



(10) **DE 10 2019 006 486 A1** 2021.03.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 006 486.0**
(22) Anmeldetag: **12.09.2019**
(43) Offenlegungstag: **18.03.2021**

(51) Int Cl.: **F02B 19/00 (2006.01)**
F02B 43/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
MAN Truck & Bus SE, 80995 München, DE

(72) Erfinder:
Malischewski, Thomas, 80995 München, DE; Diaz-Blanco, Bruno Barciela, Dr., 80995 München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

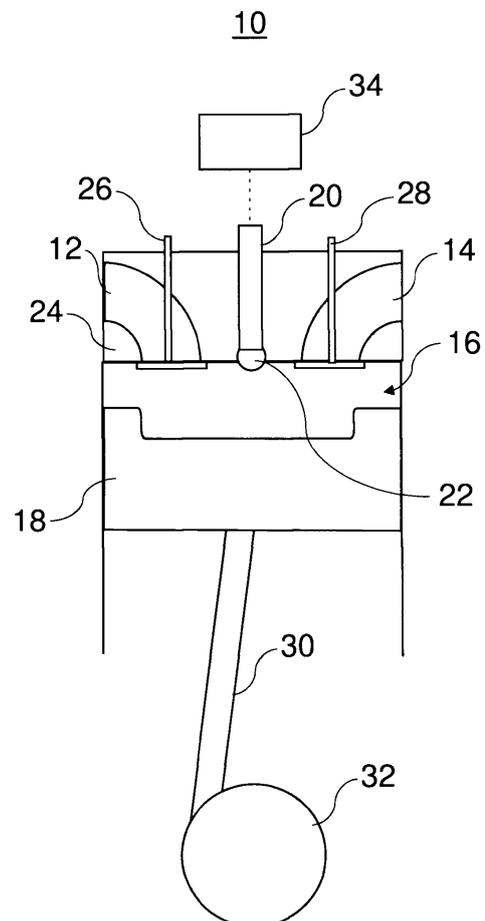
DE	44 19 429	C2
DE	10 2007 060 560	A1
AT	006 290	U1
US	8 925 518	B1
US	9 890 689	B2
US	2 799 255	A

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, aufweisend eine Hauptbrennkammer und eine Vorkammer, mit Gaskraftstoff.**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft u. a. ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), aufweisend eine Hauptbrennkammer (16) und eine Vorkammer (22), mit Gaskraftstoff. Eine Hauptmenge von Gaskraftstoff wird über die Vorkammer (22) in die Hauptbrennkammer (16) zugeführt. Eine Zündmenge von Gaskraftstoff wird in die Vorkammer (22) zugeführt, bevor der Kolben (18) den oberen Totpunkt erreicht, zum Bilden eines Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22), das fetter ist als in der Hauptbrennkammer (16). Das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22) zündet selbst. Das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer (16) zündet durch das selbstgezündete Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise einer Einkraftstoff-Brennkraftmaschine, aufweisend eine Hauptbrennkammer und eine Vorkammer, mit Gaskraftstoff. Die Erfindung betrifft ferner eine Brennkraftmaschine und ein Kraftfahrzeug mit einer Brennkraftmaschine.

[0002] Zum Betreiben einer Gaskraftstoff-Brennkraftmaschine kann das sogenannte HPDI-Verfahren (High Pressure Direct Injection) verwendet werden. Bei diesem Brennverfahren werden Methan als Gaskraftstoff und Diesel als Flüssigkraftstoff benötigt. Hierbei können das Methan und der Diesel getrennt in einem Injektor geführt sein. Zuerst wird eine Pilotmasse von ca. 3 mg bis 10 mg Diesel im Bereich des oberen Totpunktes eingespritzt. Aufgrund der Eigenschaften des Diesels (geringe Zündtemperaturen) findet eine sofortige Verbrennung statt. Hierdurch erfolgt eine lokale, deutliche Temperaturerhöhung. Im zweiten Schritt wird dann die Hauptmenge an Methan eingespritzt. Durch die vorherige Temperaturerhöhung findet auch eine sofortige Verbrennung des Methans statt.

[0003] Nachteilig an diesem Verfahren kann der weiterhin benötigte Dieselmethan sein, durch den die Systemkomplexität deutlich ansteigt und nicht das volle CO₂-Einsparpotential gehoben werden kann.

[0004] Aus der DE 44 19 429 C2 ist ein Verfahren zum Betreiben einer selbstzündenden gemischverdichtenden Brennkraftmaschine, mit einem gasförmigen Brennstoff, welcher einer Vorkammer zugeführt wird und dort ein brennstoffreiches Gemisch bildet, und mit einem Hauptbrennraum, in welchem ein gasförmiges Brennstoff/Luft-Gemisch angesaugt wird, bekannt. Der gasförmige Brennstoff wird bei einem Druck in die Vorkammer eingeblasen, der über dem Verdichtungsdruck im Hauptbrennraum liegt. Das gasförmige Brennstoff/Luft-Gemisch für die Hauptbrennkammer wird über eine Niederdruck-Brenngasleitung in einen Einlasskanal stromaufwärts der Hauptbrennkammer zugeführt.

[0005] Eine weitere gasbetriebene Brennkraftmaschine mit einer Vorkammer ist aus der US 2 799 255 bekannt.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine alternative und/oder verbesserte Technik zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Gaskraftstoff zu schaffen.

