

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1267/2011
(22) Anmeldetag: 06.09.2011
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2013

(51) Int. Cl. : **F02P 23/04** (2006.01)

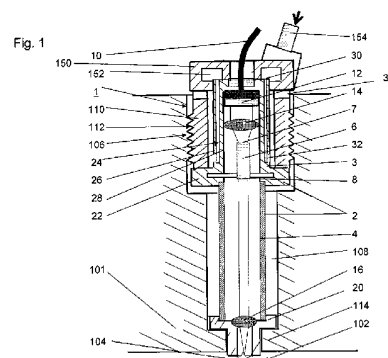
(56) Entgegenhaltungen:
DE 102009000487 A1
DE 102009047010 A1
JP 2006274940 A

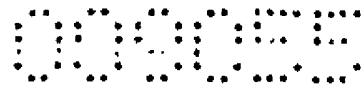
(73) Patentanmelder:
GE JENBACHER GMBH & CO OG
6200 JENBACH (AT)

(72) Erfinder:
GRUBER FRIEDRICH
HIPPACH (AT)
KRAUS MARKUS
WIESING (AT)

(54) **LASERZÜNDKERZE**

(57) Laserzündkerze (1), umfassend eine Pumplichtquelle (12) und einen longitudinal gepumpten Laserresonator (6), welche jeweils im Gehäuse (2) der Laserzündkerze (1) angeordnet sind, gekennzeichnet durch einen Kühllufteinlass (30), einen Kühlluftauslass (32) und einen den Kühllufteinlass (30) mit dem Kühlluftauslass (32) verbindenden Kühlbereich (24), wobei der Kühlbereich (24) die Pumplichtquelle (12) zumindest bereichsweise umgibt.

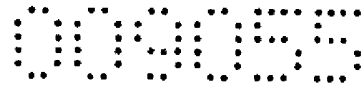




Zusammenfassung

Laserzündkerze (1), umfassend eine Pumplichtquelle (12) und einen longitudinal gepumpten Laserresonator (6), welche jeweils im Gehäuse (2) der Laserzündkerze (1) angeordnet sind, gekennzeichnet durch einen Kühlluft einlass (30), einen Kühlluft auslass (32) und einen den Kühlluft einlass (30) mit dem Kühlluft auslass (32) verbindenden Kühlbereich (24), wobei der Kühlbereich (24) die Pumplichtquelle (12) zumindest bereichsweise umgibt.

Fig. 1



Laserzündkerze

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Laserzündkerze, umfassend eine Pumplichtquelle und einen longitudinal gepumpten Laserresonator, welche jeweils im Gehäuse der Laserzündkerze angeordnet sind. Die Erfindung betrifft weiters eine Brennkraftmaschine mit einer Laserzündkerze, sowie eine Brennkraftmaschine adaptiert für eine solche Laserzündkerze und schließlich ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einer Laserzündkerze.

Seit mehr als zehn Jahren gibt es Projekte und Aktivitäten zur Entwicklung von Zündeinrichtungen für ottomotorisch betriebene Brennkraftmaschinen auf Basis der Lasertechnologie. Aus verschiedenen Gründen konnte bislang jedoch noch keine Serienanwendung erreicht werden. Technologische Fortschritte in den letzten Jahren haben den Weg zum Serieneinsatz geebnet, sodass innerhalb der nächsten Jahre mit einem Serieneinsatz der Laserzündung gerechnet wird.

Gegenüber elektrischen Zündsystemen weisen Laserzündeinrichtungen eine Reihe von Vorteilen auf. Zu den wichtigsten Vorteilen zählt dabei, dass die Laserzündung grundsätzlich verschleißfrei und die Standzeit damit unabhängig von den Einsatzbedingungen des Motors ist. Dies ist insbesondere für moderne Hochleistungsmotoren von Bedeutung, bei denen die herkömmlichen elektrischen Zündsysteme an ihre Grenzen stoßen.

Gattungsgemäße Laserzündeinrichtungen bestehen im Wesentlichen aus einer Einrichtung zur Erzeugung von Pumplicht, einem Laser, der nach dem optischen Pumpvorgang einen Lichtimpuls aussendet sowie eine Fokussier- und Einkoppeloptik, durch den der Lichtimpuls in einen Zündfunken im Brennraum des Motors umgewandelt wird.

Für einen zukünftigen Serieneinsatz haben sich insbesondere longitudinal gepumpte, passiv gütegeschaltete Nd:YAG-Laserkristalle als am erfolgversprechendsten herausgestellt. Nach bisherigem Ansatz werden diese Laserkristalle durch eine von der Laserkerze getrennte und mit dieser über einen Lichtleiter verbundene Pumplichtquelle gespeist. In dieser Bauart sind an die Kühlung der Laserzündkerze in dem Bereich, wo der Laserkristall positioniert ist, keine sehr hohen Anforderungen gestellt, da die Wärmefreisetzung am Festkörperlaser gering ist.



Bei dem das Pumplicht (für jede Zündkerze) erzeugenden Halbleiterlaser muss die Temperatur hingegen innerhalb eines relativ engen Temperaturfensters auf ca. 60 °C konstant gehalten werden. Dies ist unter Berücksichtigung der Wärmefreisetzung der Laserdioden nur mit einer eigenen Kühleinrichtung möglich.

Neuere Entwicklungen haben große Fortschritte bei speziellen Halbleiterlasern als Pumplichtquelle erzielt, deren Pumplicht wesentlich einfacher auf den Laserkristall fokussiert werden kann, die mit höheren Arbeitstemperaturen betrieben werden können und die weniger empfindlich auf Temperaturschwankungen sind. Diese basieren auf dem Prinzip der „vertical-cavity surface-emitting laser“ (VCSEL) Technologie. Mit dieser Technologie kann die Pumplichtquelle kostengünstig in die Laserzündkerze integriert werden. Allerdings ist es dabei notwendig, den Gehäusebereich der Laserzündkerze, der die Pumplichtquelle beinhaltet, zu kühlen, sowie innerhalb bestimmter Grenzen auf einem definierten Temperaturniveau (z.B. 60 °C ± 8 °C) zu halten. Bezüglich der Kühlung von Laserzündkerzen gibt es in der Literatur eine Reihe von Vorschlägen. Zum größten Teil handelt es sich dabei um sehr aufwändige Vorrichtungen oder um Konzepte mit komplexen Kühlmittelkreisläufen.

Die WO 2011/041805 A1 der Anmelderin offenbart eine Brennkraftmaschine, bei der zur Zündung des Treibstoff/Luftgemischs im Brennraum der Brennkraftmaschine eine Zündkerze vorgesehen ist. Die Zündkerze wird mittels einer Zündkerzenaufnahme im Bereich des Zylinderkopfes der Brennkraftmaschine befestigt. Der Zylinderkopf verfügt über ein Kühlsystem, für das ein eigener Kühlkreislauf vorgesehen ist, mit dem Wasser als Kühlmittel zu Kühlkavitäten geführt wird. Auch die Zündkerzenaufnahme verfügt über ein Kühlsystem mit eigenem Kühlkreislauf. Die WO 2011/041805 beschreibt neben einer Funkenzündung des Treibstoff/Luftgemischs über elektrischer Zündkerzen auch die „Lichtzündung“ mittels Laserzündkerzen.

