

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 2062/2007

(22) Anmeldetag: 19.12.2007

(45) Veröffentlicht am: 15.09.2009

(51) Int. Cl.⁸: **F02P 23/04**

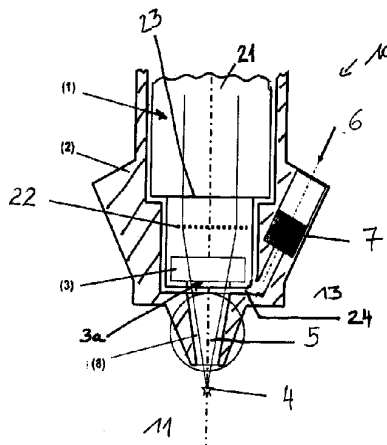
(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 9250438 JP 8165978

(73) Patentinhaber:
GE JENBACHER GMBH & CO OHG
A-6200 JENBACH (AT)

(54) **VORRICHTUNG ZUR ZÜNDUNG EINES BRENNSTOFF/LUFTGEMISCHS IM BRENNRAUM EINER BRENNKRAFTMASCHINE**

(57) Vorrichtung (10) zur Zündung eines Treibstoff/Luftgemischs im Brennraum (11) einer Brennkraftmaschine, wobei der Brennraum mindestens ein Einlassventil (34) und mindestens ein Auslassventil (35) aufweist, wobei weiters eine Laserlichterzeugungseinrichtung (1) zur Abgabe von Laserlicht und ein Brennraumfenster (3) zum Einkoppeln des Laserlichts in einen Brennraum (11) der Brennkraftmaschine vorgesehen sind, wobei zumindest eine von dem bzw. den Einlassventil(en) (34) gesonderte Fluidzufuhreinrichtung (6) vorgesehen ist, mit der ein Fluid zumindest auf Bereiche der Oberfläche des Brennraumfensters (3) oder zwischen Brennraumfenster (3) und Brennpunkt (4) des Laserlichtes strömbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Zündung eines Brennstoff/Luftgemischs im Brennraum einer Brennkraftmaschine, wobei der Brennraum mindestens ein Einlassventil und mindestens ein Auslassventil aufweist, wobei weiters eine Laserlichterzeugungseinrichtung zur Abgabe von Laserlicht und ein Brennraumfenster zum Einkoppeln des Laserlichts in einen Brennraum der Brennkraftmaschine vorgesehen sind. Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere Gasmotor, unter Verwendung einer Laserlichterzeugungseinrichtung, welche Laserlicht in einen Brennraum der Brennkraftmaschine einbringt, wobei die Laserlichterzeugungseinrichtung ein Brennraumfenster aufweist, über welches das Laserlicht in den Brennraum eingebracht wird. Schließlich betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine mit einer Vorrichtung der vorgenannten Art.

[0002] Die Laserzündung ist ein, sich in Entwicklung befindliches Zündsystem für ottomotorisch betriebene Brennkraftmaschinen, das auf dem Prinzip beruht, dass ein intensiver Laserimpuls im Brennraum der Brennkraftmaschine auf einen Brennpunkt konzentriert wird, wobei durch die im Brennpunkt bzw. Fokus auftretenden, extrem hohen Feldstärken des Laserlichtstrahles das Gas ionisiert und in der Folge auf Plasmatemperaturen (mehrere 1000 Grad Kelvin) aufgeheizt wird. Durch die Fokussierung des Laserlichtstrahls auf den Brennpunkt wird (werden) dort der (die) Zündfunke(n) generiert. Der dabei entstehende Plasmafunke entzündet in ähnlicher Weise wie bei der konventionellen Funkenzündung, bei welcher der Funke durch elektrischen Überschlag zwischen zwei Elektroden erzeugt wird, das Treibstoff / Luft-Gemisch.

[0003] Zur Erzeugung des Laserlichtimpulses gibt es unterschiedliche Konzepte. Ein bevorzugtes Konzept besteht darin, dass über eine Pumplichtquelle (z.B. einem Halbleiterlaser) der Zündlaser, der den Zündimpuls erzeugt, über eine optische Faser longitudinal gepumpt, bis die Aktivierungsenergie ein Niveau erreicht, das für das Anschwingen und den Durchbruch des Zündlaserpulses erforderlich ist. Der Strahl des Pulslasers wird über eine geeignete Optik, die aus einer Fokussiereinrichtung und einem Übertrittsfenster (Brennraumfenster) besteht, in den Brennraum eingeleitet. Die Einkoppeloptik des Laserpulses in den Brennraum des Motors besteht aus einem geeigneten Linsensystem sowie dem sogenannten Brennraumfenster, das das letzte optische Element vor dem Strahleintritt in den Brennraum darstellt.