[0007] Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des Hauptanspruchs. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen und der Beschreibung angegeben.

[0008] Gemäß einem Aspekt ist die vorliegende Offenbarung auf ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, vorzugsweise einer Einkraftstoff-Brennkraftmaschine, aufweisend eine Hauptbrennkammer und eine Vorkammer, die in Fluidverbindung sind, gerichtet. Das Verfahren weist ein Zuführen (z. B. Einblasen) einer Hauptmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, über die Vorkammer in die Hauptbrennkammer auf. Das Verfahren weist ein Verdichten und Vermischen von (z. B. verdichtete Lade-) Luft und der Hauptmenge von Gaskraftstoff zu einem Luft-Gaskraftstoffgemisch während einer Bewegung eines Kolbens in der Hauptbrennkammer zu einem oberen Totpunkt einer Kolbenbewegung des Kolbens auf (z. B. im Verdichtungsstakt). Das Verfahren weist ein Zuführen (z. B. Einblasen) einer Zündmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, in die Vorkammer, bevor der Kolben den oberen Totpunkt erreicht, zum Bilden eines Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer, das fetter ist als in der Hauptbrennkammer, auf. Das Verfahren weist ein Selbstzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer und ein Zünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer durch das selbstgezündete Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer auf.

[0009] Die Erfindung ermöglicht es, eine Brennkraftmaschine rein mit Methan oder einem anderen gasförmigen Kraftstoff zu betreiben, und zwar mittels Kompressionselbstzündung der Zündmenge. Es wird kein Dieselmethan o.Ä. wie beim HPDI-Verfahren zum Zünden des Gaskraftstoffs benötigt. Die Selbstzündung der Zündmenge führt zu einer Zündung der zuvor zugeführten Hauptmenge von Gaskraftstoff. Die Hauptverbrennung selbst kann einem Dieselmethanverfahren entsprechen oder ähnlich dazu sein. Außerdem ermöglicht das Verfahren einen vergleichsweise einfachen Aufbau, da bspw. dieselbe Gaskraftstoffzufuhrleitung und/oder derselbe Kraftstoffinjektor zur Zuführung der Hauptmenge und der Zündmenge von Gaskraftstoff verwendet werden kann. Dadurch kann die Systemkomplexität nochmals deutlich verringert werden. Eine Magerverbrennung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer kann übermäßige Stickoxidemissionen verhindern, insbesondere unter Teillast der Brennkraftmaschine.

[0010] In einem Ausführungsbeispiel werden die Luft und die Hauptmenge von Gaskraftstoff während des Verdichtens zu einem homogenen Luft-Kraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer vermischt. Somit kann die Brennkraftmaschine durch eine homogene Magerverbrennung des Gaskraftstoffs angetrieben werden.

[0011] In einer Weiterbildung weist das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluft-

verhältnis (A) ≥ 2 und/oder ≤ 3 auf. Vorzugsweise kann so eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer verhindert werden.

[0012] In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis auf, das zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer führt.

[0013] In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das Verfahren ferner ein Verdichten eines Teils des Luft-Gaskraftstoffgemischs aus der Hauptbrennkammer in die Vorkammer hinein während der Bewegung des Kolbens zu dem oberen Totpunkt auf, vorzugsweise nach dem Zuführen der Hauptmenge von Gaskraftstoff. Es ist möglich, dass die Zündmenge in den Teil des in die Vorkammer hineinverdichteten Luft-Gaskraftstoffgemischs zugeführt wird. Somit kann auf zuverlässige Weise ein fetteres und selbstzündungsfähiges Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer gebildet werden.

[0014] In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) zwischen 0.8 und 1.5, vorzugsweise von ca. 1, auf. Vorzugsweise kann so eine Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer ermöglicht werden.

[0015] In einer Ausführungsform weist das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) auf, das zu einer Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer führt.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform entspricht die Hauptmenge von Gaskraftstoff zwischen 90 % und 98 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge. Alternativ oder zusätzlich entspricht die Zündmenge von Gaskraftstoff zwischen 2 % und 10 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge. Es wurde herausgefunden, dass diese Kleinstmenge von Gaskraftstoff ausreichend sein kann, um eine sichere Selbstzündung zu gewährleisten. Vorzugsweise summieren sich die Hauptmenge von Gaskraftstoff und die Zündmenge von Gaskraftstoff auf 100 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform ist ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens ≤ 10 bar, vorzugsweise ≤ 9 bar, besonders bevorzugt ≤ 8 bar. Vorzugsweise kann so eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer verhindert werden.

[0018] In einer weiteren Ausführungsform ist ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens so (z. B. eingestellt oder gesteuert), dass er zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer führt.

[0019] Bevorzugt kann sich der effektive Mitteldruck als Quotient aus abgegebener Arbeit (an der Pleuellwelle) und Hubraum der Hauptbrennkammer(n) berechnen lassen.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform wird die Zündmenge von Gaskraftstoff im Bereich des oberen Totpunkts der Pleuellbewegung zugeführt, vorzugsweise kurz vor Erreichen des oberen Totpunkts und/oder in einem Bereich zwischen 50 °KW und 0°KW, vorzugsweise zwischen 30°KW und 15°KW, vor dem oberen Totpunkt.

[0021] In einer Ausführungsvariante weisen die Hauptmenge und die Zündmenge den gleichen Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, auf.

