



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.03.2005 Patentblatt 2005/13

(51) Int Cl.7: **F02P 23/04**, H01S 3/0941,
H01S 3/042

(21) Anmeldenummer: **03021446.4**

(22) Anmeldetag: **23.09.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

- **Kroupa, Gerhard, Dipl.-Ing.**
9500 Villach (AT)
- **Mannheim, Volker**
9523 Landskron (AT)
- **Binder, Alfred, Dipl.Ing.**
9523 Landskron (AT)

(71) Anmelder: **AVL List GmbH**
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Babeluk, Michael, Dipl.-Ing.**
Patentanwalt,
Mariahilfer Gürtel 39/17
1150 Wien (AT)

(72) Erfinder:
• **Winklhofer, Ernst, Dipl.-Ing.Dr.**
8565 St. Johann ob Hohenburg 1 (AT)
• **Franz, Georg, Dipl.-Ing.**
9500 Villach (AT)

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 86 (2)
EPÜ.

(54) **Laser-Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft eine Laser-Zündeinrichtung (1) für eine Brennkraftmaschine, mit einem gütegeschalteten, gepumpten Festkörperlaser mit einer gepulsten Pump-Lichtquelle (30), einem in einen Resonator (9) eingebetteten festen Laserkristall (2), einem Güteschalter (4) zur Erhöhung der Leistungsdichte, zumindest einem Auskoppelspiegel (6) und einer Fokussiereinrichtung (7), über welche der Laserstrahl (26) in einem Brennraum fokussierbar ist. Es ist vorgesehen, dass Pump-Lichtquelle (30), Resonator (9) samt Laserkristall (2), Güteschalter (4), Auskoppelspiegel (6), Fokussiereinrichtung (7) sowie eine Kühleinrichtung (11) zur Kühlung des Resonators (9) in einem einzigen, in einen Zündkerzenschacht (31) der Brennkraftmaschine einsetzbaren Bauteil integriert sind. Die Laser-Zündeinrichtung (1) kann sehr kompakt ausgeführt werden und lässt sich in vorhandene Zündkerzenschächte (31) von Zylinderköpfen (32) von Brennkraftmaschinen einbauen.

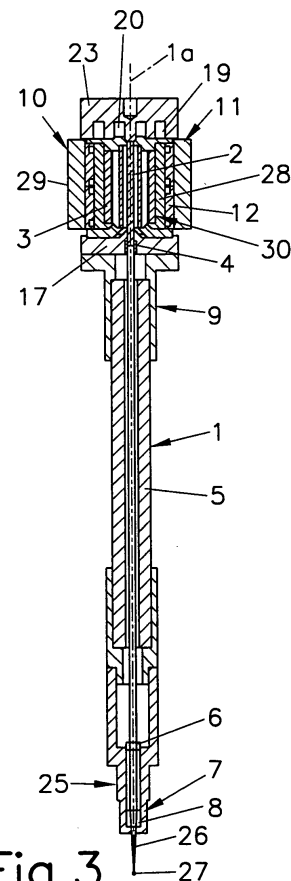


Fig.3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Laser-Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine, mit einem gütegeschalteten, gepumpten Festkörperlaser mit einer gepulsten Pump-Lichtquelle, einem in einen Resonator eingebetteten festen Laserkristall, einem Güteschalter zur Erhöhung der Leistungsdichte, zumindest einem Auskoppelspiegel und einer Fokussiereinrichtung, über welche der Laserstrahl in einem Brennraum fokussierbar ist.