[0004] Der Vorteil der Laserzündung gegenüber der herkömmlichen Funkenzündung besteht unter Anderem darin, dass der Zündfunke frei in der Tiefe des Brennraumes gelegt werden kann, wo optimale Entflammungsbedingungen bestehen. Im Gegensatz dazu erfolgt die Verbrennungseinleitung bei der konventionellen Funkenzündung in unmittelbarer Brennraumwandnähe, wobei die flächigen, den Zündfunken begrenzenden Elektroden die Flammkernbildung behindern. Die Energie des Laserfunkens kann durch Anhebung der Leistung des Lasersystems stark gesteigert werden, ohne dass sich dadurch ein erhöhter Verschleiß ergibt, wie es bei der Funkenzündung im Hinblick auf den Elektrodenverschleiß gegeben ist.

[0005] Ein weiterer Vorteil der Laserzündung ist, dass mit zunehmender Motorleistung die erforderliche Mindestpulsenergie (das ist jene Energie des Plasmafunkens, die zur Entflammung des Treibstoff-Luftgemisches minimal erforderlich ist) abnimmt. Demgegenüber stoßen die konventionellen Funkenzündsysteme bei den in Zukunft geplanten Motorleistungen zusehends an deren Systemgrenzen. Insbesondere bei stationären Großmotoren, vorzugsweise Gasmotoren, die im vorliegenden Fall ein bevorzugtes Einsatzgebiet darstellen, muss ein Dauereinsatz sowohl von Motor als auch von Zündeinrichtung mit langen Laufzeiten ermöglicht sein, um Standzeiten beispielsweise zum Austausch von Zündeinrichtungen möglichst kurz zu halten.

[0006] Zu den Hauptproblemen bei der Realisierung und serienmäßigen Umsetzung der Laserzündung zählt unter anderem die Gewährleistung bzw. Beibehaltung der optischen Eigenschaften des Brennraumfensters über die Laufzeit der Brennkraftmaschine. Speziell bei der brennraumseitigen Grenzfläche des Brennraumfensters können hohe thermochemische Belastungen und die Ablagerung fester Rückstände aus der Verbrennung zur Trübung der Oberfläche füh-

ren, wodurch sowohl der Strahl geschwächt, d.h. teilweise absorbiert als auch gestreut wird, was entweder zu einer erheblichen Reduktion der Energie des Plasmafunken oder aber auch zum Ausbleiben des Plasmafunken führt.

[0007] Diesem Problem begegnet man üblicherweise damit, dass durch hohe Pulsenergien zum Einen Reserven für laufzeitbedingte Abschwächungen und Verluste geschaffen werden, und zum Anderen durch die hohen Pulsleistungen ein Freibrenneffekt der Fensteroberfläche erzielt wird. Der Nachteil dieser Vorgangsweise besteht in den erheblichen Mehrkosten für die erforderliche hohe Laserleistung und in der hohen spezifischen Belastung der Oberfläche, an der das Freibrennen erfolgt. In der JP 9250438 wird Luft in den Strahlengang einer Laserzündeinrichtung eingebracht. Die JP 9165978 zeigt, dass Treibstoff auf ein Brennraumfenster gesprüht wird.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung der eingangs genannten Gattung sowie ein Verfahren der eingangs genannten Gattung bereitzustellen, mit denen die Nachteile des Standes der Technik verringert sind. Insbesondere sollen Ablagerungen im brennraumseitigen Bereich des Brennraumfensters verringert werden.

[0009] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. durch ein Verfahren gemäß Anspruch 10 gelöst.

[0010] Vorgesehen ist also eine Vorrichtung zur Zündung eines Treibstoff/Luftgemisches im Brennraum einer Brennkraftmaschine, wobei der Brennraum mindestens ein Einlassventil und mindestens ein Auslassventil aufweist, wobei weiters eine Laserlichterzeugungseinrichtung zur Abgabe von Laserlicht und ein Brennraumfenster zum Einkoppeln des Laserlichts in einen Brennraum der Brennkraftmaschine vorgesehen sind, gekennzeichnet durch zumindest eine von dem bzw. den Einlassventil(en) gesonderte Fluidzufuhreinrichtung mit der ein Fluid zumindest auf Bereiche der Oberfläche des Brennraumfensters oder zwischen Brennraumfenster und Brennpunkt des Laserlichtes strömbar ist. Daneben ist ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere Gasmotor, vorgesehen, unter Verwendung einer Laserlichterzeugungseinrichtung, welche Laserlicht in einen Brennraum der Brennkraftmaschine einbringt, wobei die Laserlichterzeugungseinrichtung ein Brennraumfenster aufweist, über welches das Laserlicht in den Brennraum eingebracht wird, wobei im Betrieb der Brennkraftmaschine ein vom Treibstoff gesondertes Fluid auf das Brennraumfenster oder zwischen Brennraumfenster und Brennpunkt des Laserlichtes geleitet wird.

