



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 31 761 T2** 2006.03.23

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 365 123 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 31 761.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 019 854.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **22.12.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.11.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **28.09.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.03.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02B 1/04** (2006.01)

**F02F 1/42** (2006.01)

**F02B 17/00** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**164398 07.01.1998 JP**

(73) Patentinhaber:

**Nissan Motor Co., Ltd., Yokohama, Kanagawa, JP**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Hiraya, Koji, Yokohama City, JP; Zaima, Masayuki,  
Yokosuka-shi, Kanagawa 239-0806, JP**

(54) Bezeichnung: **Fremdgezündete Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung, der eine Brennkammer aufweist, gebildet durch eine Zylinderwand eines Zylinderblocks, der einen Zylinder hat, eine Bodenfläche eines Zylinderkopfes, montiert auf dem Zylinderblock und eine Kolbenkrone eines Kolbens, vorgesehen in dem Zylinder, einen Zündkerze, platziert im wesentlichen in der Mitte der Brennkammer, ein Einlasssystem für das Einleiten der Einlassluft in die Brennkammer und Erzeugen einer normalen Fallströmung der Einlassluft in der Brennkammer, wobei das Einlasssystem zwei Einlassöffnungen zu der Brennkammer enthält und ein Teil-Abschaltventil, das im Wesentlichen die untere Hälfte jeder der zwei Einlassöffnungen verschließt; ein Kraftstoffeinspritzventil, vorgesehen an einem Seitenwandabschnitt der Brennkammer und angeordnet zwischen den Öffnungsenden der zwei Einlassöffnungen für das direkte Einspritzen des Kraftstoffes in die Brennkammer bei einem Verdichtungshub; und ein Kolbenschüsselhohlraum, gebildet in der Kolbenkrone und der die normale Fallströmung aufrecht erhält.

**[0002]** Auf solch einen Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung wird z. B. in dem JP 8-296 463A Bezug genommen.

**[0003]** Außerdem sind verschiedene fremdgezündete Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung vorgeschlagen und entwickelt worden, in die Kraftstoff direkt in die Motorzylinder eingespritzt worden ist. Im Allgemeinen ist bei solchen fremdgezündeten Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung einer Verbrennungsart zwischen einer homogenen Verbrennungsart (einem Verbrennungsbetrieb mit Früheinspritzung), bei dem die Kraftstoff-Einspritzung früh in den Ansaughub erfolgt und ein homogenes Luft/Kraftstoff-Gemisch erzeugt, und einem geschichteten Ladungsverbrennungsmotors umschaltbar (einem Verbrennungsbetrieb mit später Einspritzung), bei dem eine späte Kraftstoff-Einspritzung diesen Moment bis nahe des Endes des Verdichtungs-hubes verzögert, um ein geschichtetes Luft/Kraftstoff-Gemisch zu erzeugen. Wie allgemein bekannt ist, wird das Umschalten zwischen diesen beiden Verbrennungsarten in Abhängigkeit von den Motorbetriebsbedingungen bestimmt, wie z.B. Motordrehzahl und -last. Solcher Schichtladungs- oder geschichtete Verbrennungsbetrieb ist unter Betriebsbedingungen niedriger Motorlast wirksam, wo die Menge des eingespritzten Kraftstoffes verhältnismäßig niedrig ist. Im Gegensatz dazu besteht während des Betriebes unter hohen Motorlastbedingungen, wo die Kraftstoffmenge, die herausgesprüht wird, infolge der Anforderungen für größere Motorleistung und größeres Motorausgangsdrehmoment verhältnismäßig groß ist, eine geringere Anforderung für eine ge-

schichtete Ladung und statt dessen ist es erforderlich, gleichmäßigere Luft/Kraftstoff-Gemischschichten zu bilden, insbesondere, um zu vermeiden, dass der Motor klopft. Eine solche fremdgezündete Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung ist in der vorläufigen japanischen Patentveröffentlichung Nr. 8-35429 oder in der vorläufigen japanischen Patentveröffentlichung Nr. 6-81651 gezeigt. Die vorläufige japanische Patentveröffentlichung Nr. 8-35429 lehrt die Verwendung eines Wirbelsteuerungsventils, das eine Wirbelströmung durch Modulation der in den Zylinder geführten Gasbewegung erzeugt und den Bildungs-bereich des Luft-/Kraftstoff-Gemisches moduliert. Andererseits lehrt die japanische vorläufige Patentveröffentlichung Nr. 6-81651 die Verwendung von aufrechten, geraden Einlassöffnungen, die dazu dienen, wirksam die Ansaugluft, die in die Verbrennungskammer angesaugt wird, in eine Richtung einer gekrümmten Kolbenkopfoberseite zu lenken und den Ansaugluftstrom in eine strenge Umkehr-Fallströmung für eine stabile Verbrennung umzulenken.

**[0004]** Außerdem lehrt die DE 196 19 782 A1 das Vorsehen einer Düse innerhalb einer Einlassöffnung für die Beeinflussung des Einlassluftstromes.

**[0005]** In der fremdgezündeten Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung nach den japanischen vorläufigen Patentveröffentlichungen Nr. 8-35429 und 6-81651 ist ein tiefe Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer in einer Kolbenoberseite (oder einem Kolbenkopf) ausgebildet. Die Kraftstoff-Einspritzung wird während des Verdichtungs-hubes ausgeführt, um die vorerwähnte Fallströmung oder Gegenfallströmung im Zylinder beizubehalten und anschließend trägt die Wirbelströmung (oder die Fallströmung) das Luft/Kraftstoff-Gemisch in die Nähe der Zündkerze. Im Ergebnis wird das fette Gemisch (ein leicht zündbares Gemisch) rund um die Zündkerze konzentriert und die Konzentration des fetten Gemisches wird während des Verdichtungs-hubes zuerst gezündet. Als zweites werden die umgebenden Luftschichten (magere oder ultra-magere Gemischschichten eines Luft/Kraftstoff-Verhältnisses nahe einer Mager-Fehlzündungsgrenze) gezündet, die wenig Kraftstoff enthalten. Um eine gute geschichtete Verbrennung zu sichern (oder um wirksam das leicht zündbare Gemisch in der Nähe der Zündkerze zu konzentrieren), wird es nicht bevorzugt, die Kraftstoff-Einspritzung, eingespritzt von der Kraftstoff-Einspritzdüse während des Verdichtungs-hubes, innerhalb der Verbrennungskammer während einer bestimmten Zeitdauer weit zu verteilen, während der Kraftstoff-Sprühnebel, der eingespritzt wird, in der Nähe der Zündkerze getragen wird. Aus den vorerwähnten Gründen ist in herkömmlichen fremdgezündeten Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung die Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer in der Kolbenkrone so ausgebildet, dass die Mittelachse des Kolben-Schüsselhohlraumes weit gegen-

über der Mittelachse des Kolbens in Richtung zu dem Einlassventil versetzt ist, derart, dass der Kolben-Schüsselhohlraum als ein verhältnismäßig tiefer und großer Hohlraum ausgebildet ist. Außerdem ist in den Motoren des Standes der Technik, gezeigt in den japanischen vorläufigen Patentveröffentlichungen Nr. 8-35429 und 6-81651, ein Sprühwinkel des Kraftstoffes, der durch das Einspritzventil eingespritzt wird, eng oder kleiner. Infolge solch eines kleinen Kraftstoff-Sprühwinkels neigt der Schwerpunkt des eingespritzten Kraftstoffes dazu, seitlich konzentriert zu sein, so dass eine unerwünscht erhöhte Sprühbenetzung (Sprühversatz) auftritt. Infolge der übermäßig erhöhten Sprühpenetration kann der Kraftstoff, der auf den Kolbenkopf auftrifft oder mit diesem zusammenstößt (d.h. mit der Kolben-Schüsselhohlraum-Verbrennungskammerwandung oder der Wand der Schüsselhohlraumverbrennungskammer) und der von dieser reflektiert wird, sekundär auf der Zylinderwand während der homogenen Verbrennungsart beim Einlasshub auftreten. Infolge solchen Auftreffens der Kraftstoff-Einspritzung mit engem Winkel auf dem Kolben-Schüsselhohlraum, besteht eine erhöhte Neigung für den ankommenden Kraftstoff, an der Wandung der Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer in Form eines Kraftstoff-Filmes anzuhängen und im Ergebnis könnte eine schnelle Karbonisation auftreten, so dass die Abgasemissions-Steuerleistung durch erhöhte Abgasemissionen, wie z.B. Rauch und teilchenförmiges Material und durch die Bildung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) beeinträchtigt werden kann. Es besteht die Möglichkeit, dass die erhöhten Sprühpenetration zu unerwünschten Ablagerungen im Motor führt. Die tiefe und große Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer führt zu einer Zunahme in der Gesamtoberfläche der Verbrennungskammer und somit zu erhöhten thermischen Verlusten. Außerdem beeinträchtigt der außermittige Kolben-Schüsselhohlraum eine Kolbenbalance des Kolbens vom Typ mit offener Verbrennung. Insbesondere während des Kaltstartvorganges besteht eine große Differenz zwischen einer thermischen Ausdehnungseffizienz des Motorzylinders und einer thermischen Ausdehnungseffizienz des Kolbens und somit leidet der Kolben häufig unter einer unerwünschten Klemmbewegung. Die Klemmbewegung des Kolbens, die während des Kaltstartvorganges auftritt, kann Geräusche und einen unsymmetrischen Kolbenverschleiß verursachen.