[0002] Aus der US 4,416,226 ist eine Laser-Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine bekannt, wobei der Resonator des Lasers samt fotooptischer Fokussiereinrichtung in eine Zylinderkopfbohrung so eingeschraubt ist, dass die Zündeinrichtung direkt in den Brennraum einmündet. Die Laser-Zündeinrichtung wendet dabei das Prinzip eines Festkörperlasers mit einer gepulsten Pump-Lichtquelle an. Dies hat den Vorteil, dass mit relativ geringem Energieaufwand hohe Pulsenergien erreicht werden können. Als Pump-Lichtquelle wird dabei eine Blitzlampe verwendet. Zur Erhöhung der Leistungsdichte wird ein aktiv schaltbarer Güteschalter ("Q-Switch") eingesetzt. Beim sogenannten "Q-switching" wird die Energie während des Pumpvorganges des aktiven Mediums in der Laser-Kavität gespeichert und während einer sehr kurzen Emissionszeit freigesetzt. Hieraus resultiert ein extrem energiereicher Laserpuls. Aktiv schaltbare Güteschalter haben aber den Nachteil, dass für die Steuerung ein erheblicher Schaltungsaufwand erforderlich ist, und dass sie für schnelle Impulsfolgen weniger gut geeignet sind. Die fotooptische Einrichtung der bekannten Laserzündvorrichtung weist drei Linsen auf. Zusammen mit dem aktiven Güteschalter und der durch eine Blitzlampe gebildeten Pump-Lichtquelle ergibt sich der gravierendste Nachteil, dass die Einrichtung nicht zur Gänze in einem in einen Zündkerzenschacht einschraubbaren Bauteil untergebracht werden kann. Über die bei gepumpten Festkörperlasern erforderliche Kühlung des Laserkristalls und der Lichtquelle sind der Druckschrift keine Informationen zu entnehmen.

[0003] Die US 6,413,077 B1 beschreibt eine Laserzündeinrichtung, bei der mehrere Laser, und zwar ein Anregungslaser und ein Zündlaser zum Einsatz kommen. Mittels eines Güteschalters werden die Pulse des Anregungslasers und des Zündlasers aufsummiert und somit die für eine Zündung erforderliche Energiedichte bereitgestellt. Diese bekannte Zündeinrichtung hat den Nachteil eines sehr hohen konstruktiven Aufwandes und benötigt zu viel Bauraum, um anstelle einer Zündkerze in einer Brennkraftmaschine eingesetzt werden zu können.

[0004] Der Einsatz einer Laserzündung anstelle einer Funkenzündung bietet eine Reihe an Vorteilen. Zum einen benötigt der relativ frei wählbare Ort des Zündplasmas keinerlei materielle Struktur, die den Verbrennungsvorgang stören könnte. Weiters lässt die Wahl

des Zündortes eine Optimierung des Verbrennungsvorganges zu, gegebenenfalls auch eine Mehrfachzündung. Die hohen Zünddrücke, wie sie bei Gasmotoren auftreten, kommen der Laserzündung entgegen, da die benötigte Pulsenergie bei höheren Drücken abnimmt. Mit der Laserzündung lassen sich noch magere Gemische zünden, wodurch sich sehr niedrige NO_x -Emissionswerte erzielen lassen.

[0005] Aus der Literatur ist es bekannt, dass ein fokussierter Laser auf einen hinreichend kleinen Fokusedurchmesser mit genügend Intensität zu einer Plasmabildung und zu einer lokalen Temperaturerhöhung und somit zu einer Zündung eines explosiven Gemisches führt. Für praktische Gasgemische wird vorwiegend der Lawineneffekt freier Elektronen für die Plasmabildung erklärt. Der Effekt ist dann praktisch unabhängig von der verwendeten Wellenlänge.

[0006] In der US 5,673,550 A wird die Zündung von Kraftstofftröpfchen unter Plasmabildung innerhalb des Kraftstoff-Luftnebels mittels eines über eine kohärente Lichtquelle gepulsten Lasers beschrieben.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, eine für den praktischen Einsatz in Brennkraftmaschinen geeignete Laserzündeinrichtung zu schaffen, welche nur wenig Bauraum beansprucht und welche mit geringem konstruktiven Aufwand in Brennkraftmaschinen eingesetzt werden kann.