Die US 6,514,069 beschreibt, dass bei Laserzündeinrichtungen für Brennkraftmaschinen die Temperierung der Laserzündeinrichtung ein relevanter Faktor ist. In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit der Kühlung des Anregungslasers und des Zündlasers beschrieben. Die US 6,514,069 zeigt keinerlei Details zur Kühlung.



Die EP 1 519 039 A1 offenbart eine Laserzündkerze mit einer gütegeschalteten, gepumpten Festkörperlaser. Der Festkörperlaser weist einen in den Resonator eingebetteten Laserkristall auf, wobei eine Pumplichtquelle den Resonator mit Pumplicht speist. Beim Festkörperlaser der EP 1 519 039 A1 handelt es sich um einen transversal gepumpten Laser. In diesem Dokument wird weiters die Notwendigkeit der optimalen Temperierung der Laserzündkerzen bei ottomotorisch betriebenen Brennkraftmaschinen beschrieben und außerdem darauf hingewiesen, dass Kühlsysteme mit z.B. nur einem Peltier-Element nicht ausreichend sind. Für die Lösung dieses Problems schlägt die EP 1 519 039 A1 eine Kühleinrichtung vor, welche den Laserkristall und die Pumpdioden der Laserzündkerze umgibt. Diese Kühleinrichtung umfasst drei Kühlelemente: Einen äußeren Kühlkreislauf, der mit der Wasserkühlung des Motors gekoppelt ist, einen inneren Kühlkreislauf, der ebenfalls mit einer Flüssigkeit gespeist wird und schließlich ein Peltier-Kühlelement.

Die aus dem Stand der Technik bekannten Kühlsysteme für Laserzündkerzen sind also sehr aufwendig – mit mehreren Kühlkreisläufen, Peltier-Elementen etc. Das Einbringen von Kühlkreisläufen mit flüssigen Kühlmedien birgt außerdem die Gefahr, dass das Kühlmittel austritt und Bauteile beschädigt oder den Betrieb der Brennkraftmaschine gefährdet. Die Anforderung einer kostengünstigen, effizienten und praxistauglichen Kühlung und Temperaturstabilisierung der Pumplichtquelle in der Laserzündkerze wird von keinem bekannten Konzept in befriedigender Weise erfüllt.

Demgegenüber ist es Aufgabe der gegenständlichen Erfindung eine einfache, betriebssichere und dennoch kostengünstige Laserzündkerze bereit zu stellen, bei der diese Probleme vermindert sind.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Laserzündkerze, umfassend eine Pumplichtquelle und einen longitudinal gepumpten Laserresonator, welche beide im Gehäuse der Laserzündkerze angeordnet sind, gekennzeichnet durch einen Kühlluft einlass, einen Kühlluft auslass und einen den Kühlluft einlass mit dem Kühlluft auslass verbindenden Kühlbereich, wobei der Kühlbereich die Pumplichtquelle zumindest bereichsweise umgibt.

Im Unterschied zum Stand der Technik wird im vorliegenden Lösungsvorschlag eine Laserzündkerze vorgestellt, welche auf Basis eines Wärmeaustausches mit konditionierter Kühlluft eine Kühlung und Temperaturstabilisierung der Pump- und



Pulslichterzeugungseinrichtung in der Laserzündkerze ermöglicht. Der Lösungsvorschlag basiert auf der überraschenden Erkenntnis, dass die von der Laserzündkerze im Bereich der Pumplichterzeugung abzuführende Wärmemenge von etwa 8 – 15 Watt pro Laserzündkerze auch mit einer Luftkühlung erreicht werden kann, obwohl im Stand der Technik bislang sehr komplexe Systeme eingesetzt wurden. Gleichzeitig ist insbesondere mit entsprechend konditionierter Kühlluft auch die geforderte Temperaturkonstanz an der Pumplichtquelle gewährleistet. Es war also eine durchaus nicht naheliegende Erkenntnis, dass auch Luft den erforderlichen gleichmäßigen Wärmetransport und die Abfuhr einer ausreichenden Wärmemenge gewährleisten kann, trotz der relativ geringen Platzverhältnisse zur Realisierung der Kühlung an der Laserzündkerze. Zudem muss Luft nicht wie bei flüssigen Kühlmedien in einem Kreislauf geführt werden, sondern kann an irgendeiner Stelle an der Brennkraftmaschine wieder ausströmen.

Der Kühlbereich ist in einer einfachen und bevorzugten Ausführungsvariante ein Kühlkanal. Unter Kühlkanal wird ein im Wesentlichen abgeschlossener Hohlraum verstanden, der einen Kühlluft einlass und einen Kühlluftauslass aufweist. Theoretisch können auch mehrere Kühlluft einlässe und/oder Kühlluftauslässe vorgesehen sein, solange gewährleistet ist, dass die abgeführte Wärmemenge zum idealen Betrieb der Laserzündkerze ausreicht. Das bedeutet, dass die Wärmeaustauschfläche entsprechend groß sein muss.

In einer bevorzugten Ausführungsvariante ist für eine kompakte Bauweise der Laserzündkerze vorgesehen, dass der Kühlbereich zumindest bereichsweise im Gehäuse der Laserzündkerze verläuft.

In einer bevorzugten Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass der Kühlbereich die Pumplichtquelle wenigstens teilweise zylindermantelförmig umgibt.

Für einen idealen Wärmeabtransport an der Laserzündkerze kann vorgesehen sein, dass der Kühlbereich im Bereich der Pumplichtquelle eine die Oberfläche vergrößernde Struktur aufweist. Diese die Oberfläche vergrößernde Struktur stellt zugleich die Wärmeaustauschfläche dar.

Als die Oberfläche des Kühlbereichs vergrößernde Strukturen können Rippen, Vorsprünge, Windungen und dergleichen beispielhaft erwähnt werden. Jene Grenzfläche des Kühlbereichs,



die an die zu kühlenden Elemente angrenzt, ist dabei bevorzugt mit diesen die Oberfläche vergrößern Strukturen versehen.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel zur Vergrößerung der Wärmeaustauschfläche wäre das zumindest teilweise Ausfüllen des Kühlbereichs mit einem – vorzugsweise offenporigen – Schaumkörper. Solche als Wärmetauscher geeigneten Schaumkörper, die eine hohe mechanische und thermische Stabilität aufweisen, sind dabei auf die vorgegebenen Material- und Geometrieigenschaften abgestimmt, d.h., sie weisen eine hohe Wärmeleitfähigkeit und eine offenporige Struktur auf. Generell weisen Schaumkörper eine geringere Dichte als der reine Werkstoff aber dennoch eine hohe Steifigkeit und Festigkeit auf. Beispiele für geeignete Schäumkörper umfassen Metallschäume, Keramikschäume, Kunststoffschäume und natürlich Kombinationen daraus.

Kunststoffschäume lassen sich beispielsweise durch chemisches Schäumen (z.B. indem das Treibmittel beim Polymerisationsvorgang Gas abspaltet) oder physikalisches Schäumen (durch Einbringen eines Treibmittels in das Polymer beim thermischen Verarbeiten) herstellen. Die Kunststoffschäume können also beispielsweise Duroplasten oder Thermoplasten sein.

Metallschäume sind poröse Strukturen aus metallischen Werkstoffen, mit Poren und Hohlräumen. Als Wärmetauscher geeignete Metallschäume umfassen zum Beispiel Aluminium, Kupfer oder spezielle Legierungen.