[0022] In einer weiteren Ausführungsvariante wird die Hauptmenge von Gaskraftstoff während eines Einlasstaktes und/oder eines Verdichtungtaktes zugeführt, vorzugsweise bis maximal 100°KW vor dem oberen Totpunkt der Pleuellbewegung des Pleuels. So kann sichergestellt werden, dass das Luft-Gaskraftstoffgemisch aus der Hauptbrennkammer in die Vorkammer hineinverdichtet/hineingeschoben werden kann, um dort mit der Zündmenge von Gaskraftstoff ein selbstzündfähiges Gemisch zu bilden.

[0023] In einer weiteren Ausführungsvariante weist das Verfahren ferner ein Zuführen von (z. B. verdichteter Lade-) Luft, in die Hauptbrennkammer auf, vorzugsweise während eines Einlasstaktes. Beispielsweise kann die Luft über einen Einlasskanal eines Pleuellkopfes, der in die Hauptbrennkammer mündet, zugeführt werden. Zweckmäßig kann die Luft vor dem Zuführen mittels eines Verdichters z. B. einer Pleuellbaugruppe verdichtet werden.

[0024] In einem Ausführungsbeispiel erfolgt das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge gasförmig.

[0025] In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die Hauptmenge zeitlich vor und/oder beabstandet zu der Zündmenge zugeführt. So kann beispielsweise sichergestellt werden, dass das Luft-Gaskraftstoffgemisch aus der Hauptbrennkammer in die Vorkammer hineinverdichtet/hineingeschoben werden kann, um dort mit der Zündmenge von Gaskraftstoff ein selbstzündfähiges Luft-Gaskraftstoffgemisch zu bilden.

[0026] In einem weiteren Ausführungsbeispiel erfolgt das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge durch denselben Kraftstoffinjektor.

tor, vorzugsweise durch dieselbe Zufuhrleitung desselben Kraftstoffinjektors.

[0027] In einem weiteren Ausführungsbeispiel erfolgen das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge mit demselben Zufuhrdruck.

[0028] Vorzugsweise erfolgt das Zuführen der Hauptmenge und/oder der Zündmenge mittels eines Kraftstoffinjektors, der bevorzugt direkt in die Vorkammer mündet.

[0029] In einer Ausführungsform erfolgt das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge durch einen Piezo-Kraftstoffinjektor oder durch einen mittels eines Elektromagneten betätigten Kraftstoffinjektor.

[0030] In einer weiteren Ausführungsform weist eine Innenseitenfläche der Vorkammer einen thermischen Isolator auf, vorzugsweise in Form einer thermisch isolierenden Beschichtung. Der thermische Isolator kann einen Wärmeübergang zwischen einer Wand der Vorkammer und dem Gaskraftstoff minimieren.

[0031] In einer weiteren Ausführungsform wird der Schritt des Selbstzündens des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer zumindest während eines Normalbetriebs der Brennkraftmaschine durchgeführt (zum Beispiel im Leerlauf, unter Teillast und/oder unter Vollast), vorzugsweise ohne Einsatz von Selbstzündunterstützungseinrichtungen wie einer Glühkerze usw.

[0032] In einer Ausführungsvariante weist das Verfahren ferner ein Fremdzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer durch eine Zündkerze bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine und/oder ein Vorheizen der Vorkammer durch eine Glühkerze und Selbstzünden des des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der vorgeheizten Vorkammer bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine auf. So kann, wenn gewünscht oder erforderlich, auch unter Kaltstartbedingungen eine sichere Zündung des Gaskraftstoffs gewährleistet werden.

[0033] In einem Ausführungsbeispiel weist die Vorkammer ein Volumen in einem Bereich zwischen ca. 0,5 cm³ und ca. 2 cm³ auf. Ein derartig geringes Volumen kann ausreichend sein, um die sehr geringe Pilotmenge von Gaskraftstoff zusammen mit der verdichteten Luft sicher zum Selbstzünden zu bringen.

[0034] In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Vorkammer durch eine oder mehrere Durchgangsöffnungen, vorzugsweise 6 bis 14 verteilt angeordnete Durchgangsöffnungen, mit der Hauptbrennkammer verbunden.

[0035] In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Vorkammer in einem Kraftstoffinjektor für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge integriert, oder die Vorkammer ist separat zu einem Kraftstoffinjektor für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge ausgebildet.

[0036] Beispielsweise kann bei getrennter Ausbildung von Vorkammer und Kraftstoffinjektor die Vorkammer zumindest teilweise durch einen Zylinderkopf der Brennkraftmaschine, durch ein an der Brennraumseite eines Zylinderkopfes der Brennkraftmaschine angebrachtes Kappenelement und/oder durch eine Montagehülse für den Kraftstoffinjektor gebildet sein. Bei Verwendung des Kappenelements kann dieses bspw. von unten in die Montagehülse eingeschraubt sein.

[0037] In einer Ausführungsform ist die Vorkammer zentral bezüglich der Hauptbrennkammer angeordnet.

[0038] Die Erfindung betrifft auch ein Kraftfahrzeug, vorzugsweise ein Nutzfahrzeug (zum Beispiel Lastkraftwagen oder Omnibus), mit einer Brennkraftmaschine, die zum Ausführen eines Verfahrens wie hierin offenbart ausgeführt ist.

[0039] Zweckmäßig kann die Brennkraftmaschine eine vorzugsweise elektronische Steuereinheit aufweisen, die zum Ausführen des Verfahrens eingerichtet ist, z. B. einen Kraftstoffinjektor der Brennkraftmaschine entsprechend steuert.