**[0006]** Bezüglich solch eines Direkteinspritzungsmotors mit Zündfunkenzündung ist es ein Ziel der Erfindung eine stabile geschichtete Verbrennungsstabilität solch eines Motors zu verbessern und dadurch die Motorleistung zu verstärken.

**[0007]** Für einen Motor der oben vorgestellten Art wird diese Aufgabe in einer erfinderischen Weise dadurch gelöst, dass ein Kraftstoffnebel, eingespritzt von dem Kraftstoffeinspritzventil während des Ver-

dichtungshubes, in der normalen Fallströmung ausgeführt und in die Nähe einer Spitze der Zündkerze durch die normale Fallströmung zugeführt wird, und das die Kolbenschüssel zwei gegenüberliegende flache Seitenwände hat und einen gekrümmten, gerundeten Bodenwandabschnitt, gebildet entlang der Stromlinien der normalen Fallströmung, so dass relativ starke normale Fallströmungsmassen innerhalb einer steuerbaren Fallströmungs- Fläche zwischen den beiden gegenüberliegenden Seitenwänden gebildet werden.

**[0008]** Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele sind in den Unteransprüchen niedergelegt.

**[0009]** Im Folgenden wird die Erfindung in größerer Ausführlichkeit mittels Bezug auf die beigefügten Zeichnungen erläutert, wobei:

**[0010]** [Fig. 1](#) ist eine Längsschnittdarstellung, die einen Zylinder der fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung zeigt, die einen Kolben aufweist, der mit einem kugelförmigen, schüsselartigen Kolbenhohlraum (der keinen Teil der Erfindung bildet) versehen ist;

**[0011]** [Fig. 2](#) ist eine Draufsicht des Kolbens des Motors der [Fig. 1](#), der eine verbesserte kugelförmige, schüsselartig im Kolben ausgebildete Verbrennungskammeranordnung hat;

**[0012]** [Fig. 3](#) ist eine perspektivische Darstellung, die den Kolbenkopfabschnitt des Motors nach der [Fig. 1](#) zeigt;

**[0013]** [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einer Verbrennungsstabilität und einem Verhältnis ( $d/D$ ) eines Innendurchmessers ( $d$ ) der kreisförmigen Öffnung des Kolben-Schüsselhohlraumes zu einer Zylinderbohrung ( $D$ ) zeigt;

**[0014]** [Fig. 5](#) ist ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einer Stärke der Fallströmung nahe des oberen Totpunktes (d.h. eine Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung) und ein Verhältnis ( $R/D$ ) des Krümmungsradius ( $R$ ) des gekrümmten, ausgesparten Abschnittes des Kolben-Schüsselhohlraumes zur Zylinderbohrung ( $D$ ) zeigt;

**[0015]** [Fig. 6](#) ist ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einer Verbrennungsstabilität und einem Sprühwinkel eines kegelförmigen Kraftstoff- Strahles, der eingespritzt wird, zeigt;

**[0016]** [Fig. 7](#) ist eine Längsschnittdarstellung, die ein Ausführungsbeispiel einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung zeigt, die einen Kolben aufweist, der mit einem scheibenfeder- nutartigen Kolben-Schüsselhohlraum entsprechend der Erfindung versehen ist;

[0017] [Fig. 8](#) ist eine Draufsicht eines Kolbens des Motors des Ausführungsbeispiels, der eine verbesserte scheibenfedernutartige, im Kolben schüsselartig ausgebildete Verbrennungskammerstruktur aufweist.

[0018] [Fig. 9](#) ist eine perspektivische Darstellung, die den Kolbenkopfabschnitt des Motors des Ausführungsbeispiels zeigt.

[0019] [Fig. 10](#) ist eine perspektivische Darstellung, die eine Modifikation einer Fallströmungs-Verstärkungs Vorrichtung oder -mechanismus zeigt.

[0020] Bezug nehmend nunmehr auf die Zeichnungen, insbesondere auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#), wird die fremdgezündete Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung nach der Erfindung anhand einer Vierventil-zündkerzengezündeten Benzinmotors dargestellt. Wie in der [Fig. 1](#) gezeigt ist, ist bei der fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung, der keinen Teil der Erfindung bildet, ist die Zündkerze **11** im Wesentlichen in der Mitte der Verbrennungskammer **4** angeordnet. Der Zylinderkopf **2** ist auf einem Zylinderblock **1**, der einen Motorzylinder enthält, montiert. Ein Kolben **3** ist in dem Zylinder aufgenommen, um entlang eines Hubes in dem Zylinder bewegbar zu sein. Die Verbrennungskammer **4** wird durch die Zylinderwandung des Zylinderblocks **1**, die Bodenfläche des Zylinderkopfes **2** und die Oberseite (oder die Kolbenkrone oder den Kolbenkopf) des Kolbens **3** begrenzt. Der Motor ist mit zwei Einlassöffnungen (**7, 7**) ausgerüstet, die gegenüber der axialen Mittellinie des Zylinders, der in den Zylinderblock **1** gebohrt ist, versetzt ist. Wie deutlich in [Fig. 2](#) zu sehen ist, ist der Zylinderkopf **2** mit zwei Einlassventilöffnungen (**7, 7**) ausgerüstet, die gegenüber der axialen Mittellinie des Zylinders, der in einem Zylinderblock **1** ausgebildet ist, versetzt sind, und mit zwei Gasventilöffnungen (**8, 8**), die gegenüber der axialen Mittellinie des Zylinders in der entgegengesetzten oder gegenüberliegenden Richtung zu den Positionen der Einlassöffnungen versetzt sind. Wie aus in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ersichtlich ist, hat der Motor sogenannte Kreuzströmungs-Öffnungsanordnung. Zwei Einlassventile (**5, 5**) sind in den jeweiligen Einlassöffnungen (**7, 7**) angeordnet, um diese zu öffnen und zu schließen, während zwei Auslassventile (**6, 6**) in den jeweiligen Auslassöffnungen (**8, 8**) angeordnet sind, um diese zu öffnen und zu schließen. Jede der Einlassöffnungen (**7, 7**) ist so konturiert, dass sie leicht eine ausreichende turbulente Wirkung bewirken kann, d.h. eine starke Fallströmung dem Luft/Kraftstoff-Gemisch verleihen kann, und zwar in der Form einer vertikalen Wirbel-Fallströmung (Fallströmung im Zylinder) und zwar innerhalb der Verbrennungskammer **4**, wie in dem Pfeil a in [Fig. 1](#) angegeben. Wie in dem Motor gezeigt ist, ist eine Fallströmungs-Verstärkungseinrichtung oder ein Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus **9** auch in jedem

der Einlassöffnungen (**7, 7**), die in dem Ansaugsystem enthalten sind, vorgesehen, zum Zwecke der zwangsweisen Einführung einer starken Fallwirkung (tumbling action) auf das Luft/Kraftstoff-Gemisch, insbesondere während eines Verbrennungsbetriebes mit geschichteter Ladung (einem Verbrennungsbetrieb mit später Einspritzung), bei dem eine späte Kraftstoff-Einspritzung das Ereignis bis nahe des Endes des VerdichtungsHubes verzögert, um ein geschichtetes Luft/Kraftstoff-Gemisch zu erzeugen und die Verbrennungsflamme in einer kleinen sehr fetten Luft/Kraftstoff-Gemischschicht rund um die Spitze der Zündkerze **11** beginnt und nach der Zündung sich zu dem mageren Gemisch, das den Rest der Verbrennungskammer **4** ausfüllt, ausbreitet. Wie aus den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ersichtlich ist (ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird später vollständig beschrieben) und aus den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) (ein zweites Ausführungsbeispiel), das vollständig später erläutert wird, wird ein Teil-Verschließventil **10** als der Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus **9** verwendet. Das Teil-Sperrventil **10** wird in seine geschlossene Stellung bewegt, um im Wesentlichen die untere Hälfte jeder der Einlassöffnungen (**7, 7**) während des geschichteten Verbrennungsmodus abzusperren, um eine starke Fallströmung in der Verbrennungskammer zu erzeugen. Das Teil-Absperrventil **10** wird in seine geöffnete Stellung bewegt, um eine vollständige Strömungsverbindung durch dieses hindurch während eines homogenen Verbrennungsmodus (einem Verbrennungsmodus mit früher Einspritzung) sicherzustellen, wobei die Kraftstoff-Einspritzung frühzeitig in den Ansaughub ein homogenes Luft/Kraftstoff-Gemisch erzeugt und anschließend dann das Gemisch gleichmäßig auf ein Luft-/Kraftstoff-Verhältnis gemischt wird, so nahe wie möglich an dem stöchiometrischen (14,6 : 1 Luft-/Kraftstoff- Verhältnis (AFR)). Ein Kraftstoff- Einspritzventil **12** ist in einem Seitenwandabschnitt der Verbrennungskammer **4** und in der Nähe des im Wesentlichen mittleren Abschnittes der beiden stromabseitigen Öffnungsenden der Einlassöffnungen (**7, 7**) angeordnet, um so Kraftstoff direkt in die Verbrennungskammer **4** einzuspritzen oder auszusprühen.