In analoger Weise weisen auch Keramikschäume die genannten Eigenschaften auf, wobei in diesem Fall der Schaumkörper eben auf keramischen Werkstoffen basiert.

Bevorzugt werden diese Schaumkörper mit den Grenzflächen des Kühlbereichs verbunden. Diese Verbindung kann durch Verbindungsmittel erfolgen, die eine gute Wärmeübertragung ermöglichen. Beispielsweise können Lötverbindungen genannt werden. Das Verbindungsmittel wird dabei an der Grenzfläche angebracht, die der zu kühlenden Pumplichtquelle näher liegt. Der Schaumkörper kann alternativ dazu oder in Ergänzung dazu natürlich auch noch formschlüssig in den Kühlbereich eingebracht werden.



Um die Wärmeübertragung aus dem Bereich der Pumplichtquelle zu verbessern, kann in einer Ausführungsvariante vorgesehen sein, dass Teile der Gehäusewand der Laserzündkerze im Bereich der Pumplichtquelle aus Materialien bestehen, die eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als die restlichen Bereiche. Diese Wärmeleitelemente können im Bereich des Kühlkanals und/oder im Bereich der Pumplichtquelle angeordnet sein.

Die erfindungsgemäße Laserzündkerze weist bevorzugt einen longitudinal gepumpten Resonator auf. Weiters sind eine Einrichtung zur Erzeugung eines Pumplichtes (Pumplichtquelle), ein passiv gütegeschalteter Laserkristall, vorzugsweise ein Nd:YAG-Laserkristall, der von der Pumplichtquelle optisch gepumpt wird, eine Einkoppeloptik zur Fokussierung und Einleitung des Laserpulses in den Brennraum der Brennkraftmaschine, das Gehäuse der Laserzündkerze sowie elektrische Zuleitungen und Steuerleitungen vorgesehen. Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Pumplichtquelle einen Vertikalemitter bzw. Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser (VCSEL) aufweist. Der Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser (VCSEL) ist ein Halbleiterlaser, bei dem das Licht senkrecht zur Ebene des Halbleiterchips abgestrahlt wird, im Gegensatz zum herkömmlichen Kantenemitter, bei dem das Licht an ein oder zwei Flanken des Chips austritt.

Eine weitere Aufgabe, die sich die Erfinder gestellt haben, ist es, neben der Laserzündkerze mit den oben beschriebenen Eigenschaften auch eine Brennkraftmaschine bereit zu stellen, die mit einer Laserzündkerze betriebssicherer und kostengünstiger betrieben werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Anordnung, umfassend eine ottomotorisch betreibbare Brennkraftmaschine und eine Laserzündkerze – insbesondere der vorgenannten Art – mit einer in der Laserzündkerze angeordneten Pumplichtquelle, wobei die Laserzündkerze im Zylinderkopf der Brennkraftmaschine lösbar befestigt ist, wobei die Laserzündkerze einen Kühlluft einlass, einen Kühlluftauslass und einen den Kühlluft einlass mit dem Kühlluftauslass verbindenden Kühlbereich aufweist, wobei der Kühlbereich die Pumplichtquelle zumindest bereichsweise umgibt, wobei der Kühlluft einlass der Laserzündkerze mit einer Kühlluftversorgungseinrichtung verbunden ist.

Wie bereits oben erwähnt, beruht der Lösungsvorschlag auf der überraschenden Erkenntnis, dass die von der Laserzündkerze im Bereich der Pumplichterzeugung abzuführende Wärmemenge von etwa 8 – 15 Watt pro Laserzündkerze auch mit einer Luftkühlung realisiert



werden kann, wobei eine Druckerhöhung der Kühlluft um ca. 0,1 bar bis 0,3 bar ausreicht. Für diese Zwecke kann daher eine einfache Kühlluftversorgungseinrichtung wie eine Pumpe, ein Gebläse oder gegebenenfalls eine Verdichtungseinrichtung vorgesehen sein.

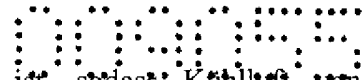
Im Gegensatz zu bekannten Systemen, bei denen ein Kühlmittelkreislauf vorhanden ist, kann bei einer Luftkühlung auf ein Kreislaufsystem verzichtet werden. Eine vorteilhafte Ausführungsvariante sieht daher vor, dass der Kühlluftauslass der Laserzündkerze in Strömungsrichtung offen ist, d.h. nicht mit dem Kühlluftanschluss (stromabwärts in Strömungsrichtung) nach Art eines Kühlmittelkreislaufes verbunden ist.

Für eine optimale Laserleistung und damit auch für einen optimalen Betrieb der Brennkraftmaschine, sollten die Temperaturschwankungen an der Pumplichtquelle möglichst gering sein. Insbesondere bei Außentemperaturschwankungen ist es daher vorteilhaft, wenn zwischen Kühlluftversorgungseinrichtung und Kühlbereich eine Temperiereinrichtung vorgesehen ist.

Die gegenständlichen Brennkraftmaschinen werden mit Aufladevorrichtungen betrieben, wobei die verdichtete Verbrennungsluft bzw. das verdichtete Gemisch bei gemischaufladeladenen Brennkraftmaschinen in einem Ladeluftkühler (Intercooler) auf eine Temperatur von 50 bis 80 °C rückgekühlt wird. Bei jenen Fällen, wo die Rückkühlung auf ca. 50 °C erfolgt, kann der Kühlkreislauf für den Ladeluftkühler zur Temperierung der Kühlluft für die Laserzündkerzen verwendet werden, da so eine sehr konstante Temperatur gewährleistet werden kann. Daher kann in einem Aspekt der Erfindung optional vorgesehen sein, dass ein Ladeluftkühler für die Ladeluft der Brennkraftmaschine vorgesehen ist, wobei die Temperiereinrichtung über das Kühlmedium des Ladeluftkühlers mit dem Ladeluftkühler verbunden ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass mehrere Laserzündkerzen vorgesehen sind, wobei für wenigstens zwei Laserzündkerzen eine gemeinsame Kühlluftversorgungseinrichtung vorgesehen ist.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine ottomotorisch betreibbare Brennkraftmaschine, umfassend einen Aufnahmebereich für eine Laserzündkerze, wobei eine Kühlluftversorgungseinrichtung vorgesehen ist, welche mit einem Kühlluftanschluss der



Laserzündkerze über einen Adapter lösbar verbunden ist, sodass Kühlluft von der Kühlluftversorgungseinrichtung zum Kühlluftanschluss geleitet wird.

Dabei kann vorgesehen sein, dass der Adapter einen im Wesentlichen ringförmigen Kanal aufweist.

Anhand der Figuren und Figurenbeschreibungen werden Ausführungsbeispiele, Ausführungsvarianten, weitere Details und Vorteile der Erfindung erläutert.

Fig. 1 bis 4 zeigen Ausführungsbeispiele für erfindungsgemäße Laserzündkerzen.

Fig. 5 und 6 zeigt erfindungsgemäße Anordnungen.