[0040] Vorzugsweise kann sich der Begriff „Steuereinheit“ auf eine Elektronik (z. B. mit Mikroprozessor (en) und Datenspeicher) beziehen, die je nach Ausbildung Steuerungsaufgaben und/oder Regelungsaufgaben übernehmen kann. Auch wenn hierin der Begriff „Steuern“ verwendet wird, kann damit gleichsam zweckmäßig auch „Regeln“ bzw. „Steuern mit Rückkopplung“ umfasst sein.

[0041] Es ist auch möglich, das Verfahren und die Vorrichtung wie hierin offenbart für Personenkraftwagen, Großmotoren, geländegängige Fahrzeuge, stationäre Motoren, Marinemotoren usw. zu verwenden.

[0042] Die zuvor beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen und Merkmale der Erfindung sind beliebig miteinander kombinierbar. Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im Folgenden unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Offenbarung; und

Fig. 2 eine Schnittansicht durch einen beispielhaften Zylinderkopf.

[0043] Die in den Figuren gezeigten Ausführungsformen stimmen zumindest teilweise überein, so dass ähnliche oder identische Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind und zu deren Erläuterung auch auf die Beschreibung der anderen Ausführungsformen bzw. Figuren verwiesen wird, um Wiederholungen zu vermeiden.

[0044] Die **Fig. 1** zeigt eine Brennkraftmaschine **10**. Die Brennkraftmaschine **10** ist als eine Hubkolben-Brennkraftmaschine ausgeführt. Zweckmäßig ist die Brennkraftmaschine **10** als eine Viertakt-Brennkraftmaschine ausgeführt. Die Brennkraftmaschine **10** weist einen oder mehrere Zylinder auf. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit ist lediglich ein Zylinder in **Fig. 1** dargestellt. Die Brennkraftmaschine **10** ist besonders bevorzugt als eine Einkraftstoff-Brennkraftmaschine zum Betreiben mittels Methan (Erdgas) als einzigen Kraftstoff ausgeführt. Die Brennkraftmaschine **10** kann allerdings bspw. auch mit einem anderen gasförmigen Kraftstoff betrieben werden, z. B. Wasserstoff.

[0045] Die Brennkraftmaschine **10** kann in einem Fahrzeug, z. B. einem Kraftfahrzeug, einem Schienenfahrzeug oder einem Wasserfahrzeug, zum Antreiben des Fahrzeugs umfasst sein. Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine **10** in einem Nutzfahrzeug, z. B. einem Lastkraftwagen oder Omnibus, zum Antreiben des Nutzfahrzeugs umfasst. Es ist auch möglich, die Brennkraftmaschine **10** in einer stationären Anlage z. B. zum Antreiben eines Generators zu verwenden.

[0046] Die Brennkraftmaschine **10** kann je Zylinder mindestens einen Lufteinlasskanal **12**, mindestens einen Abgasauslasskanal **14**, eine Hauptbrennkammer **16**, einen Kolben **18**, einen Kraftstoffinjektor **20**, eine (z. B. einzige) Vorkammer (Vorbrennkammer) **22** und einen Zylinderkopf **24** aufweisen.

[0047] Der Lufteinlasskanal **12** mündet in die Hauptbrennkammer **16**. Über den Lufteinlasskanal **12** kann (Lade-)Luft zu der Hauptbrennkammer **16** zugeführt werden. Der Lufteinlasskanal **12** ist in dem Zylinderkopf **24** angeordnet. Der Zylinderkopf **24** begrenzt die Hauptbrennkammer **16** von oben. Stromaufwärts des Lufteinlasskanals **12** kann ein Luftzuführsystem angeordnet sein. Das Luftzuführsystem kann je nach Anforderung bspw. einen oder mehrere Verdichter einer Turboladerbaugruppe, einen Ladeluftkühler und/oder eine Abgasrückführleitung aufweisen.

[0048] Eine Mündungsöffnung des Lufteinlasskanals **12** in die Hauptbrennkammer **16** ist mittels eines Lufteinlassventils **26** zu öffnen und zu schließen. Das Lufteinlassventil **26** ist vorzugsweise als ein Tellerventil ausgeführt. Das Lufteinlassventil **26** kann mittels jeglicher Technik betätigt werden, z. B. mittels eines zweckmäßig variablen Ventiltriebs.

[0049] Nach der Verbrennung verlässt das Abgas die Hauptbrennkammer **16** durch den mittels eines Abgasauslassventils **28** geöffneten Abgasauslasskanal **14**. Das Abgasauslassventil **28** kann bspw. als ein Tellerventil ausgeführt sein. Der Abgasauslasskanal **14** ist in dem Zylinderkopf **24** angeordnet. Stromabwärts des Abgasauslasskanals **14** kann ein Abgassystem angeordnet sein. Das Abgassystem kann bspw. eine oder mehrere Abgasturbinen einer Turboladerbaugruppe und/oder mindestens eine Abgasnachbehandlungsvorrichtung aufweisen. Das Abgasauslassventil **28** kann mittels jeglicher Technik betätigt werden, z. B. mittels eines zweckmäßig variablen Ventiltriebs.