[0008] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass Pump-Lichtquelle, Resonator samt Laserkristall, Güteschalter, Auskoppelspiegel, Fokussiereinrichtung, sowie eine Kühleinrichtung zur Kühlung des Resonators in einem einzigen, in einen Zündkerzenschacht einsetzbaren Bauteil integriert sind.

[0009] Durch die Verwendung eines gütegeschalteten, gepumpten Festkörperlasers können hohe Pulsenergien erreicht werden. Die wesentlichsten Elemente sind kompakt in einem einzigen Bauteil zusammengefasst, welcher sich anstelle einer Zündkerze in den Zündkerzenschacht einer Brennkraftmaschine einschrauben lässt.

[0010] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Pump-Lichtquelle durch Pumpdioden gebildet ist. Pumpdioden haben im Vergleich zu Blitzlampen den Vorteil eines höheren Wirkungsgrades.

[0011] Die Laserdioden werden dabei mit einer Pulsenergie von einigen mJ und etwa 100-200µs gepulst betrieben, wodurch die Leistung pro Diode auf einige 10W beschränkt bleibt.

[0012] Hochleistungslaserdioden bestehen aus einem Array von vielen Einzeldioden und erreichen dadurch eine sehr hohe Pulsenergie. Durch die große Emissionsfläche und die nicht kontinuierliche Verteilung (geringe Güte) kann der Laserstrahl allerdings nur sehr schlecht fokussiert werden. Durch den langen Resonator kann mit einem Festkörperlaser eine wesentlich höhere Strahlgüte und damit geringerer Fokusedurchmesser erreicht werden

[0013] Der für die erfindungsgemäße Laser-Zündein-

richtung verwendete gepulste Festkörperlaser ist aus den vier Hauptkomponenten Pumpdioden, Kristallstab, Resonator mit Auskoppelspiegel, Güteschalter (Q-Switch) und Fokussiereinrichtung aufgebaut. Über die Einstrahlung der Pumpdioden werden metastabile Energieniveaus im Laserkristall angeregt und die Energie damit gespeichert. Aufgrund einer geringen spontanen Emission beginnt der Laserkristall Licht auf der Laserwellenlänge (1064nm) zu emittieren.

[0014] Zur Verstärkung und Kohärenz des Lichtes ist der Laserkristall in einen optischen Resonator eingebettet, dessen Güte mit dem Güteschalter bei Erreichen der gewünschten Leistungsdichte pulsartig erhöht wird. Dadurch erhält man am Auskoppelspiegel einen kurzen, hohen Laserpuls. Es wird dabei ein passiver Güteschalter verwendet, welcher einerseits eine hohe Verstärkung, andererseits kurze Energieimpulse ohne aufwändige Steuerung ermöglicht.

[0015] Die Geometrie des Resonators ergibt sich aus der Forderung, dass die Pumpdioden am oberen Ende des Zündkerzenschachts angeordnet sein müssen. Zur Erzielung einer hohen Güte ist ein möglichst großer Abstand zwischen dem Laserkristall und dem Auskoppelspiegel nötig. Daraus ergibt sich die längliche Bauform, wobei sich der Kopfbereich mit Laserkristall an einem Ende und der Auskoppelspiegel am anderen Ende eines Tubus befinden.

[0016] An den Auskoppelspiegel schließt die aus einer einzigen Fokuslinse bestehende Fokussiereinrichtung an. Dies ermöglicht eine sehr kleine Bauweise.