[0011] Mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es möglich, ein Fluid ständig auf das Brennraumfenster und zwar an die brennraumseitige Grenzfläche des Brennraumfensters strömen zu lassen bzw. zwischen Brennpunkt und Brennraumfenster strömen zu lassen, so dass sich Ablagerungen, die sich durch die Verbrennung des Treibstoff/Luftgemisches bilden, nicht am Brennraumfenster ablagern können. Dadurch wird das Brennraumfenster brennraumseitig von Ablagerungen freigehalten und der Laser kann mit geringerer Leistung betrieben werden, da es keine Störabsorption durch Ablagerungen am Brennraumfenster gibt. Auch ist es nicht notwendig, den Laser mit einer Leistung zu betreiben, der Ablagerungen am Brennraumfenster wieder abträgt bzw. Freibrennt. Insgesamt erhöht diese Maßnahme die Lebensdauer der gesamten Vorrichtung in hohem Grad. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, das Fluid auf das Brennraumfenster (und zwar auf die brennraumseitige Grenzfläche des Brennraumfensters) bzw. den Bereich zwischen Brennraumfenster und Brennpunkt des Laserlichtes strömen zu lassen. Günstigerweise ist vorgesehen, dass das Fluid mit dem Laserlicht keine oder nur minimale Wechselwirkungen eingeht, sodass das Fluid im bevorzugten Fall ein Gas, besonders bevorzugt Luft oder ein Inertgas ist. Als Inertgas ist im vorliegenden Fall ausreichend, wenn die Wechselwirkung mit dem Laserlicht zu keiner chemischen Reaktion führt. Bei einem Treibstoff/Luftgemisch im richtigen Mischungsverhältnis führt die Wechselwirkung zu einer Zündung, sodass ein solches Fluid ungeeignet wäre, während Luft, die im herkömmlichen Sinne aufgrund des hohen Sauerstoffgehaltes nicht als Inertgas angesehen werden kann, im gegenständlichen Fall durchaus ein Inertgas sein kann, da Luft im Regelfall mit Laserlicht alleine nicht zur Reaktion gebracht wird, bzw. nur in einem geringen, nicht störenden Ausmaß.

Insgesamt hängt dies laserlichtseitig z.B. von den Lichtintensitäten, Wellenlängen und Pulsdauern ab, sodass der Durchschnittsfachmann in der Lage ist, ein geeignetes Fluid auszuwählen. Als Inertgas kämen beispielsweise CO₂, Stickstoff, Edelgas oder Mischungen daraus in Frage. Geringe Lichtabsorption durch das Fluid kann in Kauf genommen werden.

[0012] Aufgrund der im Brennraum hohen Drücke ist bevorzugt vorgesehen, dass das Fluid - vorzugsweise Gas - mit einem Druck, der über dem Ladedruck bzw. dem Fülldruck des Brennraums liegt, eingeströmt wird. Im Idealfall liegt der Überdruck zumindest 1 bar über dem Ladedruck. Durch eine solche Wahl des Druckes kann den hohen Drücken im Brennraum entgegen gewirkt werden, sodass die Diffusion der Verbrennungsrückstände hin zum Brennraumfenster in hohem Maße verringert werden.

[0013] Günstigerweise ist vorgesehen, dass die Fluidzufuhreinrichtung zumindest eine Fluidaustrittsöffnung aufweist. Dadurch ist es möglich, durch eine oder mehrere gezielte Fluidaustrittsöffnung(en) die Strömung des Fluids in die gewünschten Bereiche zu leiten.

[0014] Weiters kann vorgesehen sein, dass die Fluidzufuhreinrichtung ein Ventil zur Fluiddosierung aufweist. Mittels eines Ventils lässt sich die Menge an Fluid optimal dosieren. Im Falle, dass das Ventil als Rückschlagventil ausgebildet ist, ist ein Rückstrom von Gasen aus dem Brennraum unterbunden. Im Falle, dass das Ventil als Dosierventil ausgebildet ist, ist die Menge und der Druck des Fluids optimal regulierbar.

[0015] Weiters ist vorgesehen, dass die Vorrichtung eine Vorkammer aufweist, welche zumindest bereichsweise zwischen Brennraumfenster und Brennpunkt des Laserlichtes angeordnet ist. Durch diese Maßnahme lässt sich der Bereich, in den das Fluid zwischen Brennraumfenster und Brennpunkt geströmt wird, räumlich optimal regulieren. Außerdem ist der Gasstrom aus dem Brennraum hin zum Brennraumfenster aufgrund der räumlichen Begrenzung verringert. Dabei ist günstigerweise vorgesehen, dass die Vorkammer zwischen Brennraumfenster und Brennpunkt des Laserlichtes angeordnet ist, wodurch der Bereich, der durch Gasfluid durchströmt wird, klar definiert ist. Es hat sich gezeigt, dass eine solche Vorkammer die benötigte Fluidmenge reduziert, gegebenenfalls kann die Fluidzufuhr im Betrieb auch zeitweise unterbrochen werden.

[0016] Schließlich ist vorgesehen, dass die Vorrichtung eine weitere Vorkammer aufweist, welche die erste Vorkammer zumindest bereichsweise umschließt. Hierbei lassen sich wiederum zwei vorteilhafte Varianten unterscheiden. Im ersten Fall dient die zweite Vorkammer dazu, die erste Vorkammer vor Gasstrom aus dem Brennraum noch besser abzuschirmen und turbulente Strömung zu verringern. Im zweiten Fall kann vorgesehen sein, dass in die zweite Vorkammer ein Fluid einbringbar ist. In diesem Fall kann in einer weiteren Ausführungsvariante vorgesehen sein, dass das Fluid, welches in die zweite Vorkammer einbringbar ist, ein Luft/Treibstoffgemisch ist, welches bevorzugt ein niedrigeres Lambda λ (Verhältnis von Luft zu Treibstoff) aufweist, als das Lambda λ im Brennraum. So kann der zweite Vorkammerbereich mit höherem Treibstoffgehalt zur Vorzündung benützt werden, der anschließend die eigentliche Zündung des mageren Gemisches im Brennraum initiiert. Dabei kann vorgesehen sein, dass der Brennpunkt des Laserlichtes im Randbereich oder im Zentralbereich der zweiten Vorkammer angeordnet ist.