[0050] Der Kolben **18** ist hin- und her bewegbar in dem Zylinder angeordnet. Der Kolben **18** ist über einen Pleuel **30** mit einer Pleuelwelle **32** verbunden. Der Kolben **18** begrenzt die Hauptbrennkammer **16** nach unten. Der Kolben **18** kann Luft oder eine Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Hauptbrennkammer **16** bei seiner Bewegung vom unteren Totpunkt zum oberen Totpunkt verdichten.

[0051] Der Kraftstoffinjektor **20** ist als ein Gaskraftstoff-Injektor, vorzugsweise ein Methan/Erdgas-Injektor, ausgebildet. Der Kraftstoffinjektor **20** ist als ein Einkraftstoff-Injektor zum Führen eines einzigen Gaskraftstoffs ausgebildet. Der Kraftstoffinjektor **20** ist so angeordnet oder ausgeführt, dass Gaskraftstoff in die Vorkammer **22** zugeführt wird. Vorzugsweise bläst der Kraftstoffinjektor **20** den Gaskraftstoff gasförmig direkt in die Vorkammer **22** ein. Der Kraftstoffinjektor **20** ist zweckmäßig zentral bezüglich der Hauptbrennkammer **16** angeordnet.

[0052] Die Zuführung durch den Kraftstoffinjektor **20** erfolgt zweckmäßig mit einem hohen Druck, zum Beispiel in einem Bereich zwischen 200 bar und 600 bar. Bspw. kann der Kraftstoffinjektor **20** mit einem Gaskraftstoff-Common-Rail fluidisch verbunden sein. Das Gaskraftstoff-Common-Rail kann Gaskraftstoff zu dem Kraftstoffinjektor **20** zuführen.

[0053] Der Kraftstoffinjektor **20** ist dazu ausgebildet, eine Zündmenge und eine Hauptmenge von Gaskraftstoff zu unterschiedlichen Zeitpunkten in die Vorkammer **22** zuzuführen. Der Kraftstoffinjektor **20** kann auf jegliche Art und Weise betätigt sein. Um auch ein Zuführen von Kleinstmengen von Gaskraftstoff zu ermöglichen, ist der Kraftstoffinjektor **20** vorzugsweise ein Piezo-Kraftstoffinjektor, der mittels eines Piezo-

zoelements betätigbar ist. Z. B. kann sich eine Verschlussnadel des Kraftstoffinjektors **20** in Abhängigkeit von einem Zustand eines Piezoelements bzw. Piezokristalls des Kraftstoffinjektors **20** heben oder senken. Es ist bspw. auch möglich, dass der Kraftstoffinjektor **20** mittels eines Elektromagneten betätigbar ist. Zweckmäßig ist eine Betätigung des Kraftstoffinjektors **20** durch eine elektronische Steuereinheit **34** gesteuert.

[0054] Die Vorkammer **22** kann in dem Kraftstoffinjektor **20** integriert sein, wie in **Fig. 1** angedeutet ist. Es ist allerdings auch möglich, die Vorkammer **22** separat zu dem Kraftstoffinjektor **20** auszubilden, wie in **Fig. 2** dargestellt ist. Der Kraftstoffinjektor **20** kann dann bspw. direkt in die Vorkammer **22** münden. Bei getrennter Ausbildung von Vorkammer **22** und Kraftstoffinjektor **20** kann die Vorkammer **22** z. B. zumindest teilweise durch den Zylinderkopf **24**, durch ein an der Brennraumseite des Zylinderkopfes **24** angebrachtes Kappenelement **36** (siehe **Fig. 2**) und/oder durch eine Montagehülse **38** (siehe **Fig. 2**) für den Kraftstoffinjektor **20** gebildet sein. Bei Verwendung des Kappenelements **36** kann dieses bspw. von unten in die Montagehülse **38** eingeschraubt sein.

[0055] Die Vorkammer **22** kann bspw. ein kugeliges, domförmiges oder abgerundetes Innenvolumen aufweisen. Der Gaskraftstoff ist mittels des Kraftstoffinjektors **20** in das Innenvolumen zuführbar. Das Innenvolumen kann zweckmäßig in einem Bereich zwischen $0,5 \text{ cm}^3$ und $2,5 \text{ cm}^3$ liegen.

[0056] Die Vorkammer **22** ist über mehrere Durchgangsöffnungen (Überströmöffnungen) mit der Hauptbrennkammer **16** in Fluidverbindung. Die Durchgangsöffnungen sind zweckmäßig symmetrisch verteilt um einen Umfang der Vorkammer **22** verteilt angeordnet. Bspw. sind sechs bis vierzehn Durchgangsöffnungen umfasst.

[0057] Es ist möglich, dass eine Innenseitenfläche der Vorkammer **22** einen thermischen Isolator **40** aufweist. Der thermische Isolator **40** kann zweckmäßig als eine Beschichtung der Innenseitenfläche ausgeführt sein. Bspw. kann der thermische Isolator **40** aus einem keramischen Material bestehen. Es ist möglich, dass der thermische Isolator **40** bspw. auf die Innenseitenfläche aufgedampft ist, mittels Plasmaauftragen auf die Innenseitenfläche aufgetragen ist oder mittels eines Spritzverfahrens auf die Innenseitenfläche aufgespritzt ist. Der thermische Isolator **40** kann ein Kühlen von Gaskraftstoff in der Vorkammer **22** durch Wände der Vorkammer **22** verhindern oder zumindest verringern.

[0058] In einem Einlasstakt wird (Verbrennungs-) Luft durch den Lufteinlasskanal **12** und das geöffnete Lufteinlassventil **26** in die Hauptbrennkammer **16** zu-

geführt. Der Kolben **18** bewegt sich vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt.