In der Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Laserzündkerze 1 schematisch dargestellt. Die Laserzündkerze 1 ist im ebenfalls nur schematisch angedeuteten Zylinderkopf 101 einer Brennkraftmaschine 100 über eine Schraubverbindung lösbar befestigt. Dazu wird die Laserzündkerze 1 in einen Aufnahmebereich im Zylinderkopf 101 in den Zündkerzenschacht 108 eingeführt. Im Zündkerzenschacht 108 befindet sich ein Gewindeabschnitt 106 mit einem passenden Gegengewinde 112 auf einer Vorspannhülse 110. Die Vorspannhülse 110 spannt das Gehäuse 2 der Laserzündkerze in den Zylinderkopf 101, indem die Vorspannhülse 110 den Anlageflansch 22 Richtung Brennraum 102 drückt. Mit dem Anlageflansch 20 für den Zylinderkopf liegt die Laserzündkerze 1 auf einem Vorsprung 114 im Zylinderkopf 101 auf und wird so durch Verdrehen der Gewinde 106, 112 auf Spannung gesetzt.

Das Gehäuse 2 der Laserzündkerze 1 unterteilt sich in einen oberen Zündkerzenabschnitt 3, an dem die Anschlüsse sitzen und der dem Brennraum 102 abgewandt ist, und in einen unteren Zündkerzenabschnitt 4, der dem Brennraum zugewandt ist.

Im Inneren des Gehäuses 2 der Laserzündkerze 1 befindet sich der eigentliche Zündlaser, der sich zusammensetzt aus einem Laserresonator 6, der einen Einkoppelspiegel 7, einen Auskoppelspiegel 8 und den dazwischenliegenden Laserkristall aufweist, und der Pumplichtquelle 12. Die Pumplichtquelle 12 wird von einer Stromquelle über eine Stromzuleitung 10 mit Energie gespeist. Die Pumplichtquelle besteht aus einem VCSEL-Halbleiter-Laser, dessen Lichtemission als Pumplicht über eine Fokussierlinse auf die



Eintrittsfacette des Festkörper-Pulslasers abgebildet wird. Im Festkörper-Pulslaser wird der Laserpuls erzeugt, der über die Einkoppeloptik 16 den Zündfunken im Zündpunkt 104 im Brennraum 102 generiert. Die Einkoppeloptik 16 umfasst üblicherweise (eine) Fokussierlinse(n) und ein Brennraumfenster, welches den Brennraum 102 vom Inneren der Laserzündkerze 1 abdichtet.

Die Laserzündkerze 1 weist einen Kühlluft einlass 30 auf, in den die Kühlluft eintritt. Der Kühlluft einlass 30 sitzt am oberen Ende der Laserzündkerze 1 und wird über einen Adapter 150 mit der Kühlluftzuleitung 154 verbunden. Der Kühlluft einlass 30 ist ringförmig ausgebildet und verläuft am oberen Ende der Laserzündkerze 1. Der Kühlbereich 24 ist als Ringspalt zwischen der äußeren Kühlkanalwand 26 und der inneren Kühlkanalwand 28 ausgebildet und bildet so einen Kühlkanal 24. Dieser Kühlkanal 24 weist etwa die Form eines Zylindermantels mit kreisförmigem Querschnitt auf. Am unteren Ende des Kühlkanals 24 ist ein Kühlluftauslass 32 vorgesehen, durch den die Kühlluft austreten kann. Über den Ringspalt 34 tritt die erwärmte Kühlluft dann ins Freie aus. Die Kühlluft muss also nicht wie bei flüssigen Kühlmedien in einem Kreislauf geführt werden, sondern kann an irgendeiner Stelle an der Brennkraftmaschine 100 wieder ausströmen.

Der Adapter 150 weist einen ringförmigen Kanal auf und wird kraftschlüssig und/oder formschlüssig auf die Laserzündkerze 1 aufgesetzt. Hierzu können an der Laserzündkerze 1 und/oder am Adapter 150 entsprechende Haltelemente vorgesehen sein.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist der Kühlbereich 24 ohne eine die Oberfläche vergrößernde Strukturen 18 ausgebildet. Im Unterschied dazu ist im Ausführungsbeispiel der Fig. 2, welche nur den oberen Abschnitt der Laserzündkerze 1 zeigt, eine die Oberfläche vergrößernde Struktur 18 gezeigt, und zwar in Form eines Schaumkörpers 18. Dieser ist in den ringförmigen Kühlkanal 24 eingesetzt und für einen guten Kontakt (und damit verbunden einer guten Wärmeübertragung) bevorzugt an einer oder mehrerer Stellen an der pumplaserseitigen Grenzfläche am Kühlkanal 24 angelötet. Die übrigen Teile der Laserzündkerze 1 der Fig. 2 entsprechen den Teilen der Laserzündkerze 1 von Fig. 1, sodass auf eine eingehende Erläuterung verzichtet und auf die Ausführungen zu Fig. 1 verwiesen wird.

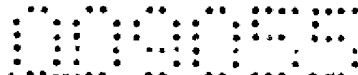


Die Kühlluft durchströmt diesen Schaumkörper 18 von oben nach unten, tritt unten aus dem Schaumkörper 18 aus und strömt auf der Außenseite des Schaumkörpers 18 wieder nach oben und verlässt das Kühlsystem und damit auch die Brennkraftmaschine 100.

Der Lösungsvorschlag sieht bevorzugt vor, eine für alle Laserzündkerzen der Brennkraftmaschine 100 gemeinsame Kühlluft-Aufbereitung und Zuführung, sowie eine spezielle Art und Weise des Wärmeaustausches zwischen Laserzündkerze 1 und Kühlluft zu realisieren.

Die Ausführungsbeispiele der Fig. 3 und 4 zeigen geringe bauliche Veränderungen gegenüber den Ausführungsbeispielen der Fig. 1 und 2. Auch hier sind gleiche Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass auf eine eingehende Beschreibung aller Bauteile verzichtet und auf die Ausführungen zu den Fig. 1 und 2 verwiesen wird. Der wichtigste Unterschied zu den vorherigen Beispielen ist der unterschiedlich gestaltete Kühlbereich 24, der in beiden Ausführungsvarianten der Fig. 3 und 4 im oberen Bereich breiter und im unteren Bereich enger ausgebildet ist. In beiden Ausführungsvarianten sind Oberflächen vergrößernde Strukturen 18 wie Metall-, Keramik- oder Kunststoffschäume eingebracht. Zusätzlich zeigen die beiden Beispiele der Fig. 3 und 4 noch weitere Wärmeleitelemente 19 in Form von metallischen Einsätzen, beispielsweise aus Kupfer. Diese erhöhen die Wärmeabfuhr zusätzlich.