[0021] Eine kugelförmige, schüsselartige Kolben-Schüsselhohlraum- Verbrennungskammer (oder eine kugelförmige, tassenförmige Kolben-Schüsselhohlraum-Verbrennungskammer) **13** ist in dem Mittelabschnitt des Kolbenkopfes **3** ausgebildet. Der kugelförmige, schüsselartige Kolbenhohlraum **13** ist in dem Mittelabschnitt des Kolbenkopfes ausgebildet, so dass die maximale Tassentiefe des Hohlraumes **13** in der Mitte des Hohlraumes erhalten wird, so dass der zentrale tiefste Punkt des Hohlraumes mit der Mittelachse des Kolbens **3** übereinstimmt und der kugelförmige, tassenartige Hohlraum **13** ist koaxial in Bezug auf die Mittelachse des Kolbens **3** angeordnet. Außerdem ist eine kugelförmig gekrümmte, ausgesparte innere, konkave Umfangswandfläche (oder

eine konkave Bodenwandoberfläche) des Hohlraumes **13** so dimensioniert oder konturiert, dass die ausgesparte innere Umfangswandoberfläche des Hohlraumes **13** in einer Richtung einer Strömungslinie der vorerläuterten Fallströmung gekrümmt oder gerundet ist, angegeben durch den Pfeil a in [Fig. 1](#). In dem Kolbenaufbau des Motors, wie am besten aus [Fig. 3](#) ersichtlich, ist die Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer **13** als ein kugelförmig ausgesparter, schüsselförmiger Hohlraum ausgebildet. Aus den Gründen, die nachfolgend unter Bezugnahme auf die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) erläutert werden, ist das oberste Ende der kreisförmigen Öffnung (einfach die kreisförmige Öffnung) der kugelförmig-ausgesparten, schüsselartigen Verbrennungsraumkammer **13** so dimensioniert, dass das Verhältnis ( $d/D$ ) des Innendurchmessers ( $d$ ) der kreisförmigen Öffnung der schüsselartigen Hohlraumverbrennungskammer **13** zur Zylinderbohrung ( $D$ ) innerhalb eines Bereiches 40 % bis 80 % (siehe [Fig. 4](#)) festgelegt, und derart, dass das Verhältnis ( $R/D$ ) des Krümmungsradius ( $R$ ) zu der Zylinderbohrung ( $D$ ) innerhalb eines Bereiches von 20 % bis 65 % liegt. Zusätzlich zu dem Vorerwähnten wird in dem gezeigten Ausführungsbeispiel eine Weitwinkel-Einspritzdüse als eine Kraftstoff-Einspritzdüse **12a** des Einspritzventils **12** verwendet, um einen weiten Kraftstoff-Sprühwinkel sicherzustellen, der von 70 Grad bis 90 Grad reicht und, um entsprechend die Sprühcharakteristika zu verbessern, z.B. die Spitzen-Durchdringung (Kraftstoff-Sprüh-Penetration), das Sprüh-Wandungs-Auftreffen, das Luft-/Kraftstoff-Vermischens und die Bildung einer gesteuerten Luft-/Kraftstoff-Gemischschicht.

**[0022]** Wie aus dem Vorerwähnten deutlich ist, ist bei dem Motor die sphärische, schüsselartige Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer **13**, zentral in dem Mittelabschnitt der Kolbenkrone ausgebildet, so geformt, dass sie den am tiefsten ausgesparten, inneren Umfangswandabschnitt in der Mitte der Kolbenkrone hat und auch ist die sphärisch, ausgesparte, innere Umfangswandoberfläche des Hohlraumes so konturiert, dass die kugelförmig ausgesparte, innere Umfangswandoberfläche im Wesentlichen entlang einer Strömungslinie der Fallströmung (siehe den Pfeil a von [Fig. 1](#)) der angesaugten Luft gekrümmt ist. Dies unterdrückt oder vermeidet das Auftreten einer unerwünschten Störung in der Fallströmung. Im Ergebnis dessen kann eine Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung erhöht werden. Daher kann der Kraftstoffstrahl (bezeichnet durch F in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#)) der von dem Einspritzer **12** in dem Verdichtungshub während der geschichteten Ladungs-Verbrennungsart sicher und zuverlässig durch die Fallströmung getragen und in die Nähe der Spitze der Zündkerze **11** zugeführt werden, um eine fettere Luft/Kraftstoff-Gemischschicht rund um die Zündkerze zur leichten Zündung zu bilden. Entsprechend kann die Verbrennungsstabilität bei geschich-

teter Verbrennung stark erhöht werden. Wie vorerläutert, ist die Form der Anordnung (Ausbildung) des kugelförmigen, schüsselartigen Kolben-Hohlraumes **13** wirksam, um eine starke Fallströmung zu erzeugen und eine unerwünschte Störung bezüglich der Fallströmung zu unterdrücken. Außerdem beseitigt das richtige Festlegen der Verhältnisse  $d/D$  und  $R/D$  die Notwendigkeit für einen übermäßig und unbegründet tiefen Kolben-Schüsselhohlraum. Daher ist es möglich, die Kolben-Schüsselhohlraum-Verbrennungskammer **13** so klein wie möglich auszubilden. Im Ergebnis dessen kann der gesamte Oberflächenbereich der Verbrennungskammer **4** vermindert werden, so dass hierdurch wirksam thermische Verluste vermindert werden und wodurch die Motorausgangsleistung während der homogenen Verbrennungsart ebenso wie während der geschichteten Verbrennungsart erhöht werden können. Infolge der hohen Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung, erhalten durch die einzigartige Form und Anordnung der sphärischen, schüsselartigen Kolben-Hohlraumverbrennungskammer **13** kann der Kraftstoff, der durch die Einspritzdüse **12a** eingespritzt und in der gesamten Verbrennungskammer **4** verteilt wird, wirksam durch das volle Zusammenwirken der gesteuerten starken Fallströmung (siehe den Pfeil a von [Fig. 1](#)) und die begründet-gekrümmte, ausgesparte innere Umfangswandfläche des Hohlraumes **13** aufgeworfen werden und gleichzeitig trägt die starke Fallströmung zu einer zwangsweisen Trennung des Kraftstoff-Filmes, der an der Innenwandung des Hohlraumes **13** anhaftet, bei. Dies vermeidet, dass infolge des Kraftstoff-Filmes eine unerwünschte Karbonisation auftritt und erhöht auch eine Gesamtverbrennungsstabilität (einschließlich einer Stabilität einer homogenen Verbrennung ebenso wie einer Stabilität einer geschichteten Verbrennung) mit bemerkenswerter Verminderung der Abgasemissionen, wie z.B. Rauch, teilchenförmiges Material (PM), unverbrannter Kohlenwasserstoff (HCs) und der Unterdrückung der Bildung von Ablagerungen. Außerdem wird der kugelförmige, schüsselartige Kolben-Hohlraum **13** im Wesentlichen im Mittelabschnitt der Kolbenkrone ausgebildet und somit ist eine Balance des Kolbens **3**, der sich aufwärts und abwärts bewegt, gut. Die gute dynamische Kolben-Balance, die aus dem zentral ausgebildeten, sphärischen, schüsselartigen Hohlraum **13** entsteht, beseitigt oder vermindert Geräusche und unsymmetrischen Kolben-Verschleiß während der Arbeitsweise des Motors und verlängert hierdurch die Lebensdauer des Motors. Im einzelnen ist die Kolben-Schüsselhohlraumverbrennungskammer **13** als ein kugelförmig ausgesparter, tassenförmiger Abschnitt ausgebildet und somit ist die gesamte Aufrechterhaltungsleistung für die Fallströmungs-Komponenten in allen Fluidströmungsrichtungen, die in der angesaugten Luftströmung enthalten sind (oder der Ansaugluftströmung, die durch die Einlassöffnung hineinkommt) erhöht. Diese verbesserte Gesamt-Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung realisiert eine sta-