[0059] In Einlass- und/oder Verdichtungstakt wird eine Hauptmenge von Gaskraftstoff über den Kraftstoffinjektor **20** in die Vorkammer **22** zugeführt, vorzugsweise eingeblasen. Bevorzugt wird der Gaskraftstoff nicht länger als bis zu 100°KW vor OT im Verdichtungstakt zugeführt.

[0060] Die Hauptmenge von Gaskraftstoff wird mit einem Druck in die Vorkammer **22** eingeblasen, der höher als ein Druck in der Vorkammer **22** und der Hauptbrennkammer **16** ist, z. B. höher als ein Verdichtungsdruck der Brennkraftmaschine **10**. Bevorzugt entspricht die Hauptmenge von Gaskraftstoff zwischen rund 90 % und rund 98 % einer während eines (einigen) Verbrennungszyklus (bestehend aus Einlass-, Verdichtungs-, Expansions- und Auslastakt) insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge.

[0061] Die Hauptmenge von Gaskraftstoff strömt während des Einlass- und/oder Verdichtungstaktes über die Durchgangsöffnungen aus der Vorkammer **22** in die Hauptbrennkammer **16**. Die Hauptmenge von Gaskraftstoff vermischt sich mit der zugeführten Luft in der Hauptbrennkammer **16** zu einem Luft-Gaskraftstoffgemisch. Während des Verdichtungstaktes / einer Kolbenbewegung des Kolbens **18** vom unteren Totpunkt zum oberen Totpunkt wird das Luft-Gaskraftstoffgemisch zu einem homogenen Gemisch verdichtet, z. B. aufgrund der Gasbewegungen in der Hauptbrennkammer **16**.

[0062] Damit es zu keiner ungewünschten Selbstzündung in der Hauptbrennkammer kommt, sollte das Verfahren vorzugsweise nur bei vergleichsweise niedrigen effektiven Mitteldrücken angewendet werden. Hierbei kann das homogene Gemisch ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) zwischen ca. 2 und ca. 3 erreichen. Aus thermodynamischer Sicht kann das Verfahren somit bevorzugt bis zu einem effektiven Mitteldruck von ca. 10 bar, vorzugsweise ca. 9 bar, besonders bevorzugt ca. 8 bar oder kleiner, angewendet werden. So kann das Verfahren beispielsweise durchgeführt werden, ohne dass das Verbrennungsluftverhältnis (λ) für das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer **16** unter Werte von ca. 2 sinkt.

[0063] Das Luft-Gaskraftstoffgemisch wird, nachdem die Zuführung der Hauptmenge von Gaskraftstoff in die Vorkammer **22** beendet ist, während des Verdichtungstaktes über die Durchgangsöffnungen aus der Hauptbrennkammer **16** in die Vorkammer **22** hineinverdichtet bzw. geschoben.

[0064] Zum Ende des Verdichtungstaktes, bevor der Kolben **18** den oberen Totpunkt erreicht, wird eine Zündmenge von Gaskraftstoff in die Vorkammer **22**

zugeführt, vorzugsweise eingeblasen und/oder unter hohem Druck zugeführt. Die Zuführung erfolgt vorzugsweise zwischen 30°KW und 15°KW vor dem oberen Totpunkt. Die Zuführzeitdauer für die Zündmenge kann vergleichsweise gering sein, z. B. nur 50 µs bis 200 µs.

[0065] Die Zündmenge von Gaskraftstoff wird vorzugsweise mittels desselben Kraftstoffinjektors **20** zugeführt wie die Hauptmenge. Bevorzugt entspricht die Zündmenge von Gaskraftstoff zwischen rund 2 % und rund 10 % einer während eines (einzigen) Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge. Die Hauptmenge und die Zündmenge summieren sich zweckmäßig auf 100 %. Beispielsweise kann zwischen 0,5 mg und 3 mg Gaskraftstoff als Zündmenge zugeführt werden.

[0066] In der Vorkammer **22** bildet sich durch die Zuführung der Zündmenge in das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer **22** ein Luft-Gaskraftstoffgemisch, das fetter und zündfreudiger ist als das Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer **16**. Vorzugsweise wird durch die Zuführung der Zündmenge in der Vorkammer ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) zwischen 0,8 und 1,5, vorzugsweise von ca. 1, in der Vorkammer **22** erreicht. Zumindest im Normalbetrieb der Brennkraftmaschine **10** zündet dieses fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer **22** selbst. Eine dabei entstehende Flammenfront breitet sich aus der Vorkammer **22** durch die Durchgangsöffnungen in die Hauptbrennkammer **16** aus und zündet dort das magerere, homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch. Die folgende homogene Magerverbrennung in der Hauptbrennkammer **16** ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Stickoxidemissionen, insbesondere unter Teillast der Brennkraftmaschine **10**.

[0067] Es ist möglich, dass unter Kaltstartbedingungen der Brennkraftmaschine **10** eine unterstützte Selbst- oder Fremdzündung des Gaskraftstoffs bewirkt wird. Die Selbstzündung der Zündmenge kann bspw. durch eine Glühkerze, die in die Vorkammer **22** ragt, unterstützt werden. Es kann auch eine Fremdzündung durch eine Zündkerze, die in die Vorkammer **22** ragt, bewirkt werden. Die Glühkerze oder Zündkerze wird vorzugsweise nur unter Kaltstartbedingungen der Brennkraftmaschine **10** verwendet.