Die Fig. 5 und 6 zeigen zwei Ausführungsbeispiele für erfindungsgemäße Anordnungen für das Kühlsystem der Laserzündkerzen 1 bei Brennkraftmaschinen 100 mit Laserzündkerzen 1. Die Laserzündkerzen 1 und auch die jeweilige Brennkraftmaschine 100 sind nur schematisiert dargestellt. Über einen Luftfilter 120 wird Luft durch eine Luftzufuhr 124 angesaugt und zu einer Kühlluftversorgungseinrichtung 122 in Form eines Gebläses geführt. Die Luft kann aber auch der Ladeluft der Brennkraftmaschine nach dem Luftfilter entnommen und der Kühlluftversorgungseinrichtung 122 zugeführt werden. Der Druck der Kühlluft wird in der Kühlluftversorgungseinrichtung 122 um ca. 0,1 – 0,3 bar erhöht. Dabei erhöht sich die Temperatur der Kühlluft um ca. 20 °C auf z.B. 20 °C bis 60 °C, je nach Umgebungstemperatur. Anschließend strömt die Luft durch eine Temperiereinrichtung 126, um die Luft auf eine bestimmte, gewünschte Temperatur zu bringen. Die Temperiereinrichtung 126 kann ein Wärmetauscher, dessen Kühlmedium eine Temperatur von z.B. ca. 40 °C aufweist, sein. Mit dieser Temperatur wird die Kühlluft über eine



Verteilleitung 132 zu den Laserzündkerzen 1 geleitet, wo der Wärmeaustausch erfolgt. Die Verteilleitung 132 bildet hier zwei Hauptäste für zwei Zylinderbänke 134 mit jeweils vier Zylindern 136. Brennkraftmaschinen 100, auf die sich der Erfindungsvorschlag beziehen, werden häufig stationär mit einem Generator betrieben, um Strom zu erzeugen. Diese weisen dann meist deutlich mehr als 8 Zylinder, beispielsweise bis zu 24 Zylinder, auf.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 6 ist im Unterschied zum Ausführungsbeispiel der Fig. 5 zur ersten Temperiereinrichtung 126 noch eine zusätzliche Temperiereinrichtung 128 vorgesehen, die das Arbeitsmedium für die Temperiereinrichtung 126 auf eine definierte Temperatur einregelt. Dies kann z.B. ein geregeltes Kühlaggregat 128 sein.

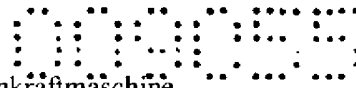
Die Wärmeübertragung im Metallschaumwärmetauscher ist aufgrund der großen spezifischen Oberfläche und der Mikroturbulenz der Strömung sehr intensiv, sodass die Temperatur am Zündkerzengehäuse relativ nahe an der Temperatur der Kühlluft gehalten werden kann.

Detaillierte Berechnungen ergaben, dass eine Schichtdicke (bzw. Wandstärke) des Schaumkörpers 24, wenn dieser in Form eines Hohlzylinders bei einer Dicke von ca. 5 – 7 mm und einer Höhe (bzw. Länge) von 20 – 40 mm vorliegt, ausreicht, um die in der Laserzündkerze 1 erzeugte Wärme an der Pumplichtquelle 12 bei einer Kühllufttemperatur von ca. 43 °C so abzuführen, dass die Oberflächentemperatur des Zündkerzengehäuses 2 am oberen Ende der Laserzündkerze 1 ca. 60 ° nicht übersteigt. Der Luftmassenstrom beträgt in diesem Modell ca. 2,8 m³/h und die Anströmgeschwindigkeit auf die Stirnfläche des Metallschaum-Hohlzylinders ca. 1,5 – 2 m/s. Der Überdruck der Luft beim Eintritt in den Metallschaum beträgt dabei ca. 0,1 – 0,3 bar.

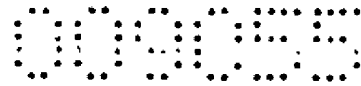
Weitere Details bzw. Varianten der Erfindung sind:

- Die Temperiereinrichtung, die einen Kühlmittelkreislauf mit Kühlwasser umfasst, kann z.B. mit dem Niedertemperatur-Kühlkreislauf der Ladeluftkühlung des Motors korrespondieren.
- Der Lösungsvorschlag sieht vorzugsweise eine Bauweise der Laserzündkerze vor, die im Vergleich zum Durchmesser eine große Länge aufweist und deren Befestigungseinrichtung sich in der oberen Hälfte der Zündkerze befindet.

Bezugszeichenliste:



1	Laserzündkerze	100	Brennkraftmaschine
2	Gehäuse der Laserzündkerze	101	Zylinderkopf
3	Oberer Zündkerzenabschnitt	102	Brennraum
4	Unterer Zündkerzenabschnitt	104	Zündpunkt
6	Laserresonator	106	Gewindeabschnitt im Zylinderkopf
7	Einkoppelspiegel	108	Zündkerzenschacht/Aufnahmebereich
8	Auskoppelspiegel	110	Vorspannhülse
10	Elektrische Zuleitung	112	Gewindeabschnitt an Vorspannhülse
12	Pumplichtquelle	114	Vorsprung im Zylinderkopf
14	Fokussierlinse	120	Luftfilter
16	Einkoppeloptik	122	Kühlluftversorgungseinrichtung
18	Oberflächenvergrößernde Struktur	124	Luftzufuhr
19	Wärmeleitelemente	126	Temperiervorrichtung
20	Anlageflansch für Zylinderkopf	128	Zweite Temperiervorrichtung
22	Anlageflansch für Vorspannhülse	132	Verteilleitung
24	Kühlkanal	134	Zylinderbank
26	Äußere Kühlkanalwand	150	Adapter
28	Innere Kühlkanalwand	152	Kühlkanal im Adapter
30	Kühllufteinlass	154	Zuleitung
32	Kühlluftauslass		
34	Ringspalt		



Patentansprüche

1. Laserzündkerze (1), umfassend eine Pumplichtquelle (12) und einen longitudinal gepumpten Laserresonator (6), welche jeweils im Gehäuse (2) der Laserzündkerze (1) angeordnet sind, gekennzeichnet durch einen Kühlluft einlass (30), einen Kühlluft auslass (32) und einen den Kühlluft einlass (30) mit dem Kühlluft auslass (32) verbindenden Kühlbereich (24), wobei der Kühlbereich (24) die Pumplichtquelle (12) zumindest bereichsweise umgibt.
2. Laserzündkerze nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlbereich (24) als Kühlkanal ausgebildet ist.
3. Laserzündkerze nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlbereich (24) im Bereich der Pumplichtquelle (12) eine die Oberfläche vergrößernde Struktur (18) aufweist.
4. Laserzündkerze nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die die Oberfläche vergrößernde Struktur (18) einen – vorzugsweise offenporigen – Schaumkörper (18) umfasst.
5. Laserzündkerze nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaumkörper (18) einen metallischen Schaumkörper, einen keramischen Schaumkörper, einen Kunststoffschäumkörper oder Kombinationen daraus umfasst.
6. Laserzündkerze nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Elemente mit höherer Wärmeleitfähigkeit (19) an wenigstens einem der Bereiche
 - Gehäuse (2) der Laserzündkerze (1)
 - Wandung des Kühlbereichs (24)
 - der an die Pumplichtquelle (12) angrenzende Bereich vorgesehen ist.
7. Laserzündkerze nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumplichtquelle (12) einen VCSEL aufweist.
8. Anordnung, umfassend eine ottomotorisch betreibbare Brennkraftmaschine (100) und eine Laserzündkerze (1), insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit einer in der Laserzündkerze (1) angeordneten Pumplichtquelle (12), wobei die Laserzündkerze (1) im



Zylinderkopf (101) der Brennkraftmaschine (100) lösbar befestigt ist, wobei die Laserzündkerze (1) einen Kühllufteinlass (30), einen Kühlluftauslass (32) und einen den Kühllufteinlass (30) mit dem Kühlluftauslass (32) verbindenden Kühlbereich (24) aufweist, wobei der Kühlbereich (24) die Pumplichtquelle (12) zumindest bereichsweise umgibt und wobei der Kühllufteinlass (30) der Laserzündkerze (1) mit einer Verdichtungseinrichtung (122) verbunden ist.

9. Anordnung nach Kühlbereich, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlluftauslass (32) der Laserzündkerze (1) in Strömungsrichtung offen ist.