[0017] Der erfindungsgemäße Lösungsvorschlag beruht insbesondere darauf, dass das Brennraumfenster nicht direkt den Verbrennungsgasen ausgesetzt wird, sondern durch einen Fluidpolster - im einfachsten Fall ein Luftpolster - von den Verbrennungsgasen getrennt ist. Dabei kann der Laserstrahl nach Durchtritt durch das Brennraumfenster durch eine beispielsweise zylindrische, mit Fluid (z.B. Luft) gespülte Vorkammer geleitet werden. Der Brennpunkt des Strahlenganges ist vor oder im Übertrittsbereich der Vorkammer zum Hauptbrennraum oder bereits direkt im Hauptbrennraum. Die Vorkammer kann während der Ladungswechselphase des Zylinders mit Fluiden, wie (Press-)Luft oder mit einem anderen geeigneten Inertgas gespült werden.

[0018] Demgemäß ist es günstig, wenn der Versorgungsdruck des Spülgases deutlich über

dem Ladedruck bzw. Fülldruck des Motors liegt (z.B. > 1 bar über Ladedruck).

[0019] Durch diese Maßnahme wird zum einen das Brennraumfenster zwischen den Arbeitstakten freigeblasen und gekühlt, zum anderen wird durch Vorlage eines Luftpolsters das Brennraumfenster vor der Einwirkung der Flamme bzw. den heißen Verbrennungsgasen geschützt. Die Verbrennungsrückstände können sich damit nicht mehr oder nur noch in sehr geringem Ausmaß an der Oberfläche des Fensters ablageren.

[0020] Weitere Vorteile und Details der Erfindung ergeben sich aus den Figuren und Figurenbeschreibungen. Es zeigen im Querschnitt

[0021] Fig. 1 eine Übersicht über einen Zylinder einer Brennkraftmaschine mit Laserlichterzeugungsvorrichtung,

[0022] Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung mit einfacher Vorkammer,

[0023] Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung mit einfacher Vorkammer, jedoch unterschiedlicher Geometrie,

[0024] Fig. 4 ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung mit zwei Vorkammern und

[0025] Fig. 5 ein zweites Ausführungsbeispiel mit zwei Vorkammern, wobei die zweite Vorkammer zur Zündung des Luft/Treibstoffgemisches im Brennraum vorgezündet wird.

[0026] In Fig. 1 ist ein grob schematischer Überblick über einen Zylinder 30 einer Brennkraftmaschine gegeben, der einen Kolben 31 in an sich bekannter Bauart aufweist. Der Kolben verdichtet über den Einlass 36 und das Einlassventil 34 eingelassenen Treibstoff in der Brennkammer 11 des Zylinders 30. Eine Laserlichterzeugungsvorrichtung 1 erzeugt einen zündfähigen Laserstrahl, der am Brennpunkt 4 einen Zündfunken erzeugt. Die Laserlichterzeugungsvorrichtung 1 wird von einer Pumplichtquelle 32 und über einen Lichtleiter 33 gepumpt bis ein entsprechender Laserpuls zum Zünden des Treibstoff/Luftgemisches in den Brennraum 11 abgegeben wird. Nach der Zündung des Treibstoff/Luftgemisches wird das verbrannte Gas über den Treibstoffauslass 37 und das Auslassventil 35 aus der Brennkammer 11 ausgeschieden.

[0027] In Fig. 2 ist ein Querschnitt durch den vorderen Abschnitt eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung skizziert, wo eine Laserlichterzeugungsvorrichtung (Laserzündkerze) 1 in eine Vorkammerhülse 2 eingesetzt, vorzugsweise eingeschraubt ist. Die Laserlichterzeugungsvorrichtung 1 ist wie an sich bekannt ausgeführt, sodass an dieser Stelle nur kurz auf die bekannten Teile eingegangen wird. Der von einer nicht gezeigten Pumplichtquelle gespeiste Resonator 21 weist (in der Fig. 2 unten dargestellt) einen Auskoppelspiegel 23 auf, über welchen das Laserlicht 8 (dargestellt in Form von äußeren Begrenzungsstrahlen) zur Fokussiervorrichtung 22 aus dem Resonator 21 ausgekoppelt wird. Die Fokussiervorrichtung 22 (hier vereinfacht über die optische Achse angedeutet) kann eine Linse oder ein Linsensystem sein und fokussiert das Laserlicht 8 auf den Brennpunkt 4, der hier mit dem Zündpunkt, an dem sich der Plasmafunke bildet, zusammenfällt.