[0068] Die Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen. Insbesondere beansprucht die Erfindung auch Schutz für den Gegenstand und die Merkmale der Unteransprüche unabhängig von den in Bezug genommenen Ansprüchen. Insbesondere sind die einzelnen Merkmale des unab-

hängigen Anspruchs 1 jeweils unabhängig voneinander offenbart. Zusätzlich sind auch die Merkmale der Unteransprüche unabhängig von sämtlichen Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 offenbart. Alle Bereichsangaben hierin sind derart offenbart zu verstehen, dass gleichsam alle in den jeweiligen Bereich fallenden Werte einzeln offenbart sind, z. B. auch als jeweils bevorzugte engere Außengrenzen des jeweiligen Bereichs.

Bezugszeichenliste

10	Brennkraftmaschine
12	Lufteinlasskanal
14	Abgasauslasskanal
16	Hauptbrennkammer
18	Kolben
20	Kraftstoffinjektor
22	Vorkammer (Vorbrennkammer)
24	Zylinderkopf
26	Lufteinlassventil
28	Abgasauslassventil
30	Pleuel
32	Kurbelwelle
34	Steuereinheit
36	Kappenelement
38	Montagehülse
40	Thermischer Isolator

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 4419429 C2 [0004]
- US 2799255 [0005]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), vorzugsweise einer Einkraftstoff-Brennkraftmaschine, aufweisend eine Hauptbrennkammer (16) und eine Vorkammer (22), die in Fluidverbindung sind, wobei das Verfahren aufweist:

Zuführen einer Hauptmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, über die Vorkammer (22) in die Hauptbrennkammer (16);

Verdichten und Vermischen von Luft und der Hauptmenge von Gaskraftstoff zu einem Luft-Gaskraftstoffgemisch während einer Bewegung eines Kolbens (18) in der Hauptbrennkammer (16) zu einem oberen Totpunkt einer Kolbenbewegung des Kolbens (18); Zuführen einer Zündmenge von Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, in die Vorkammer (22), bevor der Kolben (18) den oberen Totpunkt erreicht, zum Bilden eines Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22), das fetter ist als in der Hauptbrennkammer (16);

Selbstzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22); und

Zünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) durch das selbstgezündete Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22)

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

die Luft und die Hauptmenge von Gaskraftstoff während des Verdichtens zu einem homogenen Luft-Kraftstoffgemisch in der Hauptbrennkammer (16) vermischt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei:

das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) ≥ 2 und/oder ≤ 3 aufweist, sodass vorzugsweise eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) verhindert wird; und/oder

das homogene Luft-Gaskraftstoffgemisch ein Verbrennungsluftverhältnis aufweist, das zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) führt.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, ferner aufweisend:

Verdichten eines Teils des Luft-Gaskraftstoffgemischs aus der Hauptbrennkammer (16) in die Vorkammer (22) hinein während der Bewegung des Kolbens (18) zu dem oberen Totpunkt, vorzugsweise nach dem Zuführen der Hauptmenge von Gaskraftstoff,

wobei die Zündmenge in den Teil des in die Vorkammer (22) hineinverdichteten Luft-Gaskraftstoffgemischs zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22) ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) zwischen

0.8 und 1.5, vorzugsweise von ca. 1, aufweist, sodass vorzugsweise eine Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) ermöglicht wird; und/oder

das fettere Luft-Gaskraftstoffgemisch in der Vorkammer (22) ein Verbrennungsluftverhältnis (λ) aufweist, das zu einer Selbstzündung des fetteren Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) führt.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

die Hauptmenge von Gaskraftstoff zwischen 90 % und 98 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge entspricht; und/oder die Zündmenge von Gaskraftstoff zwischen 2 % und 10 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge entspricht, und/oder die Hauptmenge von Gaskraftstoff und die Zündmenge von Gaskraftstoff sich auf 100 % einer pro Verbrennungszyklus insgesamt zugeführten Gaskraftstoffmenge summieren.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens ≤ 10 bar, vorzugsweise ≤ 9 bar, besonders bevorzugt ≤ 8 bar, ist, sodass vorzugsweise eine Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) verhindert wird; und/oder ein effektiver Mitteldruck des Verfahrens so ist, dass er zu keiner Selbstzündung des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Hauptbrennkammer (16) führt.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

die Zündmenge von Gaskraftstoff im Bereich des oberen Totpunkts der Kolbenbewegung zugeführt wird, vorzugsweise kurz vor Erreichen des oberen Totpunkts und/oder in einem Bereich zwischen 50°KW und 0°KW, vorzugsweise zwischen 30°KW und 15°KW, vor dem oberen Totpunkt.

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

die Hauptmenge und die Zündmenge den gleichen Gaskraftstoff, vorzugsweise Methan oder Erdgas, aufweisen; und/oder

die Hauptmenge von Gaskraftstoff während eines Einlasstaktes und/oder eines Verdichtungstaktes zugeführt wird, vorzugsweise bis maximal 100°KW vor dem oberen Totpunkt; und/oder

das Verfahren ferner ein Zuführen von Luft, in die Hauptbrennkammer (16) aufweist, vorzugsweise während eines Einlasstaktes.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge gasförmig erfolgt; und/oder

das Zuführen der Hauptmenge zeitlich vor und/oder beabstandet zu dem Zuführen der Zündmenge erfolgt; und/oder
 das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge durch denselben Kraftstoffinjektor (20) erfolgt, vorzugsweise durch dieselbe Zufuhrleitung desselben Kraftstoffinjektors (20); und/oder
 das Zuführen der Zündmenge und das Zuführen der Hauptmenge mit demselben Zufuhrdruck erfolgen.