10. Anordnung nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdichtungseinrichtung (122) eine Temperiereinrichtung (126) nachgeordnet ist.

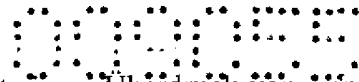
11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ladeluftkühler für die Ladeluft der Brennkraftmaschine (100) vorgesehen ist, wobei die Temperiereinrichtung (112) mit dem Ladeluftkühler verbunden ist.

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Laserzündkerzen (1) vorgesehen sind, wobei für wenigstens zwei Laserzündkerzen (1) eine gemeinsame Verdichtungseinrichtung (112) vorgesehen ist.

13. Ottomotorisch betreibbare Brennkraftmaschine (100), umfassend einen Aufnahmebereich (108) für eine Laserzündkerze (1), wobei eine Verdichtungseinrichtung (122) vorgesehen ist, welche mit einem Adapter (150) verbunden ist, welcher mit der Laserzündkerze (1) lösbar verbindbar ist.

14. Brennkraftmaschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Adapter (150) einen im Wesentlichen ringförmigen Kanal (152) aufweist.

15. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (100) wobei eine Laserzündkerze (1), welche eine Pumplichtquelle (12) und einen von der Pumplichtquelle (12) gepumpten Laserresonator (6) aufweist, ein Treibstoff/Luftgemisch in einem Brennraum (102) der Brennkraftmaschine (100) zündet, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserzündkerze (1) mit



Luft gekühlt wird, wobei jeder Laserzündkerze (1) Luft mit einem Überdruck von wenigstens 0,1 bar zugeführt wird.