[0028] Eine Vorkammerhülse 2 umschließt die Laserzündkerze 1 bis auf den Strahlengang 8 des Laserlichtpulses. Anstatt einer separaten Vorkammerhülse 2 ist auch denkbar, den Zylinderkopf der Brennkraftmaschine an der Stelle des Laserlichteintrittes als Vorkammer auszubilden. Der freie Querschnitt im Strahlengang des Laserlichtes 8 ist die hier sich in Richtung Brennraum 11 verengende Vorkammer 5. Die Vorkammer 5 ist hier also eine Art Pyramidenstumpf, wobei der Brennpunkt 4 hier knapp außerhalb der Vorkammer 5 liegt. Die Vorkammer 5 erstreckt sich im vorliegenden Fall auch zwischen Vorkammerhülse 2 und Laserlichterzeugungsvorrichtung 1 etwa spaltförmig bis zur Fluidzufuhreinrichtung 6. Es bildet sich so ein seitlicher Kanal 24. Das Fluid (z.B. Pressluft) wird über eine Zufuhrbohrung 6 (in der Zeichnung von seitlich rechts oben nach links unten) in die Vorkammer 5 eingeleitet. Durch Vorsehen eines Ventils 7, beispielsweise eines Rückschlagventils (hier gezeigt) oder eines getakteten Magnetventils in der Zufuhrbohrung wird ein Rückströmen während des Verdichtungs- und Arbeitstaktes unterbunden. Der Fluidstrom erfolgt im Ausführungsbeispiel entlang des Kanals 24 bzw. dem Spalt zwischen Laserlichterzeugungsvorrichtung 1 und der Vorkammerhülse und zwar in

der Art, dass ein Fluidstrom zwischen brennraumseitige Grenzfläche 3a des Brennraumfensters 3 und Brennpunkt 4 einströmbar ist.

[0029] Im Brennpunkt 4 bildet sich der Plasmafunke, hier im Ausführungsbeispiel ist dieser außerhalb der konusförmigen Vorkammer 5 eingezeichnet, prinzipiell könnte der Plasmafunke aber auch innerhalb des Konus gezündet werden, da die Vorkammer 5 im vorderen Bereich, insbesondere im brennraumseitigen Bereich - abhängig vom Druck durch den Verdichtungshub des Kolbens - mit Treibstoff/Luftgemisch bereichsweise gefüllt ist.

[0030] Der Vorteil der Positionierung des Plasmafunkens außerhalb der Vorkammer 5 in Verbindung mit der speziellen Formgebung der Vorkammer 5 besteht darin, dass hochenergetische Radikale, die durch den Laserimpuls im Plasma erzeugt werden, durch die Strömungskomponenten der Zylinderladung (z.B. Drall- und/oder Quetschflächenströmung) von der Vorkammer 5 wegdriften und damit das Brennraumfenster 3 nicht mehr erreichen können.

[0031] In Fig. 3 ist eine Modifikation der Variante der Fig. 2 dargestellt, wobei die Form der Vorkammer 5 um 180 ° gedreht ist. Da die Komponenten der Fig. 2 bis 5 weitestgehend identisch sind, wird auf bereits anhand der Fig. 1 erläuterte Merkmale nicht näher eingegangen sondern auf Fig. 2 verwiesen. Im Beispiel der Fig. 3 weitet sich die Vorkammer 5 von innen (d.h. vom Brennraumfenster 3 ausgehend in Richtung Hauptbrennraum) auf, stellt also einen pyramidenstumpf in umgekehrter Richtung dar, d.h., dass die kleinere Begrenzungsfläche des Pyramidenstumpfes zum Brennraumfenster 3 orientiert ist. In dieser Ausführung könnte der Brennpunkt 4 und damit auch der Plasmafunke ohne Nachteile für die Flammausbreitung weiter nach innen, d.h. in die Vorkammer 5 hinein verlegt werden. Der Vorteil dieser Anordnung kommt insbesondere bei Laserkonzepten zum Tragen, wo mehrere, räumlich getrennte Plasmafunken bzw. Brennpunkte 4 über ein und dieselbe Einkoppeloptik 22 erzeugt werden.

[0032] In Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel mit zwei Vorkammern 5, 9 dargestellt. Die innere Kammer 5 entspricht der Vorkammer 5 der Varianten der Fig. 2 bzw. 3. Diese schirmt im Wesentlichen das Brennraumfenster 3 bzw. die brennraumseitige Grenzfläche 3a des Brennraumfensters 3 von der Flammenfront bzw. den Verbrennungsgasen ab, indem die Fluidspülung an der inneren Vorkammer 5 ansetzt. Die äußere Kammer 9 dient der Optimierung der Gemischentflammung und des Flammenfortschrittes, wobei durch definierte Bedingungen in Bezug auf die Temperatur und die Strömungsverhältnisse in diesem Teil ein Vorkammereffekt erzielt wird. Der Plasmafunke kann gezielt auf eine optimale Position gelegt werden (innerhalb, an der Öffnung oder Außerhalb der inneren oder äußeren Vorkammer).