Ausführen eines Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche ausgeführt ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

das Zuführen der Zündmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge durch einen Piezo-Kraftstoffinjektor (20) erfolgt; oder
 das Zuführen der Pilotmenge und/oder das Zuführen der Hauptmenge durch einen mittels eines Elektromagneten betätigten Kraftstoffinjektor (20) erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

eine Innenseitenfläche der Vorkammer (22) einen thermischen Isolator (40) aufweist, vorzugsweise in Form einer thermisch isolierenden Beschichtung.

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

der Schritt des Selbstzündens des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) während eines Normalbetriebs der Brennkraftmaschine (10) durchgeführt wird; und das Verfahren ferner aufweist:
 - Fremdzünden des Luft-Gaskraftstoffgemischs in der Vorkammer (22) durch eine Zündkerze bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine (10); oder
 - Vorheizen der Vorkammer (22) durch eine Glühkerze und Selbstzündens des des Luft-Gaskraftstoffgemisch in der vorgeheizten Vorkammer (22) bei einem Kaltstart der Brennkraftmaschine (10).

14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei:

die Vorkammer (22) ein Volumen in einem Bereich zwischen $0,5 \text{ cm}^3$ und 2 cm^3 aufweist; und/oder
 die Vorkammer (22) durch mehrere Durchgangsöffnungen, vorzugsweise 6 bis 14 verteilt angeordnete Durchgangsöffnungen, mit der Hauptbrennkammer (16) verbunden ist; und/oder
 die Vorkammer (22) in einem Kraftstoffinjektor (20) für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge integriert ist, oder die Vorkammer (22) separat zu einem Kraftstoffinjektor (20) für die Zündmenge und/oder die Hauptmenge ausgebildet ist; und/oder die Vorkammer (22) zentral bezüglich der Hauptbrennkammer (16) angeordnet ist.

15. Brennkraftmaschine (10) oder Kraftfahrzeug, vorzugsweise Nutzfahrzeug, mit einer Brennkraftmaschine (10), wobei die Brennkraftmaschine (10) zum

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

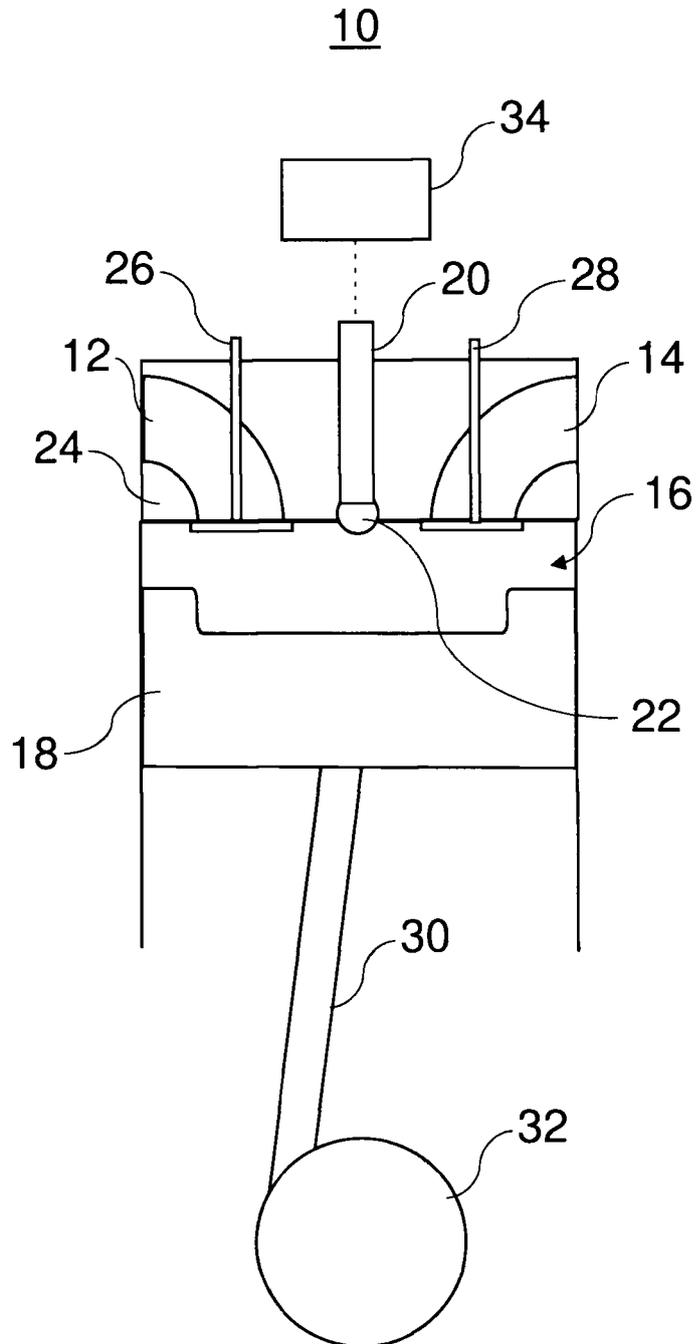


FIG. 2