bilere Verbrennung während des Verbrennungsmodus mit geschichteter Ladung. Auch ist in der Einlassöffnung 7 der Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus 9 (z.B. das Teil-Schließventil 16 in dem ersten und zweiten Ausführungsbeispiel) vorgesehen. Wie oben erwähnt, dient der Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus 9 dazu, zwangsweise eine starke Fallströmung zu schaffen und dem Luft/Kraftstoff-Gemisch eine starke Fallwirkung zu verleihen. Die Schaffung des Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus 9 erhöht einen Betriebsbereich für die Verbrennung mit geschichteter Ladung. Wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 7](#) gezeigt, wird das Teil-Verschließventil 10 als die Fallströmungs-Verstärkungsvorrichtung 9 verwendet, so dass das Teil-Schließventil 10 schließt, um die untere Hälfte des Strömungskanal-Querschnittes der Einlassöffnung 7 während der geschichteten Verbrennung zu verschließen und öffnet vollständig, um eine vollständige Strömungsverbindung der Einlassöffnung 7 während der homogenen Verbrennung zu etablieren. Das Teil-Verschließventil 10 ist im Aufbau einfach und leicht in der Einlassöffnung 7 zu installieren, so dass ein Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus mit niedrigen Kosten geschaffen wird.

[0023] Bezug nehmend nunmehr auf die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) sind in diesen Variationen hinsichtlich einer Stabilität der geschichteten Verbrennung gezeigt, beeinflusst durch die Größe eines Bereiches der kreisförmigen Öffnung der kugelförmig-ausgesparten, schüsselartigen Hohlraumverbrennungskammer 13 und die Tiefe des Hohlraumes 13. Die Testdaten, die in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt sind, sind experimentell durch die Erfinder der Erfindung sichergestellt. Wie aus [Fig. 4](#) ersichtlich ist, wenn das Verhältnis  $d/D$  des Durchmessers ( $d$ ) der kreisförmigen Öffnung zu demjenigen der Zylinderbohrung ( $D$ ) auf 60 % festgelegt wird, zeigt der Motor die höchste Verbrennungsstabilität der geschichteten Verbrennung. Wenn das Verhältnis ( $d/D$ ) auf nahe 30 % festgelegt wird, wird der Öffnungsbereich des sphärischen, schüsselartigen Kolben-Schüsselhohlraumes 13 übermäßig eng und die übermäßig enge Hohlraumöffnung hat die Schwierigkeit, den eingespritzten Kraftstoff-Strahl aufzunehmen oder einzufangen. Dies gestattet es dem Kraftstoff-Einsprühstrahl, sich unerwünscht zu verteilen oder innerhalb der Verbrennungskammer 4 zu diffundieren, so dass hieraus eine instabile Verbrennung resultiert. Im Gegensatz dazu, wenn der Eröffnungsbereich des kugelförmigen, tassenartigen Kolben-Schüsselhohlraumes übermäßig groß ist, z. B., wenn der Öffnungsbereich des Hohlraumes auf nahezu 90 % festgelegt wird, neigt der Kraftstoff-Einsprühstrahl dazu, leicht innerhalb der Hohlraumverbrennungskammer 13 verteilt zu werden, infolge der übermäßig großen Hohlraumöffnung. Außerdem, wie aus der Kennlinie, gezeigt in [Fig. 5](#) ersichtlich ist, ändert sich die Stärke der Fallströmung (oder die Fallströmungs- Aufrechterhaltungsleistung)

in Abhängigkeit von dem Verhältnis ( $R/D$ ) des Krümmungsradius  $R$  des gekrümmten, ausgesparten Abschnittes des kugelförmigen, tassenartigen Kolben-Schüsselhohlraumes 13 zu demjenigen der Zylinderbohrung  $D$ . Wie aus [Fig. 5](#) ersichtlich ist, wenn das Verhältnis  $R/D$  auf ungefähr 40 % festgelegt wird, kann die höchste Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung erhalten werden. Die Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung wird auf einem verhältnismäßig hohen Niveau gehalten, wenn das Verhältnis  $R/D$  innerhalb des Bereiches von 20 % bis 65 % liegt. Im Gegensatz dazu, wenn das Verhältnis  $R/D$  kleiner als 20 % ist, oder wenn das Verhältnis  $R/D$  über 70 % beträgt, besteht eine Neigung dahingehend, dass die Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung abnimmt. Auf der Grundlage der Testergebnisse, die in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) dargestellt sind, wird der Durchmesser  $D$  der kreisförmigen Öffnung des sphärischen, tassenartigen Kolben-Schüsselhohlraumes so festgelegt, dass er dem Verhältnis  $d/D$  in einem Bereich von 40 % bis 80 % entspricht, wobei der Krümmungsradius  $R$  des sphärischen, tassenartigen Kolben-Schüsselhohlraumes 13 festgelegt wird, das er dem Verhältnis  $R/D$  in einem Bereich von 20 % bis 65 % genügt und wodurch die Motorausgangsleistung infolge sowohl der erhöhten Stabilität beschichteter Verbrennung, als auch der erhöhten Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung erhöht wird.

[0024] Bezug nehmend nunmehr auf die [Fig. 6](#) ist in dieser die Sprühwinkel/Verbrennungsstabilitäts-Kennlinienkurve dargestellt. Wie aus [Fig. 6](#) ersichtlich ist, wenn der Kraftstoff-Sprühwinkel unterhalb von 70 Grad liegt, besteht eine Neigung dazu, dass der Aufwurf oder Einbringungseffekt für das Luft-/Kraftstoff-Gemisch, der durch die starke Fallströmung erzeugt wird, während des Verbrennungsmodus mit geschichteter Ladung, abnimmt. Außerdem führt ein verhältnismäßig enger Sprühwinkel (unter 70 Grad) zu einer verminderten Luft/Kraftstoff-Gemischhomogenisierung infolge der erhöhten Sprühdurchdringung während des Verbrennungsmodus mit homogener Verbrennung (während des Betriebes mit früher Kraftstoff- Einspritzung in den Ansaughub) und führt auch zu einer Anhaftung des Kraftstoff-Filmes an der Kolbenkrone. Mit einem Sprühwinkel unterhalb von 70 Grad neigt sowohl die Verbrennungsstabilität während der homogenen Verbrennung ebenso wie während der geschichteten Verbrennung dazu, sich zu vermindern. Im Gegensatz dazu, steht dann, wenn der Sprühwinkel so festgelegt wird, dass er größer als 90 Grad ist, eine Neigung dazu, dass der Kraftstoff-Einspritzsprühstrahl sich übermäßig innerhalb der Verbrennungskammer dispergiert, und zwar infolge des übermäßig weiten Sprühwinkels (oberhalb 90 Grad). Solch ein weit dispergierter Kraftstoff-Sprühstrahl resultiert in einer unerwünschten Anhaftung des Kraftstoff-Filmes an der Zündkerze und verursacht rußige Kohlenstoffablagerungen an dem Isolator rund um die Elektrode der

Zündkerze **11**. Dies verschlechtert die Stabilität der geschichteten Verbrennung. Um sowohl hinsichtlich einer beschichteten Verbrennung als auch einer homogenen Verbrennung stabilere Verbrennungsscharakteristika zu erhalten, wird der Sprühwinkel innerhalb eines vorbestimmten Winkelbereiches von 70 bis 90 Grad festgelegt. Um den vorbestimmten Sprühwinkel im Bereich von 70 bis 90 Grad einzustellen, verwendet die fremdgezündete Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung nach dem Ausführungsbeispiel eine Weitwinkel-Einspritzdüse. Daher kann eine Stabilität der geschichteten Verbrennung in größerem Maße erhöht werden. Außerdem ist die Verwendung der Weitwinkel-Einspritzdüse, die in der Lage ist, einen Sprühwinkelbereich von 70 bis 90 Grad zu realisieren, wirksam, um die Homogenisierung des Gemisches während des Modus mit homogener Verbrennung zu fördern und unterdrückt somit die Bildung von Rauch, unverbrannten Kohlenwasserstoffen, rußigen Kohlenstoffablagerungen.

[0025] Bezug nehmend auf die [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) ist in diesen der Motoraufbau nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Der Motoraufbau des Ausführungsbeispiels der [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) ist ähnlich demjenigen des Motors nach den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) mit der Ausnahme dessen, dass die Form des Kolben-Schüsselhohlraumes des Ausführungsbeispiels der Erfindung von derjenigen des Motors, beschrieben in Verbindung mit den [Fig. 1](#) – [Fig. 3](#) verschieden ist.