[0017] Da die Wellenlänge der Pumpdioden sich mit der Temperatur des Lasersubstrats ändert und der Laserkristall eine nur sehr schmale Absorptionslinie besitzt, müssen die Pumpdioden thermisch stabilisiert werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass zumindest zwei, vorzugsweise drei verschiedene Kühlsysteme für eine thermische Stabilisierung des Resonators von Vorteil sind. Für zumindest ein Kühlsystem bietet sich das temperaturgeregelte Kühlwasser der Brennkraftmaschine an. Da aber die Pumpdioden auf einem wesentlich niedrigeren Temperaturniveau als die Kühlwassertemperatur betrieben werden müssen, ist der Einsatz von thermoelektrischen Kühlelementen (Peltier-Kühlelementen) in diesem Fall erforderlich. Zumindest ein Kühlsystem weist daher zumindest ein Peltier-Kühlelement auf. Dabei ist vorgesehen, dass zur Kühlung des Laserkristalls und/oder der Pumpdioden der Resonator einen ersten inneren Kühlmittelkreislauf aufweist. Die Wärme des inneren Kreislaufes wird über einen Wärmeverteiler an zumindest ein Peltier-Kühlelement abgeleitet. Besonders vorteilhaft ist es, wenn zur Wärmeabfuhr vom Peltier-Kühlelement der Resonator zumindest einen äußeren zweiten Kühlmittelkreislauf aufweist. Zumindest eines der Kühlsysteme kann dabei auch zum Aufwärmen der Pumpdioden ausgelegt sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn bei Kaltstart die Pumpdioden durch das Peltier-Kühlelement auf die Betriebstemperatur erwärmbar sind.

[0018] Der Laserkristall kann prinzipiell entweder aus ND:YAG (Neodym:YAG) oder aus ND:YVO₄ (Neodym : Vanadat) bestehen. ND:YAG ist weit verbreitet, kostengünstig und mechanisch gut belastbar, hat aber eine weit schmalere Absorptionslinie als ND:YVO₄. Der Einsatz von ND:YAG-Laserkristallen bedingt somit eine besonders gute Kühleinrichtung.

[0019] Eine sehr effektive Wärmeabfuhr aus dem Laserkristall wird erreicht, wenn der Laserkristall von zumindest einem vorzugsweise ringförmigen ersten Kühlkanal umgeben ist.

[0020] Um eine sehr kompakte Bauweise der Zündeinrichtung zu ermöglichen, ist im Rahmen der Erfindung vorgesehen, dass mehrere Pumpdioden konzentrisch um den Laserkristall angeordnet sind, wobei vorzugsweise mindestens drei, besonders vorzugsweise mindestens sechs Pumpdioden gleichmäßig um den Laserkristall herum angeordnet sind. Die Pumpdioden sind dabei vorteilhafter Weise in Serie geschaltet sind. Der Laserkristall wird somit durch die Pumpdioden seitlich, das heißt radial, gepumpt. Zur Erhöhung der Pulsenergie können auch mehrere Ringe von Pumpdioden konzentrisch hintereinander um den Laserkristall herum angeordnet sein.

[0021] Als Kühlmedium kann zumindest für den zweiten äußeren Kühlkreislauf Wasser zur Anwendung kommen.

[0022] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Laser-Zündeinrichtung in einer Schrägansicht,

Fig. 2 den Kopfteil der Laser-Zündeinrichtung im Detail in einer Schrägansicht,

Fig. 3 die Laser-Zündeinrichtung in einem Längsschnitt,

Fig. 4 den Kopfteil der Laser-Zündeinrichtung in einer geschnittenen Schrägansicht gemäß der Linie IV-IV in Fig. 1,

Fig. 5 den Fußteil der Laser-Zündeinrichtung in einer geschnittenen Schrägansicht,

Fig. 6 die Laser-Zündeinrichtung schematisch in einem Längsschnitt gemäß der Linie VI-VI in Fig. 7,

Fig. 7 die Laser-Zündeinrichtung in einem Schnitt gemäß der Linie VII-VII in Fig. 6 und

Fig. 8 einen Zylinderkopf mit einer eingebauten Laser-Zündeinrichtung.

[0023] Die Laser-Zündeinrichtung 1 besteht aus den Hauptkomponenten Laserkristall 2, Pumplichtquelle 30,

passiver Güteschalter 4, Tubus 5, Auskoppelspiegel 6 und Fokussiereinrichtung 7 mit einer Fokussierlinse 8, sowie einer Kühleinrichtung 11.

[0024] Ein hoher Wirkungsgrad lässt sich erzielen, wenn die Pumplichtquelle 30 durch Pumpdioden 3 gebildet ist.