[0033] In Fig. 5 ist schließlich eine aufwendigere Variante gezeigt, wobei neben der Vorkammer 5 wieder - wie bei Variante der Fig. 4 - eine zweite, äußere Vorkammer 9 vorgesehen ist. Die innere Vorkammer 5 wird zum Schutz des Brennraumfensters 5 mit Fluid gespült, die äußere Vorkammer 9 dient zur Optimierung der Gemischentflammung, die zum Unterschied zu Variante 3 hier mit Treibstoff bzw. Treibstoff/Luftgemisch 10 gespült wird, um eine Auffettung dieses Brennraumteiles zu erreichen. Die Fluidzufuhr an der äußeren Vorkammer 9 erfolgt über einen gesonderten Einlass 25. Die Bezeichnung Spülung bei der äußeren Vorkammer 9 muss nicht bedeuten, dass das gesamte Kammervolumen mit Treibstoff, Treibstoff/Luftgemisch bzw. Treibstoff-Inertgas-Gemisch geflutet bzw. gespült wird, sondern es kann auch ein kleineres Volumen der äußeren Vorkammer 9 damit ausgefüllt werden. Gespülte Vorkammern 9 werden bevorzugt bei großvolumigen Gas-Magermotoren eingesetzt, da durch die idealen Entflammungsbedingungen in diesen Vorkammern 9 sowie durch den intensiven Zündstrahl (Zündfackel), der nach Entflammung des Vorkammervolumens in den Hauptbrennraum 11 eingeleitet wird, sehr mageren Gemische mit hoher Zündsicherheit und mit relativ hohen Energieumsatzraten verbrannt werden können. Denkbar wäre es aber auch die äußere Brennkammer 9 mit dem Fluid so zu spülen, dass ein Strom des Fluids zwischen Brennraumfenster 3 und Brennpunkt 4 zustande kommt. In diesem Fall müsste der Brennpunkt 4 entsprechend weiter in den Brennraum 11 verlagert werden.

[0034] Der Vorteil der Anordnung der Fig. 5 liegt darin, dass im Brennpunkt 4 mittels des Plasmafunkens das Treibstoff/Luftgemisch in einem nahezu stöchiometrischen Gemisch gezündet

werden kann. Gegenüber sehr mageren Gemischen (beispielsweise λ bei ≈ 1.7) ist bei einem stöchiometrischen Gemisch nur ein Bruchteil (z.B. 10 %) der minimalen, zur Gemischentflammung erforderlichen Pulsernergie notwendig. Beispielsweise könnte hier mit Pulsenergien von weniger als 1 mJ gearbeitet werden, was nicht nur sehr kostengünstige Lasersysteme ermöglicht, sondern wodurch auch kein „Laserbeschichtungseffekt“ mehr auftreten könnte. (Laserbeschichtungseffekt wird die verstärkte Verschmutzung der brennraumseitigen Oberfläche des Brennraumfensters durch die Einwirkung von Laserlicht oberhalb einer bestimmten Schwellintensität und unterhalb der Freibrennintensität genannt).

[0035] Bei der Ausführungsvariante gemäß Fig. 5 kann vorgesehen sein, dass der Brennpunkt bzw. der Plasmafunke in einem Bereich der Vorkammer gezündet wird, wo das Treibstoff-Luftgemisch ein nahezu stöchiometrisches Verbrennungsluftverhältnis aufweist.

[0036] Bei den gezeigten Ausführungsbeispielen erfolgt die Fluidzufuhr über Fluidzufuhreinrichtungen 6 bzw. 25. Diese sind mit Fluidquellen verbunden (nicht gezeigt). Die Fluidzufuhreinrichtung 6 ist von den Einlassventilen bzw. Auslassventilen gesondert. Die Einlassventile im herkömmlichen Sinn insbesondere für den Treibstoff, sind an anderer Stelle im Brennraum angeordnet. Der Treibstoff wird günstigerweise zum Brennpunkt 4 oder in den Brennraum 11 eingeleitet, nicht aber an das Brennraumfenster 3.

[0037] Für alle Ausführungsbeispiele kann vorgesehen sein, dass der Laserpuls eine Energie von 0,5 - 1,5 mJ aufweist. Somit kann das Laserzündsystem für diese Pulsenergien ausgelegt sein.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zur Zündung eines Treibstoff/Luftgemischs im Brennraum (11) einer Brennkraftmaschine, wobei der Brennraum mindestens ein Einlassventil (34) und mindestens ein Auslassventil (35) aufweist, wobei weiters eine Laserlichterzeugungseinrichtung (1) zur Abgabe von Laserlicht und ein Brennraumfenster (3) zum Einkoppeln des Laserlichts in einen Brennraum (11) der Brennkraftmaschine zumindest eine von dem bzw. den Einlassventil(en) (34) gesonderte Fluidzufuhreinrichtung (6), mit der ein Fluid zumindest auf Bereiche der Oberfläche des Brennraumfensters (3) oder zwischen Brennraumfenster (3) und Brennpunkt (4) des Laserlichtes strömbar ist und eine Vorkammer (5), welche zumindest bereichsweise zwischen Brennraumfenster (3) und Brennpunkt (4) des Laserlichtes angeordnet ist, vorgesehen sind, **gekennzeichnet durch** eine weitere Vorkammer (9), welche die erste Vorkammer (5) zumindest bereichsweise umschließt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fluidzufuhreinrichtung (6) zumindest eine Fluidaustrittsöffnung (13) aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fluidzufuhreinrichtung (6) ein Ventil (7) zur Fluiddosierung aufweist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventil (7) als Rückschlagventil ausgebildet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventil (7) als Dosierventil ausgebildet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (5) zwischen Brennraumfenster (3) und Brennpunkt (4) des Laserlichtes angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass in die zweite Vorkammer (9) ein Fluid einbringbar ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid, welches in die zweite Vorkammer (9) einbringbar ist, ein Luft / Treibstoffgemisch ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch eine Druckerzeug-

