5, 6 ist mit einem Abgasrückführsystem 16 mit einem Abgassteuerorgan 16a verbunden, mit welchem Abgas in die Einlassströmung eingebracht werden kann.

Zur Erfassung des Entflammungszeitpunktes ist ein geeigneter Sensor 17 vorgesehen, welcher beispielsweise in die Zündkerze 14 integriert werden kann. Der Entflammungszeitpunkt kann über die Druckanstiegsgeschwindigkeit im Zylinder oder optisch erfasst werden. Der Sensor 17 ist mit einer elektronischen Steuereinheit ECU verbunden, welche in Abhängigkeit des Entflammungszeitpunktes den Einspritzzeitpunkt der Einspritzeinrichtung 13, sowie die Temperatur und die Abgasrückführmenge des Abgasrückführsystems 16 steuert.

Zumindest in einem der beiden Einlasskanäle 5, 6 ist ein Einlasssteuerorgan 5a bzw. 6a angeordnet, um den Drall im Brennraum 3 verändern zu können. Mit

den Einlasskanälen 5, 6 sollte sich ein Drall mit relativ hoher Einlassdrallzahl, also einer Drallzahl größer als 2, erreichen lassen.

Die Brennkraftmaschine weist weiters eine variable Ventilsteuerungseinrichtung 19 für die Einlassventile 7, 8 und die Auslassventile 11, 12 auf, mit welchem der Schließzeitpunkt zumindest eines Einlassventiles 7, 8 und der Öffnungs- und/oder Schließzeitpunkt mindestens eines Auslassventiles 11, 12 verändert werden kann. Die variable Ventilsteuerungseinrichtung 19 kann durch eine bekannte elektrische, hydraulische, pneumatische oder mechanische Ventilsteuerungsvorrichtung zur Veränderung der Steuerzeit gebildet sein. Die Ventilsteuerung erfolgt ebenfalls über die elektronische Steuereinheit ECU.

Die Brennkraftmaschine wird in der Kaltstartphase mit homogenem Gemisch mit Fremdzündung betrieben. Bei betriebswarmer Brennkraftmaschine wird im Teilastbereich das Kompressionsverhältnis annähernd auf einen für die Selbstzündung des Benzins erforderlichen Wert von 14:1 bis etwa 18:1 angehoben. Um den Selbstzündungszeitpunkt genau steuern zu können, werden Druck, Temperatur und Zusammensetzung der Ladung allerdings so eingestellt, dass die Selbstzündungsfähigkeit gerade noch nicht erreicht wird. Durch einen zusätzlichen äußeren Energieimpuls wird das Niveau der Selbstzündungsfähigkeit erreicht, worauf – nach Ablauf eines gewissen Zündverzuges – die gesamte Zylinderladung durchbrennt. Die Einleitung des zusätzlichen externen Energieimpulses kann durch einen Zündfunken einer Zündeinrichtung – etwa der Zündkerze 14 – oder durch Selbstzündung einer zusätzlich eingespritzten kleinen Kraftstoffmenge erfolgen. Im Selbstzündungsbereich wird der Kraftstoff der Einspritzeinrichtung 13 unter relativ hohem Druck zugeführt. Durch die Düse 18 der Einspritzeinrichtung 13 wird eine gute Strahlaulösung des Kraftstoffstrahles erreicht. Der Einspritzzeitpunkt der Einspritzeinrichtung 13 kann über die Steuereinheit ECU in Abhängigkeit des Entflammungszeitpunktes, welcher über die Entflammungserfassungseinrichtung 17 erfasst wird, eingestellt werden. Eine besonders gute Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches während des Selbstzündungsbereiches CI lässt sich auch durch eine bekannte äußere Gemischbildungseinrichtung, wie beispielsweise eine in Fig. 2 strichliert angedeutete Saugrohreinrichtung 26 oder einen Vergaser erreichen. Dadurch wird das Gemisch noch außerhalb des Brennraumes 3 aufbereitet und homogenisiert. Der Öffnungsbeginn der Einlassventile 7, 8 wird so gesteuert, dass ein relativ hohes Verdichtungsverhältnis erreicht werden kann. Zur Anhebung der Ladungstemperatur können darüberhinaus die Steuerzeiten der Auslassventile 11, 12 verändert werden, um eine innere Abgasrückführung zu erreichen.