[0026] Wie am besten aus [Fig. 9](#) ersichtlich, ist der erfindungsgemäße Motor von dem beschriebenen Ausführungsbeispiel nur darin geringfügig von dem Motor der [Fig. 1](#) – [Fig. 3](#) unterschiedlich, dass der Kolben, der in dem Motor nach dem Ausführungsbeispiel verwendet wird, mit einem scheibenfedernutartigen Kolben-Schüsselhohlraum **113** versehen ist. Somit werden dieselben Bezugszeichen, die verwendet worden sind, um die Elemente in dem Motor nach dem Ausführungsbeispiel, gezeigt in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#), zu bezeichnen, auch auf die entsprechenden Elemente angewandt, die in dem Motor des Ausführungsbeispiels, gezeigt in den [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#), verwendet sind, zum Zwecke des Vergleichs.

[0027] Nur die Kolben-Struktur, die den scheibenfedernutartigen Kolben-Schüsselhohlraum **113** aufweist, wird nachfolgend im Einzelnen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert, während eine detaillierte Beschreibung der anderen Elemente hier weggelassen wird, da die vorerwähnte Beschreibung derselben mit Bezug auf das erste Ausführungsbeispiel selbst erläuternd erscheint. Wie aus den [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) deutlich ist, wird der scheibenfedernutartige Kolben-Schüsselhohlraum **113** durch zwei gegenüberliegende, parallele Seitenwandabschnitte und einen abgerundeten Bodenwandabschnitt definiert. Die vorerwähnten zweiecki-

gen überliegenden parallelen im Wesentlichen sichelförmigen flachen Seitenwände des Hohlraumes **113** sind in solch einer Weise ausgebildet, dass sie sich entlang der Fallströmung erstrecken, wie durch den Fall a gezeigt in [Fig. 7](#) angedeutet ist und sich im Wesentlichen parallel zur Richtung der Fallströmung, angegeben durch den Pfeil A erstrecken. Der vorerwähnte abgerundete Bodenwandabschnitt des Hohlraumes **113** ist in Richtung der Fallströmung, angegeben durch den Pfeil a, rund ausgebildet. Der Krümmungsradius R des scheibenfedernutartigen Kolben-Schüsselhohlraumes **113** ist durch eine Ebene parallel zu den vorerwähnten zwei gegenüberliegenden flachen Seitenwänden geschnitten. Wie aus den [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) ersichtlich ist, hat der gerundete Bodenwandabschnitt des Hohlraumes **113** denselben Krümmungsradius in der Richtung senkrecht zu den zwei gegenüberliegenden parallelen, im Wesentlichen sichelförmigen Seitenwandungen des Hohlraumes **113**. Eine quadratische Öffnung (eine im Wesentlichen regelmäßige quadratische Öffnung) des scheibenfedernutartigen Kolben-Schüsselhohlraumes **113** wird durch die zwei parallelen, stumpfwinklig kantenbegrenzten Abschnitte des gerundeten Bodenwandabschnittes und die zwei parallelen, rechtwinklig kantenbegrenzten Abschnitte der zwei gegenüberliegenden flachen Seitenwandungen begrenzt. In derselben Weise, wie der Hohlraum **13** des ersten Ausführungsbeispiels ist, um eine stabile Stabilität der geschichteten Verbrennung zu schaffen, die Länge d jede der vier Seiten der quadratischen Öffnung des scheibenfedernutartigen Kolben-Schüsselhohlraumes **113** so dimensioniert, dass das Verhältnis (d/D) zu dem Durchmesser der Zylinderbohrung innerhalb von 40 % bis 80 % liegt. Außerdem, um die Fallströmungs- Aufrechterhaltungsleistung zu erhöhen, ist der Krümmungsradius R des gerundeten Bodenwandabschnittes des Hohlraumes **113** so dimensioniert, dass das Verhältnis (R/D) des Krümmungsradius R des gerundeten Bodenwandabschnittes zu demjenigen der Zylinderbohrung D innerhalb des Bereichs von 20 % bis 65 % liegt. Somit kann der Motor nach dem zweiten Ausführungsbeispiel dieselben Wirkungen wie diejenigen bei dem ersten Ausführungsbeispiel herbeiführen. Außerdem ist der gerundete Bodenwandabschnitt des Hohlraumes **113** entlang der Richtung (oder der Strömungslinie) der Fallströmung (siehe den Pfeil a, gezeigt in [Fig. 7](#)) wirksam ausgespart und außerdem sind die zwei gegenüberliegenden flachen Seitenwände des Hohlraumes **113** im Wesentlichen parallel zu der Strömungslinie der Fallströmung ausgebildet. Somit sichern die zwei gegenüberliegenden flachen Seitenwände und der glatt gekrümmte, gerundete Bodenwandabschnitt des Hohlraumes **113** eine gute Konvergenzwirkung und eine erhöhte Strömungs-Begradigungswirkung auf die Fallströmung. Im Ergebnis kann die Fallströmungs-Aufrechterhaltungsleistung in höherem Maße erhöht und vergrößert werden. Entsprechend kann die Stabilität der geschichteten Ver-

brennung weiter erhöht werden.

**[0028]** Bezug nehmend auf [Fig. 10](#) ist darin die Modifikation des Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus **9** gezeigt. In den vorbeschriebenen ersten und zweiten Ausführungsbeispielen wird als ein Beispiel des Fallströmungs-Verstärkungsmechanismus das Teil-Schließventil **10** verwendet. Im Gegensatz dazu wird in der Modifikation nach [Fig. 10](#) ein Fallströmungs-Verstärkungsmittel mit dem Einlassventil **5** selbst verbunden. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt ist, weist das Einlassventil **5** einen Ventilkopf **5a** und einen Ventilschaftabschnitt **5b** auf. Das freie Ende des Ventilschaftes **5b** ist mit einem geschlitzten Abschnitt versehen, der mit einem Vorsprungsabschnitt eines Steuerarmes **14** zur Verhinderung einer Drehbewegung des Ventilschaftes **5b** gekuppelt ist. Ein gekrümmter, eine Fallströmungswirkung erzeugender, teilweise kragenförmig ausgebildeter, aufrechter Wandabschnitt **15** ist auf der Rückseite des Ventilkopfabschnittes **5a** mit diesem so verbunden, dass er sich in Umfangsrichtung über die untere Hälfte des Ventilkopfabschnittes **5a** erstreckt. Daher kann die Fallströmung durch Absperren der angesaugten Luftströmung, die durch den Öffnungsraum der unteren Halbseite des Einlassventils **5** strömt, verstärkt werden. In solch einem Fall kann die Fallströmungs-Verstärkungseinrichtung oder -vorrichtung nur durch die bauliche Änderung im Ventilkopfabschnitt des Einlassventils **5** erreicht werden. Um eine Fallströmungs-Verstärkungseinrichtung oder -vorrichtung mit niedrigen Herstellungskosten zu schaffen, ist es vorteilhaft, den die Fallströmungswirkung erzeugenden, kragenförmigen Wandabschnitt **15** einstückig mit dem Einlassventil **5** auszuführen oder einstückig mit diesem zu verbinden. Wie oben ausgeführt, kann dann, wenn die Fallströmungs-Verstärkungseinrichtung oder -vorrichtung **9** vorgesehen ist, eine Betriebsweise von geschichteter Verbrennung leicht erweitert werden. In den gezeigten Ausführungsbeispielen ist das grundsätzliche Konzept (Hauptmerkmal) der Erfindung beispielhaft als die solitäre Kolben-Schüsselhohlraumstruktur verdeutlicht, die ordnungsgemäße Fallströmung erzeugt (die vertikale Wirbel-Luftströmungsbewegung, die in der vertikalen Richtung erzeugt wird, wie dies durch den Pfeil a in den [Fig. 1](#) und [Fig. 7](#) dargestellt ist). Wie deutlich ist, kann das Konzept der Erfindung auch auf eine Kolben-Schüsselhohlraumstruktur angewandt werden, die eine sogenannte Umkehr-Fallströmung erzeugt (vertikale Wirbelströmungsbewegung, die in der entgegengesetzten Fallströmungsrichtung in Bezug auf die Richtung, wie sie durch den Pfeil a angegeben ist, erzeugt).

**[0029]** Wie bereits oben erläutert, kann die schüsselförmig im Kolben ausgebildete Verbrennungskammeranordnung einen scheibenfedernutartigen Hohlraum aufweisen, der eine quadratische Öffnung und den tiefsten Abschnitt in einer Hohlraummitte dersel-

ben hat.

**[0030]** Der scheibenfedernutartige Hohlraum ist durch zwei gegenüberliegende, parallele, im Wesentlichen halbkreisförmige flache Seitenwandabschnitte und einem abgerundeten Bodenwandabschnitt gebildet.