gungsvorrichtung, zur Druckerhöhung des Fluids.

10. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere Gasmotor, unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Laserlichterzeugungseinrichtung (1) Laserlicht in einen Brennraum (11) der Brennkraftmaschine einbringt, wobei die Laserlichterzeugungseinrichtung (1) ein Brennraumfenster (3) aufweist, über welches das Laserlicht in den Brennraum (11) eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Betrieb der Brennkraftmaschine ein vom Treibstoff gesondertes Fluid auf das Brennraumfenster (3) oder zwischen Brennraumfenster (3) und Brennpunkt des Laserlichtes geleitet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid ein Gas ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas Luft ist.
13. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas ein Inertgas ist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid unter Druck steht.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass in die zweite Vorkammer (9) ein Luft/Treibstoffgemisch mit einem λ_2 unterschiedlich dem λ_1 im Brennraum (11) eingebracht wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis Luft / Treibstoff λ_2 in der Vorkammer (9) niedriger ist, als das Verhältnis Luft / Treibstoff λ_1 im Brennraum (11).
17. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Luft / Treibstoffgemisch in der Vorkammer (9) durch das Laserlicht vorgezündet wird, welches dann das Luft/Treibstoffgemisch im Brennraum (4) zündet.
18. Brennkraftmaschine mit einer Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