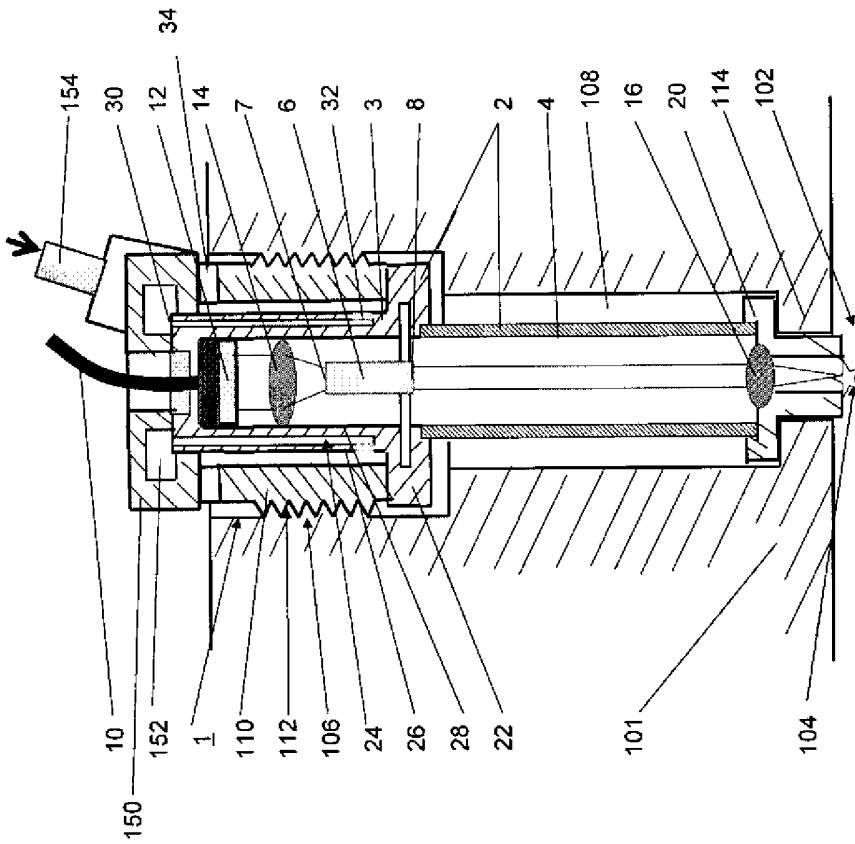


Fig. 1

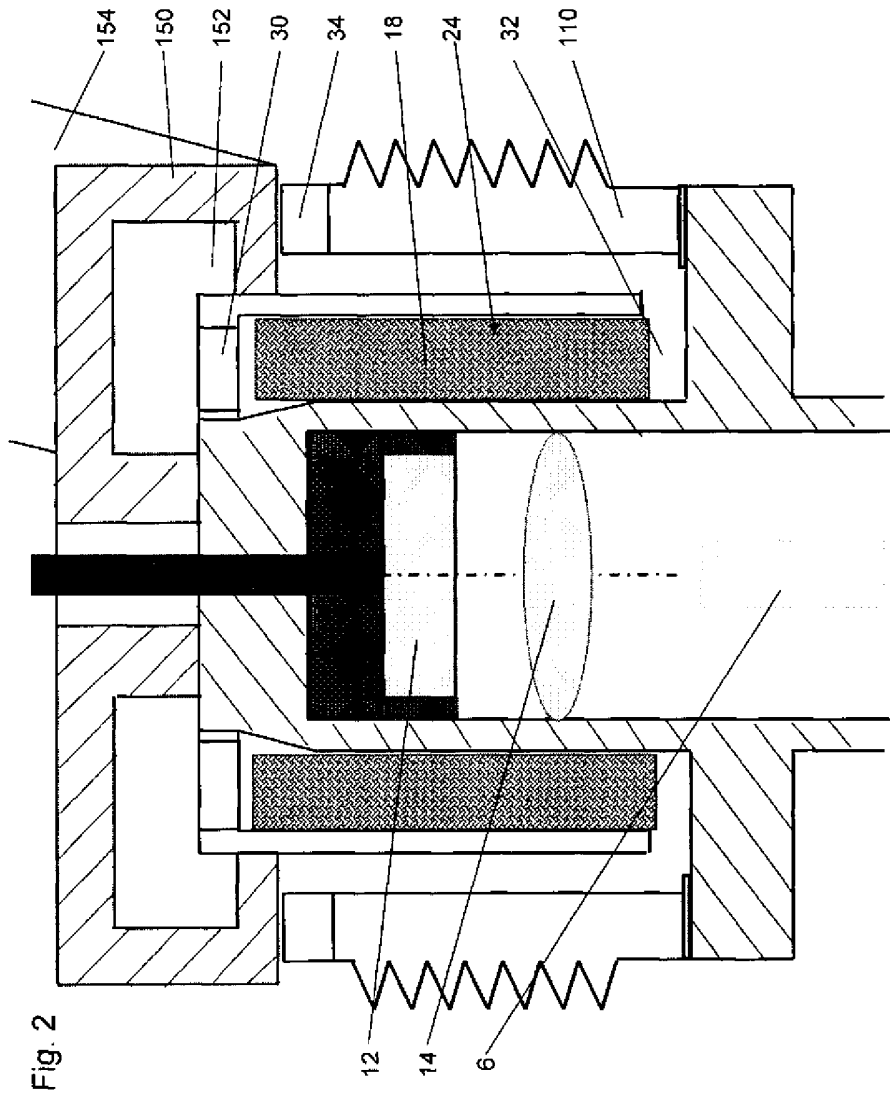


Fig. 4

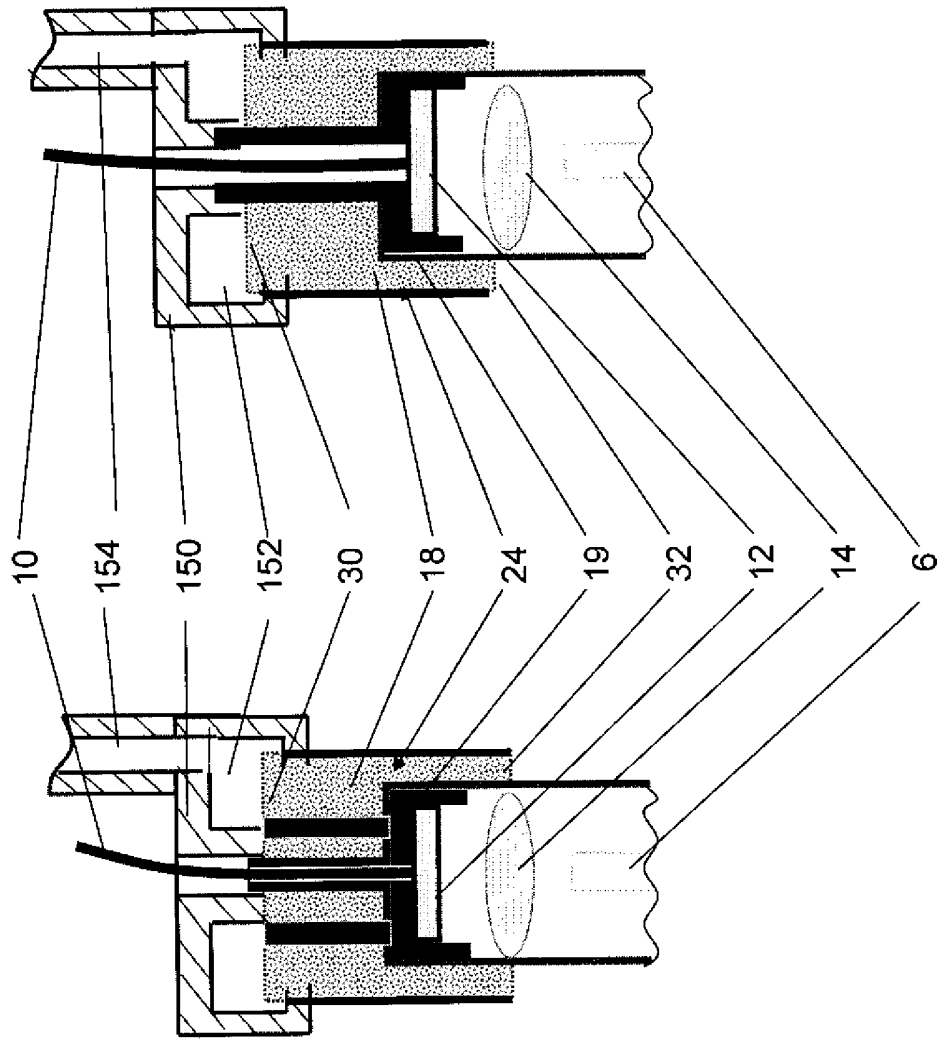
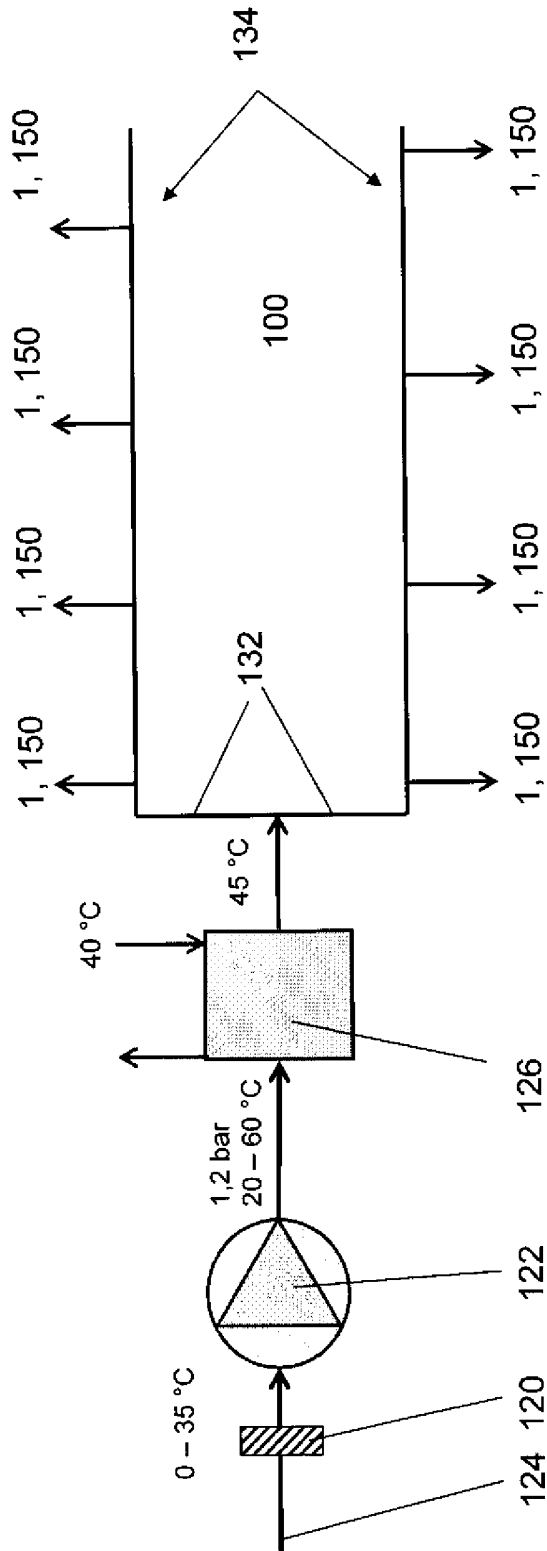