**[0031]** Vorzugsweise wird das Verhältnis der Länge jeder der vier Seiten der quadratischen Öffnung des scheibenfedernutartigen Hohlraums zu der Zylinderbohrung innerhalb eines Bereiches von 40% bis 80% festgelegt, und auch das Verhältnis eines Krümmungsradius des abgerundeten Bodenwandabschnittes des scheibenfedernutartigen Hohlraums zu der Zylinderbohrung wird innerhalb eines Bereiches von 20% bis 65% festgelegt. Noch genauer, der Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung kann außerdem eine Fallströmungs-Verstärkungsvorrichtung aufweisen, dass in einem Einleitungssystem vorgesehen ist. Die Fallströmungs-Verstärkungsvorrichtung kann ein teilabschaltbares Ventil aufweisen, das in eine geschlossene Position bewegbar ist, um eine untere Hälfte der Einlassöffnung während des geschichteten Ladungsverbrennungsmodus abzuschalten, und in eine offene Position, um die vollständige Fluid-Verbindung dort hindurch während des homogenen Verbrennungsmodus zu sichern.

**[0032]** In diesem Modus erzeugt die Kraftstoffeinspritzung früh in einem Einlasshub ein homogenes Luft- Kraftstoff- Gemisch.

**[0033]** Alternativ kann die Fallströmungs-Verstärkungsvorrichtung einen kragenartigen Wandabschnitt, verbunden mit der Rückseite des Ventilkopfabschnittes des Einlassventiles, so dass sich der kragenartige Wandabschnitt in Umfangsrichtung über die untere Hälfte des Ventilkopfabschnittes erstreckt. Überdies, um die verschiedenen Sprühmerkmale zu verstärken, nämlich die Spitzen-Penetration (die Kraftstoff- Sprühnebel- Penetration), das Sprühnebel-/Wand-Anstoßen, das Luft-/Kraftstoffmischen und die Bildung einer gesteuerten Luft-/Kraftstoff- Gemischschicht, wird es bevorzugt, dass das Kraftstoffeinspritzventil eine breitwinklige Einspritzdüse eines Kraftstoffsprühwinkels hat, der von 70° bis 90° reicht.

**[0034]** Nochmals, der Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung, der zwischen einem geschichteten Ladungsverbrennungsmodus, wo die Kraftstoffeinspritzung in einem Verdichtungshub ausgeführt wird, während des Einleitens einer vertikalen Wirbel-Fallströmung in eine eingeleitete Luft, die in die Brennkammer durch eine Einlassöffnung einsogen ist, und einem homogenen Verbrennungsmodus, wo die Kraftstoffeinspritzung früh in dem Einlasshub ein homogenes Luft- Kraftstoff- Gemisch erzeugt, weist



auf einen Zylinderblock, der einen Zylinder hat, einen Kolben, bewegbar durch einen Hub in dem Zylinder, und der eine mittig-gebildeten schüsselartig im Kolben ausgebildete Verbrennungskammeranordnung in seinem Kolbenkopf hat, einen Zylinderkopf, montiert auf dem Zylinderblock, eine mittig angeordnete Zündkerze und ein Kraftstoff-Einspritzventil, das in der Nähe des Einlassventiles für das direkte Einspritzen des Kraftstoffes in die Brennkammer vorgesehen ist. Die schüsselartig im Kolben ausgebildete Verbrennungskammer ist so gebildet, dass der tiefste Abschnitt der schüsselartig im Kolben ausgebildeten Verbrennungskammer in der Mitte des Kolbenkopfes erhalten wird, und die konkave Innenwandoberfläche der Hohlraumbrennkammer ist ausgebildet, um in einer Richtung einer Strömungslinie der vertikalen Wirbelfallströmung gekrümmt zu sein.

### Patentansprüche

1. Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung, der aufweist:  
eine Brennkammer (4), gebildet durch eine Zylinderwand eines Zylinderblocks (1), der einen Zylinder hat, eine Bodenfläche eines Zylinderkopfes (2), montiert in dem Zylinderblock (1), und eine Kolbenkrone eines Kolbens (3), vorgesehen auf dem Zylinder;  
eine Zündkerze (11), angeordnet im Wesentlichen in der Mitte der Brennkammer (4);  
ein Einlasssystem für das Einleiten von Einlassluft in die Brennkammer (4) und Erzeugen einer Normal-Fallströmung (a) der Einlassluft in die Brennkammer (4), wobei das Einlasssystem zwei Einlassöffnungen (7, 7) enthält, die sich in die Brennkammer (4) öffnen, und ein partielles Abschaltventil (10), das im Wesentlichen die untere Hälfte jeder der zwei Einlassöffnungen (7, 7) abschaltet;  
ein Kraftstoffeinspritzventil, vorgesehen an einem Seitenwandabschnitt der Brennkammer (4) und zwischen den Öffnungsenden der zwei Einlassöffnungen (7, 7) angeordnet, um in einem VerdichtungsHub Kraftstoff direkt in die Brennkammer (4) einzuspritzen; und einen Kolbenvertiefungshohlraum (113), gebildet in der Kolbenkrone, und der die Normal-Fallströmung (a) unterstützt;  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
ein Kraftstoffsprühnebel, eingespritzt von dem Kraftstoffeinspritzventil (12) in dem VerdichtungsHub in die Normal-Fallströmung (a) ausgeführt wird und in die Nähe einer Spitze der Zündkerze (11) durch die Normal-Fallströmung (a) geführt wird, und dass der Kolbenvertiefungshohlraum (113) zwei gegenüberliegende flache Seitenwände und einen gekrümmten, abgerundeten Bodenwandabschnitt hat, gebildet entlang der Strömungslinien der Normal-Fallströmung, so dass verhältnismäßig starke Normal-Fallströmungsmassen innerhalb eines steuerbaren Fallströmungsbereichs, gebildet zwischen den zwei flachen gegenüberliegenden Seitenwänden, konzentriert werden.

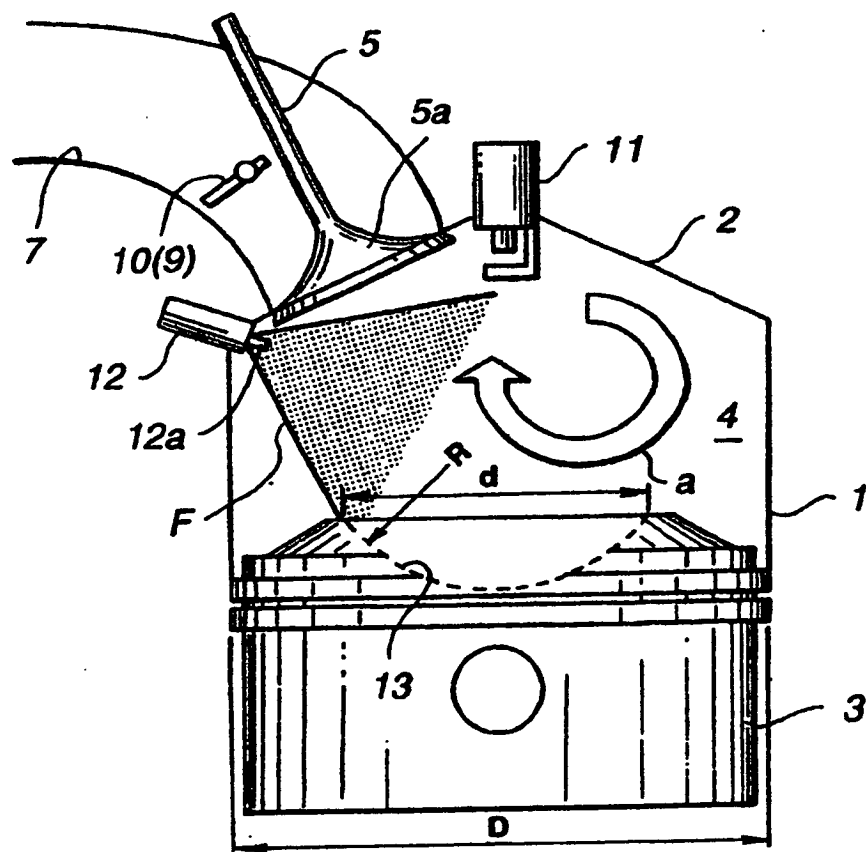
2. Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolbenvertiefungshohlraum (113) so dimensioniert ist, dass die Normal-Fallströmung (a) luftgeführt wird, um in Kollisionskontakt mit der Unterseite des Kraftstoffsprühnebels gebracht zu werden und um den Kraftstoffsprühnebel nach oben kräftig in die Richtung zu dem oberen Teil der Brennkammer (4) in einem geschichteten Ladungsverbrennungsmodus zu schleudern, wo die Kraftstoffeinspritzung in dem VerdichtungsHub ausgeführt wird.

3. Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinderkopf (2) mit zwei Einlassöffnungen (7, 7) ausgerüstet ist, die von der axialen Mittellinie, gebildet in dem Zylinderblock (1), versetzt angeordnet sind.