Mit steigender Last verschiebt sich allerdings der Zeitpunkt der Entflammung in Richtung früh, was sich nachteilig auf den Verbrennungsablauf und damit auf den

spezifischen Kraftstoffverbrauch und die Leistungsausbeute auswirken kann. Im höheren Lastbereich wird deshalb die Brennkraftmaschine nicht mehr nach dem HCCI-Verfahren, sondern nach dem SCSI-Verfahren betrieben. Dabei wird die Zündeinrichtung 14 wieder über die Steuereinheit ECU aktiviert, die Einspritzeinrichtung 13 durch das nicht weiter dargestellte Einspritzsystem mit Kraftstoff angespeist, der Einlassströmung gekühltes Abgas zugeführt und das Kompressionsverhältnis durch Verstellung der Ventilsteuerung abgesenkt. Bei der Einspritzung im Fremdzündungsbereich SI wird der Kraftstoff in Wandnähe des Brennraumes 3 eingebracht und damit eine ausgeprägte Ladungsschichtung erreicht. Da im Fremdzündungsbereich SI keine Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches erforderlich ist, kann der Einspritzzeitpunkt relativ spät im Vergleich zum Einspritzzeitpunkt im Selbstzündungsbereich CI eingestellt werden.

Die Umschaltung zwischen Selbstzündungsbetrieb und Fremdzündungsbetrieb erfolgt vorteilhafterweise in Abhängigkeit des effektiven Mitteldruckes  $p_e$ , wie in Fig.3 veranschaulicht ist. In Fig.3 ist dabei der effektive Mitteldruck  $p_e$  über der Motordrehzahl  $n$  aufgetragen. Unter einem vordefinierten Grenzwert  $p_{e0}$  des effektiven Mitteldruckes  $p_e$ , bei dem der indizierte Mitteldruck zwischen 4 bis 9 bar, vorzugsweise 6 bis 9 bar, besonders vorzugsweise 7 bis 8,5 bar, liegt, befindet sich dabei der Selbstzündungsbereich CI und oberhalb des Grenzwertes  $p_{e0}$  der Fremdzündungsbereich SI. Die Druckerhöhungsgeschwindigkeit  $dp/d\varphi$  des Zylinderdruckes  $p$  über dem Kurbelwinkel  $\varphi$  ist dabei aus Geräuschgründen kleiner oder gleich 5 bar pro Grad Kurbelwinkel  $\varphi$ . Das Motormanagementsystem stützt sich auf die berechnete Einspritzmenge als Kontrollgröße.

Bei der beschriebenen Brennkraftmaschine und dem erläuterten Verfahren wird nur ein einziger Kraftstofftyp verwendet, welcher neben Benzin auch ein Gas oder ein Alkohol bzw. ein Gemisch dieser Komponenten davon sein kann.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann der Zeitpunkt des Verbrennungsbegins des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich so genau festgelegt werden, wie dies bisher nur bei nicht homogenen selbstzündenden Ladungen durch den Einspritzzeitpunkt oder bei fremdzündenden Ladungen durch den Zündzeitpunkt möglich war.

Obwohl das erfindungsgemäße Verfahren für eine Vierventil-Brennkraftmaschine beschrieben ist, eignet es sich selbstverständlich auch für Brennkraftmaschinen mit anderer Ventillzahl, beispielsweise für Zwei- oder Dreiventil-Brennkraftmaschinen.

## ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer mit selbstzündbarem Kraftstoff betriebenen Brennkraftmaschine, wobei zumindest in Selbstzündungsbereichen (CI) ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugt wird, ein für eine Selbstzündung des Kraftstoffes geeignetes hohes Verdichtungsverhältnis bereitgestellt wird und die Verbrennung in Selbstzündungsbereichen (CI) überwiegend durch Selbstzündung erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Selbstzündungsbereich (CI) Druck und/oder Temperatur des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches, vorzugsweise in Abhängigkeit der Ladungszusammensetzung und/oder Ladungstemperatur, so eingestellt werden, dass die Selbstzündung erst nach dem eigentlichen gewünschten Brennbeginn im Bereich des oberen Totpunktes erreicht werden würde, und dass die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich (CI) lokal durch einen externen Energieimpuls eingeleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich (CI) durch einen elektrischen Zündfunken eingeleitet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbrennung des homogenen Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich (CI) durch die Selbstzündung einer unmittelbar vor dem Brennbeginn eingespritzten Pilot-Kraftstoffmenge eingeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, zum Betreiben einer mit sowohl fremd-, als auch selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Kraftmaschine, wobei dem Motorbetriebsbereich Selbstzündungsbereich (CI) und Fremdzündungsbereiche (SI) zugeordnet werden und die Verbrennung in Fremdzündungsbereichen (SI) durch Fremdzündung des Kraftstoff-Luftgemisches eingeleitet wird, und wobei der Teillastbereich dem Selbstzündungsbereich (CI), der Vollastbereich und/oder Motorbetriebsbereiche mit hoher Motorlast sowie der Kaltstart dem Fremdzündungsbereich (SI) zugeordnet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest in einem Fremdzündungsbereich (SI) eine Schichtladung im Brennraum (3) erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, zum Betreiben einer mit sowohl fremd-, als auch selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Kraftmaschine, wobei dem Motorbetriebsbereich Selbstzündungsbereich (CI) und Fremdzündungsbereiche (SI) zugeordnet werden und die Verbrennung in Fremdzündungsbereichen (SI) durch Fremdzündung des Kraftstoff-

- Luftgemisches eingeleitet wird, und wobei der Teillastbereich dem Selbstzündungsbereich (CI), der Vollastbereich und/oder Motorbetriebsbereiche mit hoher Motorlast sowie der Kaltstart dem Fremdzündungsbereich (SI) zugeordnet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einem Fremdzündungsbereich (SI) ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Motorbetriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches durch äußere Gemischbildung, vorzugsweise durch Einspritzung des Kraftstoffes in ein Saugrohr, erfolgt.
  7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Motorbetriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches durch innere Gemischbildung erfolgt.
  8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Motorbetriebsbereichen mit Schichtladung im Brennraum der Kraftstoff direkt in den Brennraum eingespritzt wird.
  9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Betriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch mit höherem Druck eingespritzt wird als in Betriebsbereichen mit Schichtladung im Brennraum.
  10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umschalten zwischen Selbst- und Fremdzündung bei einem vorbestimmten Grenzwert ( $p_{e0}$ ) des indizierten effektiven Mitteldruckes ( $p_e$ ) durchgeführt wird, unterhalb dessen der Selbstzündungsbereich (CI) und oberhalb dessen der Fremdzündungsbereich (SI) liegt.
  11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Grenzwert ( $p_{e0}$ ) in einem Bereich des effektiven Mitteldruckes ( $p_e$ ) definiert wird, in dem der indizierte Mitteldruck zwischen etwa 4 bis 9 bar, vorzugsweise zwischen etwa 6 bis 9 bar, besonders vorzugsweise zwischen etwa 7 bis 8,5 bar liegt, wobei vorzugsweise die Druckerhöhungsgeschwindigkeit ( $dp/d\varphi$ ) des Zylinderdruckes ( $p$ ) kleiner gleich 5 bar pro Grad Kurbelwinkel ( $\varphi$ ) ist.