Fig. 3

Fig. 5



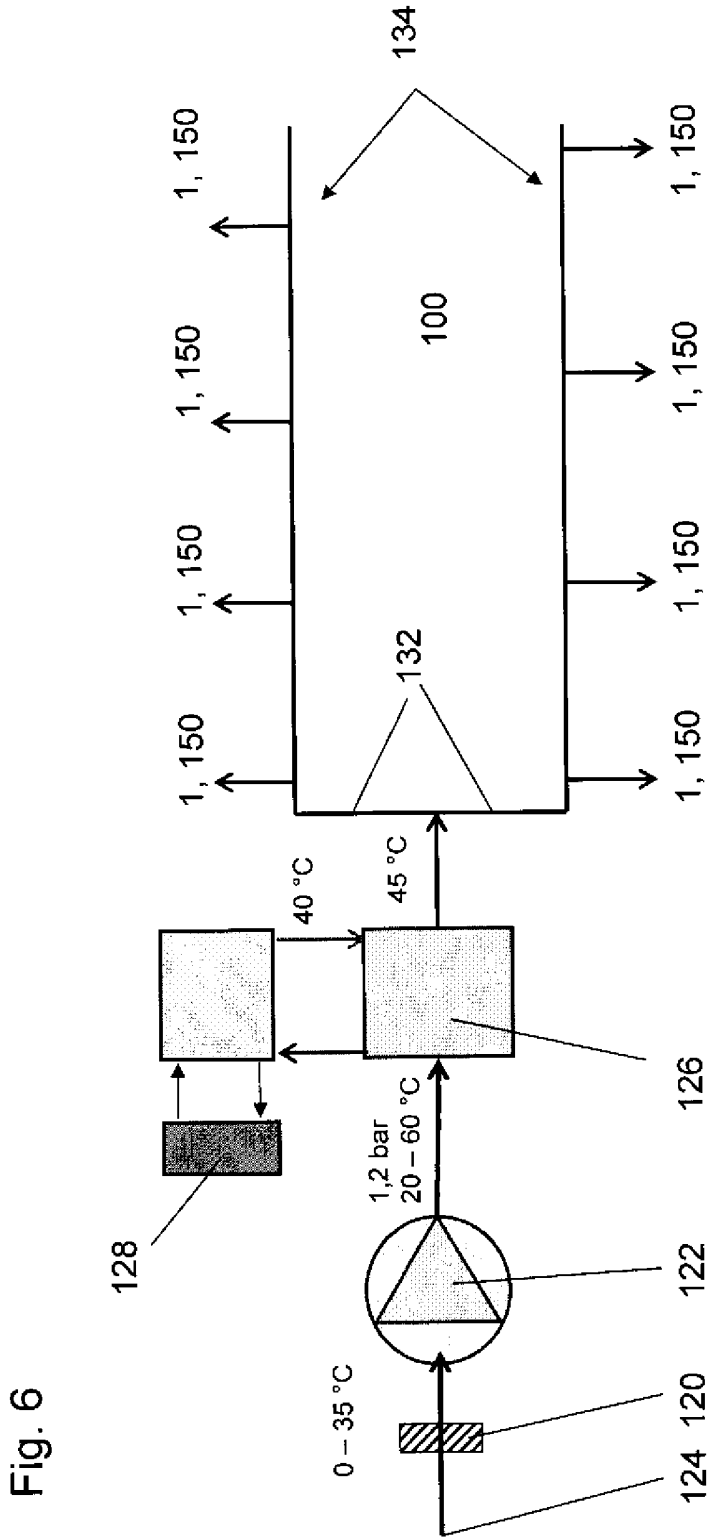
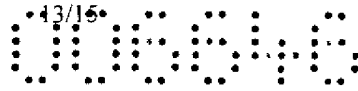
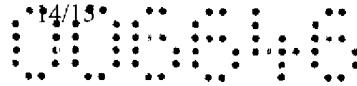


Fig. 6



Patentansprüche

1. Laserzündkerze (1), umfassend eine Pumplichtquelle (12) und einen longitudinal gepumpten Laserresonator (6), welche jeweils im Gehäuse (2) der Laserzündkerze (1) angeordnet sind, gekennzeichnet durch einen Kühlluft einlass (30), einen Kühlluft auslass (32) und einen den Kühlluft einlass (30) mit dem Kühlluft auslass (32) verbindenden Kühlbereich (24), wobei der Kühlbereich (24) die Pumplichtquelle (12) zumindest bereichsweise umgibt.
2. Laserzündkerze nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlbereich (24) als Kühlkanal ausgebildet ist.
3. Laserzündkerze nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlbereich (24) im Bereich der Pumplichtquelle (12) eine die Oberfläche vergrößernde Struktur (18) aufweist.
4. Laserzündkerze nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die die Oberfläche vergrößernde Struktur (18) einen – vorzugsweise offenporigen – Schaumkörper (18) umfasst.
5. Laserzündkerze nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaumkörper (18) einen metallischen Schaumkörper, einen keramischen Schaumkörper, einen Kunststoffschäumkörper oder Kombinationen daraus umfasst.
6. Laserzündkerze nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Elemente mit höherer Wärmeleitfähigkeit (19) an wenigstens einem der Bereiche
 - Gehäuse (2) der Laserzündkerze (1)
 - Wandung des Kühlbereichs (24)
 - der an die Pumplichtquelle (12) angrenzende Bereich vorgesehen ist.
7. Laserzündkerze nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumplichtquelle (12) einen VCSEL aufweist.
8. Anordnung, umfassend eine ottomotorisch betreibbare Brennkraftmaschine (100) und eine Laserzündkerze (1), insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit einer in der Laserzündkerze (1) angeordneten Pumplichtquelle (12), wobei die Laserzündkerze (1) im Zylinderkopf (101) der Brennkraftmaschine (100) lösbar befestigt ist, wobei die Laserzündkerze (1) einen Kühlluft einlass (30), einen Kühlluft auslass (32) und einen den



Kühlflutfeinlass (30) mit dem Kühlflutauslass (32) verbindenden Kühlbereich (24) aufweist, wobei der Kühlbereich (24) die Pumplichtquelle (12) zumindest bereichsweise umgibt und wobei der Kühlflutfeinlass (30) der Laserzündkerze (1) mit einer Verdichtungseinrichtung (122) verbunden ist.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlflutauslass (32) der Laserzündkerze (1) in Strömungsrichtung offen ist.

10. Anordnung nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdichtungseinrichtung (122) eine Temperiereinrichtung (126) nachgeordnet ist.

11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ladeluftkühler für die Ladeluft der Brennkraftmaschine (100) vorgesehen ist, wobei die Temperiereinrichtung (112) mit dem Ladeluftkühler verbunden ist.

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Laserzündkerzen (1) vorgesehen sind, wobei für wenigstens zwei Laserzündkerzen (1) eine gemeinsame Verdichtungseinrichtung (112) vorgesehen ist.

13. Ottomotorisch betreibbare Brennkraftmaschine (100), umfassend einen Aufnahmebereich (108) für eine Laserzündkerze (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei eine Verdichtungseinrichtung (122) vorgesehen ist, welche mit einem Adapter (150) verbunden ist, welcher mit der Laserzündkerze (1) lösbar verbindbar ist.

14. Brennkraftmaschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Adapter (150) einen im Wesentlichen ringförmigen Kanal (152) aufweist.

15. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (100) wobei eine Laserzündkerze (1), welche eine Pumplichtquelle (12) und einen von der Pumplichtquelle (12) gepumpten Laserresonator (6) aufweist, ein Treibstoff/Luftgemisch in einem Brennraum (102) der Brennkraftmaschine (100) zündet, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserzündkerze (1) mit Luft gekühlt wird, wobei jeder Laserzündkerze (1) Luft mit einem Überdruck von wenigstens 0,1 bar zugeführt wird.

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: F02P 23/04 (2006.01)
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß ECLA: F02P 23/04
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): F02P
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC WPI INSPEC

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **6. September 2011** eingereichten Ansprüchen **1-15** erstellt.

Kategorie ¹	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 102009000487 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 05. August 2010 (05.08.2010) gesamtes Dokument	1- 3, 6, 7, 9, 15
A	detto	4, 5, 8, 10- 14
X	DE 102009047010 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 26. Mai 2011 (26.05.2011) Fig 1 und Beschreibung	1- 3, 6, 7, 9, 15
X	JP 2006274940 A (DENSO CORP, NIPPON SOKEN INC) 12. Oktober 2006 (12.10.2006) Zusammenfassung, Absatz 0021 der Englischen MÜ	1- 3, 6, 7, 9, 15

Datum der Beendigung der Recherche: 8. März 2012	<input type="checkbox"/> Fortsetzung siehe Folgeblatt	Prüfer(in): SCHLECHTER B.
---	---	------------------------------

¹ Kategorien der angeführten Dokumente:	
X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.
	E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein älteres Recht hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
	& Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.