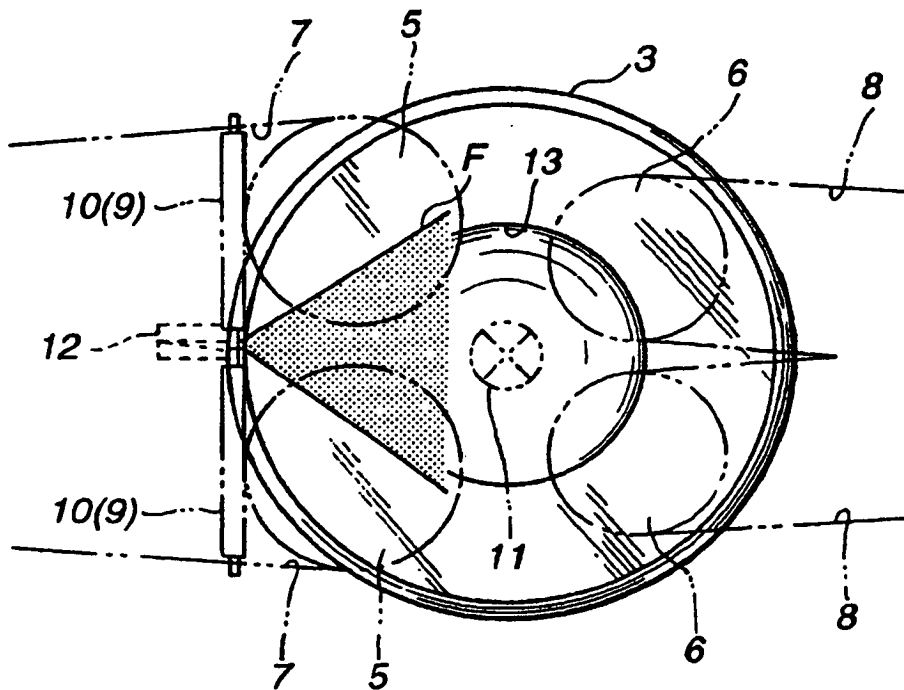
4. Direkteinspritzungsmotor mit Zündfunkenzündung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Breite der steuerbaren Fallströmungsfläche, gebildet zwischen den zwei gegenüberliegenden Seitenwänden, relativ größer als eine Breite des Kraftstoffsprühnebels ist, der eine Fläche der Brennkammer (4) unmittelbar oberhalb des einlassventilseitigen Kantenabschnittes des Kolbenvertiefungshohlraums (113) erreicht.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