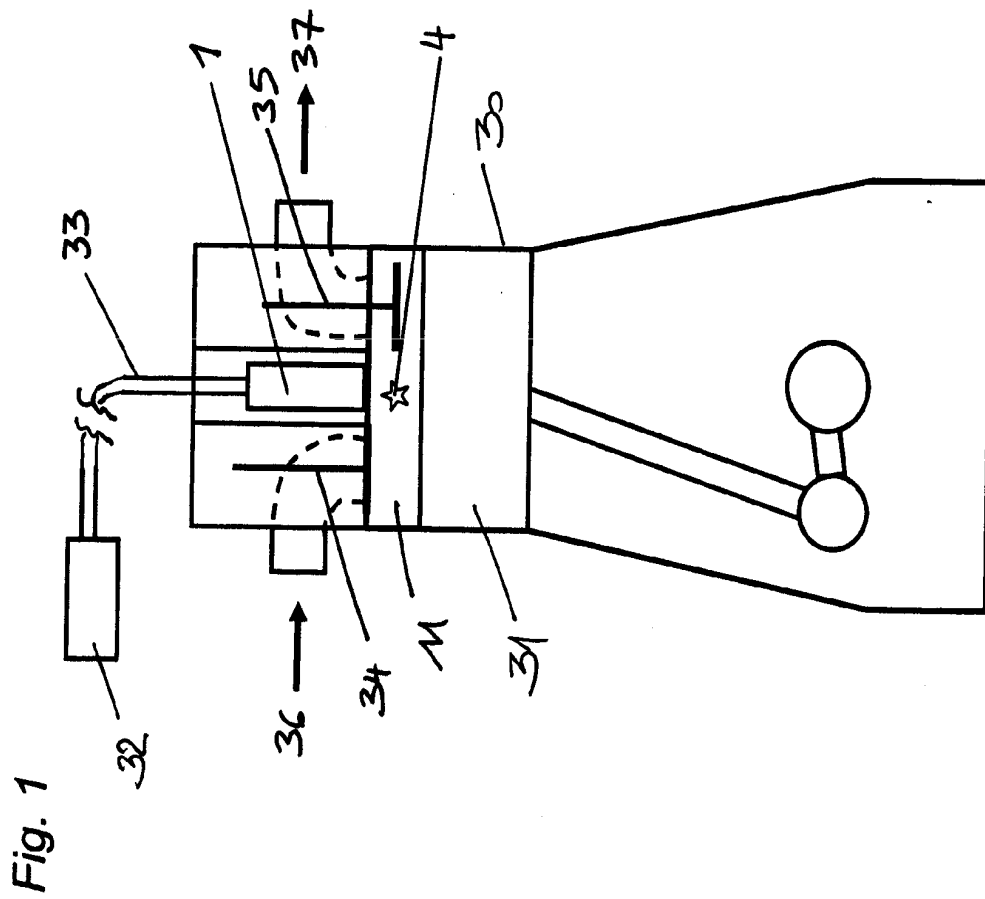


Fig. 2

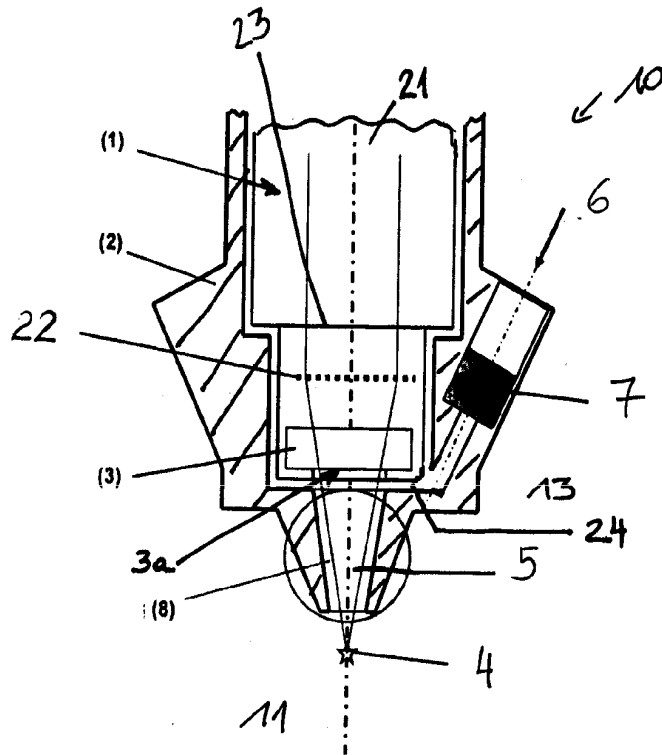


Fig. 3

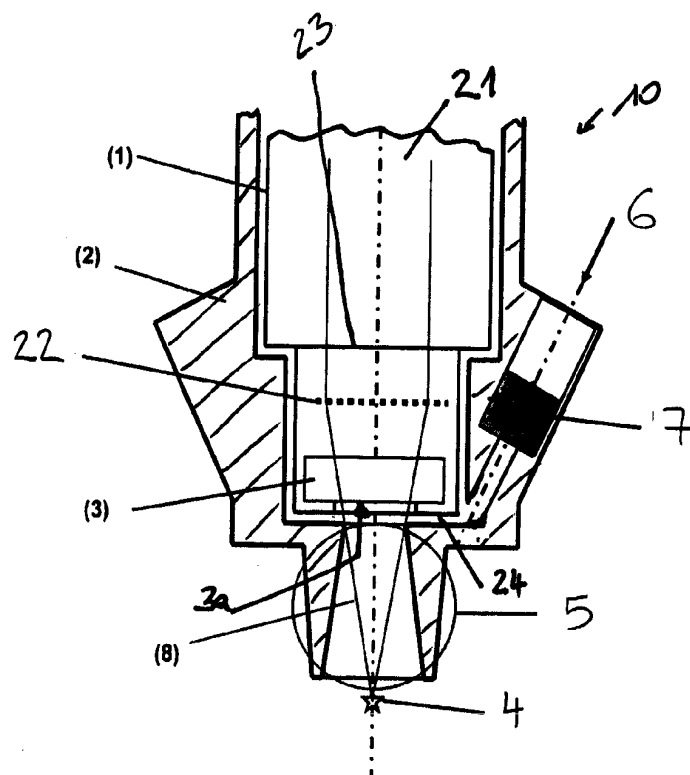


Fig. 4

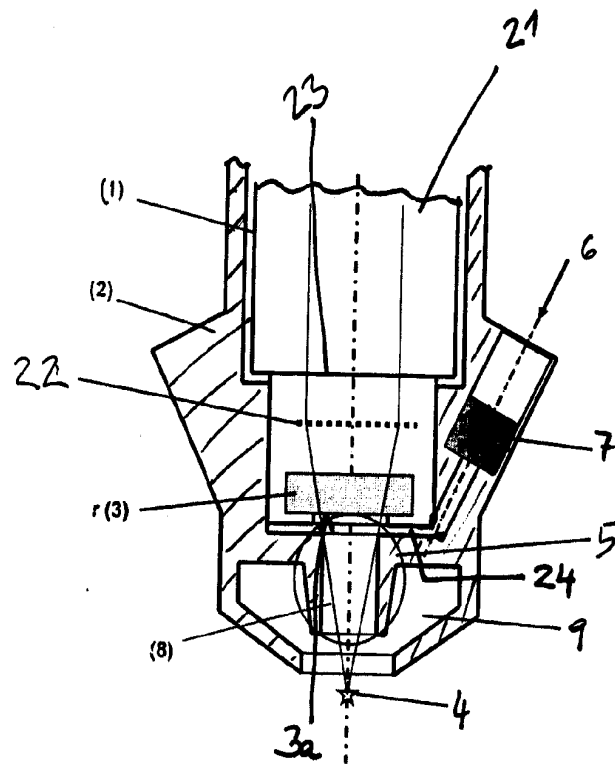


Fig. 5