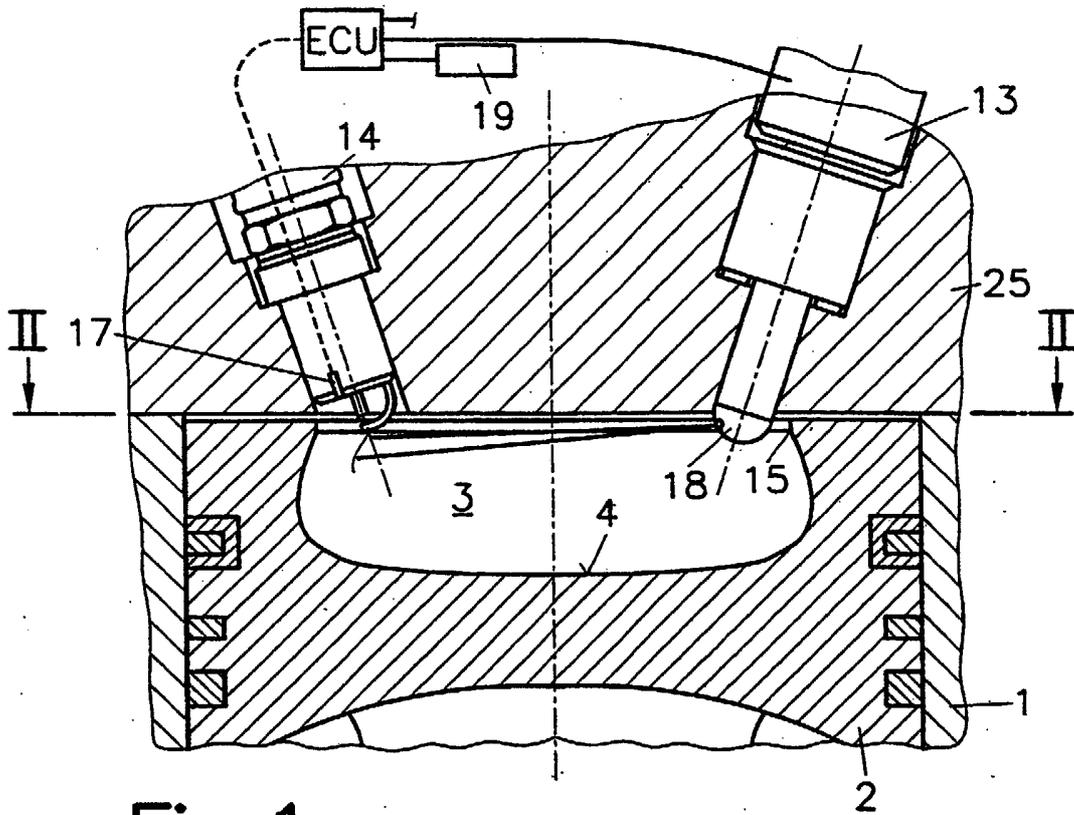


Fig. 1

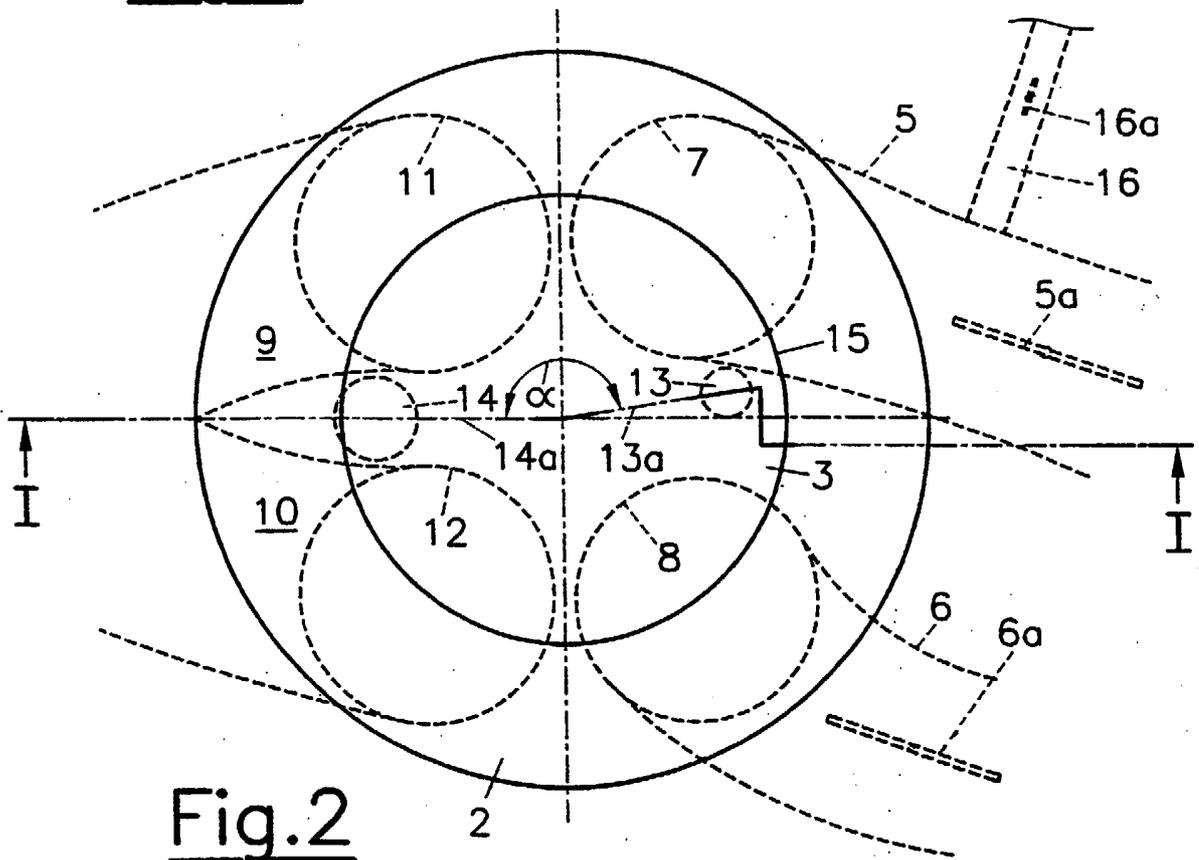


Fig. 2

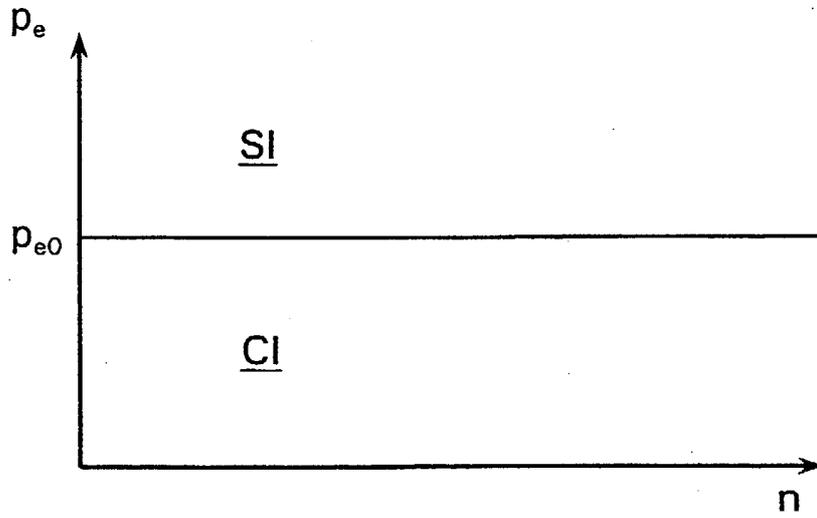


Fig. 3



## ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT

A-1014 Wien, Kohlmarkt 8-10, Postfach 95  
 TEL. + 43/(0)1/53424; FAX + 43/(0)1/53424-535; TELEX 136847 OEPA A  
 Postscheckkonto Nr. 5.160.000 BLZ: 60000 SWIFT-Code: OPSKATWW  
 UID-Nr. ATU38266407; DVR: 0078018

**RECHERCHENBERICHT** **zu** 14 GM 725/2000-1,2  
 Ihr Zeichen: 54610

Klassifikation des Antragsgegenstandes gemäß IPC<sup>7</sup> : F 02 B 11/00

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): F 02 B 3/06, 3/08, 9/00, 9/02, 9/04, 11/00

Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, PAJ

Die nachstehend genannten Druckschriften können in der Bibliothek des Österreichischen Patentamtes während der Öffnungszeiten (Montag bis Freitag von 8 bis 12 Uhr 30, Dienstag von 8 bis 15 Uhr) unentgeltlich eingesehen werden. Bei der von der Teilrechtsfähigkeit des Österreichischen Patentamtes betriebenen Kopierstelle können schriftlich (auch per Fax Nr. 01 / 534 24 - 737) oder telefonisch (Tel. Nr. 01 / 534 24 - 738 oder - 739) oder per e-mail: Kopierstelle@patent.bmwa.gv.at **Kopien** der ermittelten Veröffentlichungen bestellt werden. Auf Bestellung gibt das Patentamt Teilrechtsfähigkeit (TRF) gegen Entgelt zu den im Recherchenbericht genannten Patentdokumenten allfällige veröffentlichte "**Patentfamilien**" (denselben Gegenstand betreffende Patentveröffentlichungen in anderen Ländern, die über eine gemeinsame Prioritätsanmeldung zusammenhängen) bekannt. Diesbezügliche Auskünfte erhalten Sie unter Telefonnummer 01 / 534 24 - 738 oder - 739 (Fax. Nr. 01/534 24 - 737; e-mail: Kopierstelle@patent.bmwa.gv.at).

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung (Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur (soweit erforderlich))	Betreffend Anspruch
A	DE 198 18 596 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG) 25. November 1999 (25.11.99) siehe Patentansprüche 1 - 11.	1-11
A	WO 98/07973 A1 (CUMMINS ENGINE CO. INC.) 26. Feber 1998 (26.02.98) Seite 63, Zeile 13-Seite 71, Zeile 15	1-11
A	DE 34 33 559 A1 (KLÖCKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG) 20. März 1986 (20.03.86) Patentansprüche 1 - 10.	1-11

Fortsetzung siehe Folgeblatt

**Kategorien der angeführten Dokumente** (dient in Anlehnung an die Kategorien bei EP- bzw. PCT-Recherchenberichten nur zur **raschen Einordnung** des ermittelten Stands der Technik, stellt keine Beurteilung der Erfindungseigenschaft dar):

„A“ Veröffentlichung, die den **allgemeinen Stand der Technik** definiert.

„Y“ Veröffentlichung von Bedeutung; die Erfindung kann nicht als neu (bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend) betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für den Fachmann naheliegend** ist.

„X“ Veröffentlichung von **besonderer Bedeutung**; die Erfindung kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu (bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend) angesehen werden.

„P“ zwischenveröffentlichtes Dokument von besonderer Bedeutung (**älteres Recht**)

„&“ Veröffentlichung, die Mitglied derselben **Patentfamilie** ist.

**Ländercodes:**

AT = Österreich; AU = Australien; CA = Kanada; CH = Schweiz; DD = ehem. DDR; DE = Deutschland;  
 EP = Europäisches Patentamt; FR = Frankreich; GB = Vereinigtes Königreich (UK); JP = Japan;  
 RU = Russische Föderation; SU = ehem. Sowjetunion; US = Vereinigte Staaten von Amerika (USA);  
 WO = Veröffentlichung gem. PCT (WIPO/OMPI); weitere siehe WIPO-Appl. Codes

Datum der Beendigung der Recherche: 16. Oktober 2001      Prüfer: Dr. Thalhammer


**ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT**

A-1014 Wien, Kohlmarkt 8-10, Postfach 95  
 TEL. +43/(0)1/53424; FAX +43/(0)1/53424-535; TELEX 136847 OEPA A  
 Postscheckkonto Nr. 5.160.000 BLZ: 60000 SWIFT-Code: OPSKATWW  
 UID-Nr. ATU38266407; DVR: 0078018

**Folgeblatt zu 14 GM 725/2000-1,2**

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung (Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur (soweit erforderlich))	Betreffend Anspruch
A	DE 37 36 630 A1 (KLÖCKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG) 11. Mai 1989 (11.05.89) Patentansprüche 1 - 4.	1-11
<input type="checkbox"/> Fortsetzung siehe Folgeblatt		