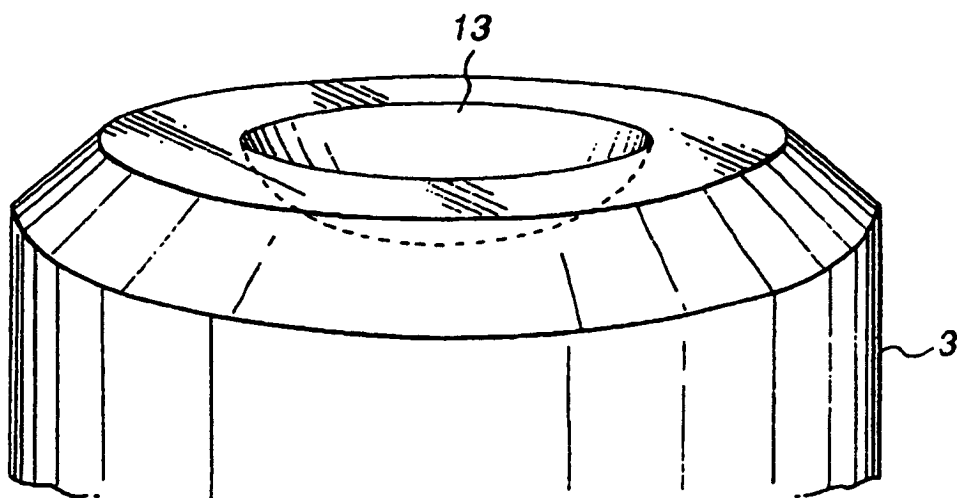
**FIG.1**



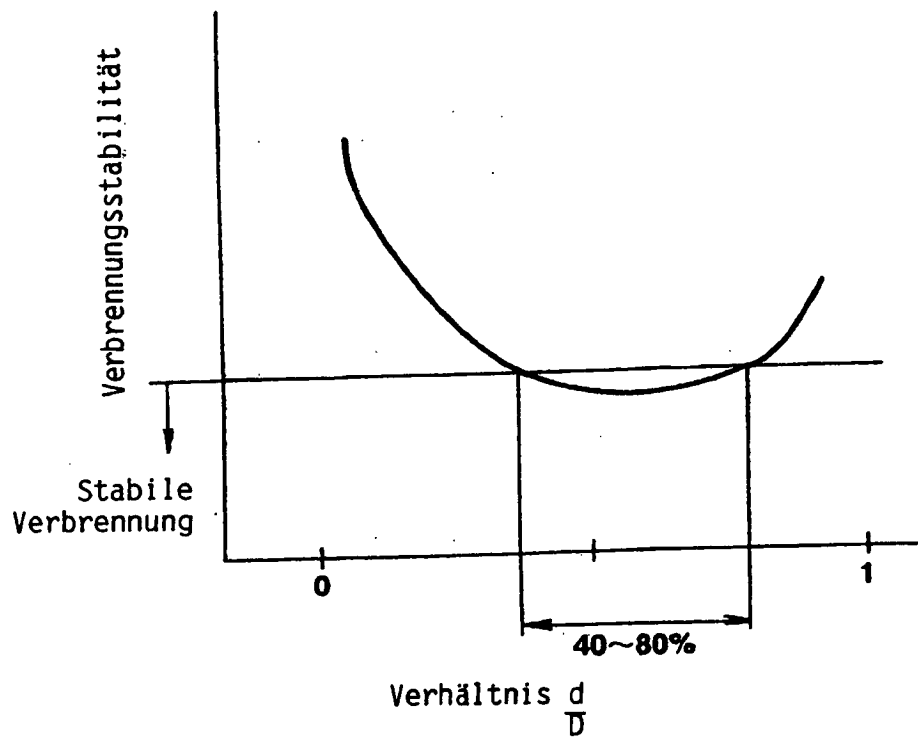
**FIG.2**



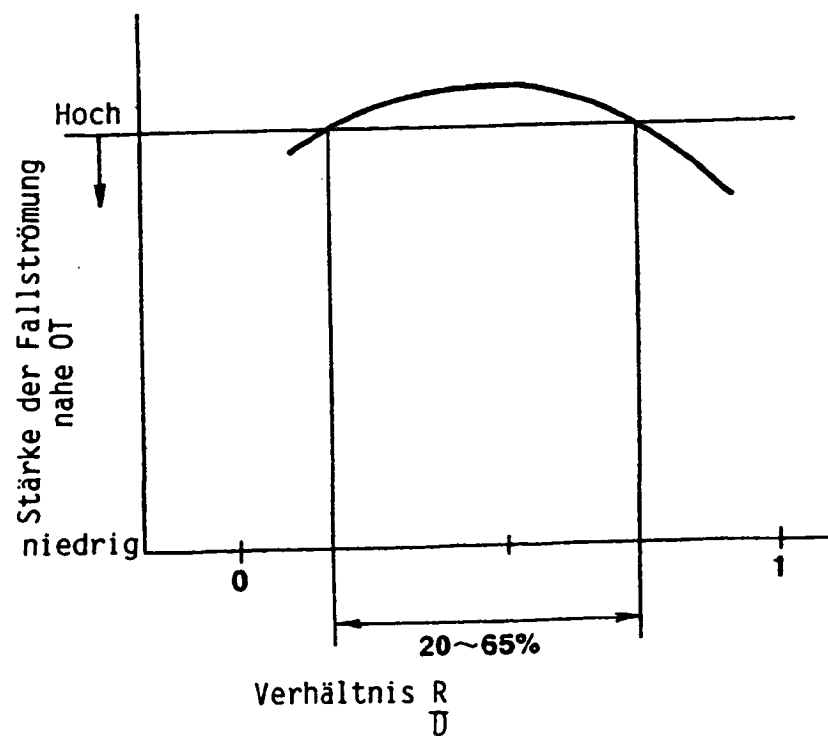
**FIG.3**



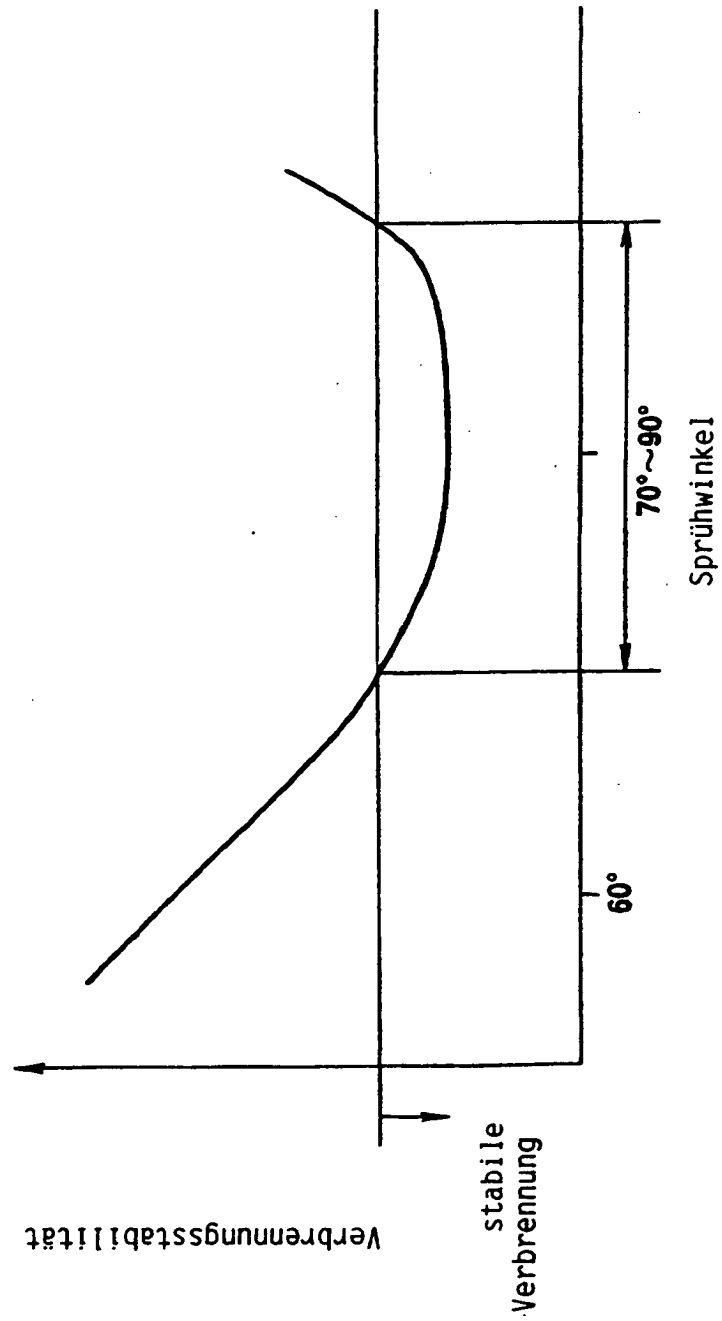
**FIG.4**



**FIG.5**

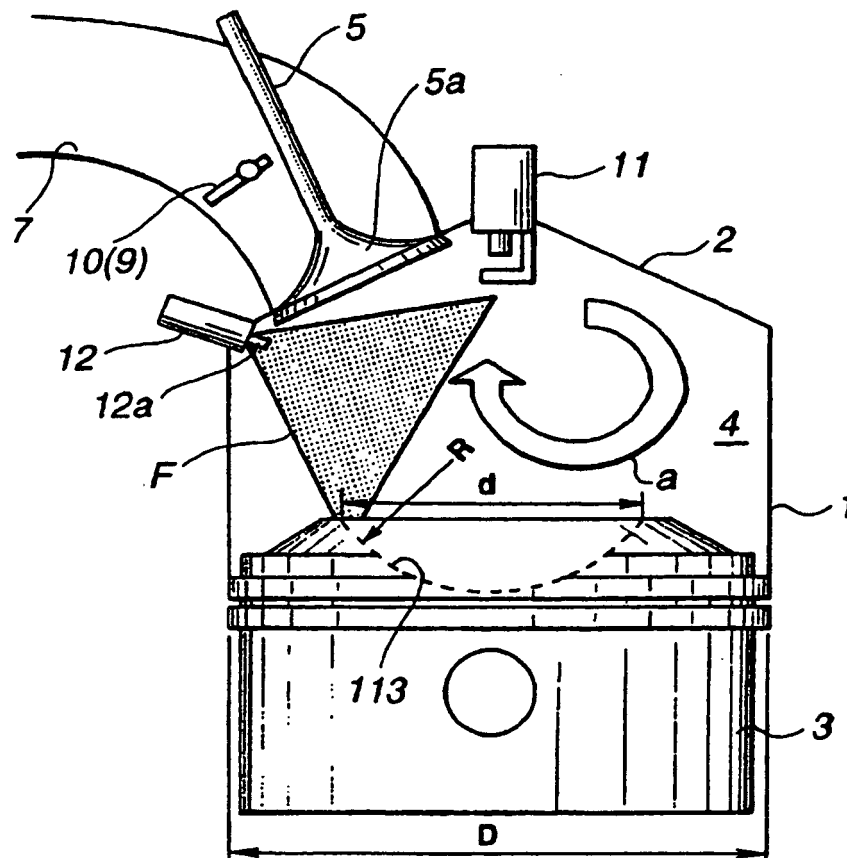


**FIG.6**

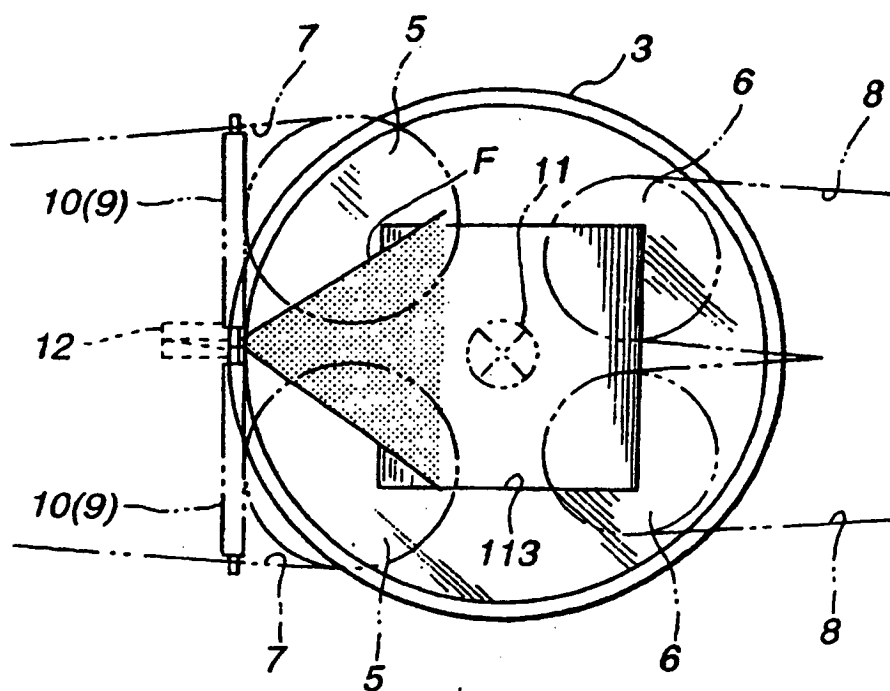




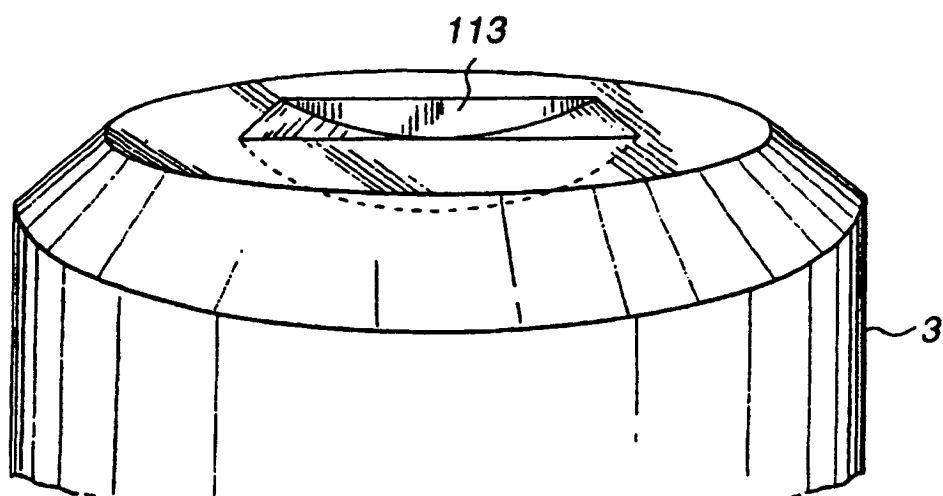
**FIG.7**



**FIG.8**



**FIG.9**



**FIG.10**