[0025] Über die Einstrahlung der Pumpdioden 3 (808nm) werden metastabile Energieniveaus im Laserkristall 2 angeregt und die Energie damit gespeichert. Aufgrund einer geringen spontanen Emission beginnt der Laserkristall 2 Licht auf der Laserwellenlänge (1064nm) zu emittieren.

[0026] Zur Verstärkung und Kohärenz des Lichts ist der Laserkristall 2 in einen optischen Resonator 9 eingebettet, dessen Güte mit dem passiven Güteschalter 4 bei Erreichen der gewünschten Leistungsdichte pulsartig erhöht wird. Dadurch erhält man am Auskoppelspiegel 6 einen kurzen, starken Laserpuls 26.

[0027] Einzelne Pumpdioden 3 sind in Serie geschaltet und ringförmig seitlich um den Laserkristall 2 angeordnet.

[0028] Die Pumpdioden 3 müssen aufgrund stark eingeschränkter Lebensdauer bei höherer Betriebstemperatur bei relativ niedriger Temperatur von etwa 30°C betrieben werden. Darüber hinaus ändert sich die Wellenlänge der Pumpdioden 3 mit der Temperatur. Da der aus Neodym:YAG (ND:YAG) bestehende stabförmige Laserkristall 2 eine nur sehr schmale Absorptionslinie besitzt, müssen die Pumpdioden 3 thermisch stabilisiert werden. Dazu ist im Kopfbereich 10 der Laser-Zündeinrichtung 1 die Kühleinrichtung 11 vorgesehen.

[0029] Die Kühleinrichtung 11 beinhaltet drei verschiedene Kühlsysteme A, B, C. Das erste Kühlsystem A weist ringförmig um den Wärmeverteiler 28 verteilte Peltier-Kühlelemente 12 auf. Zur besseren Wärmeabfuhr sind weiters die Kühlsysteme B, C mit zwei Flüssigkeits-Kühlkreisläufen 13, 14 vorgesehen. Das Kühlmittel des Kühlkreislaufts 13 durchströmt den Kopfteil 10 im Wesentlichen in Richtung der Achse 1a der Laser-Zündeinrichtung 1.

[0030] Der erste Kühlkreislauf 13 hat die Aufgabe, den Laserkristall 2 thermisch zu stabilisieren und dessen Verlustwärme an den Wärmeverteiler 28 zu übertragen. Der Laserkristall 2 ist dabei von zumindest einem ersten Kühlkanal 16 umgeben, welcher als Ringkanal ausgebildet sein kann, wie aus Fig.7 hervorgeht. An Stelle eines Ringkanals können auch mehrere erste Einlasskanäle 16 rund um den Laserkristall 2 angeordnet sein. Über zumindest eine Eintrittsöffnung 19a und einen Verteilerringraum 19 wird das Kühlmittel dem ersten Kühlkanal 16 zu-, und über einen Sammelringraum 20 und Austrittsöffnungen 20a wieder abgeführt. Die Verlustwärme des Laserkristalls 2 wird zumindest teilweise beim Durchströmen der Ringräume 19, 20 an die Flanschplatte 17 und die Anschlussplatte 23 übertragen, diese wiederum übertragen die Wärme durch Wärmeleitung an den Wärmeverteiler 28.

[0031] Gegebenenfalls kann auch der Wärmevertei-

ler 28 axiale Kühlkanäle 15 aufweisen, wie in Fig. 4 und 6 durch strichlierte Linien angedeutet ist. Das Kühlmittel tritt dabei durch Zutrittsöffnungen 19a in den Verteilerringraum 19 ein, durchströmt die ersten Kühlkanäle 15 des Wärmeverteilers 28 und wird über den Übertrittskanal 18 in den Kühlkanal 16 geleitet. Danach strömt es durch den Sammelringraum 20 und Austrittsöffnungen 20a zu einer externen Pumpe.

[0032] Der zweite Kühlkreislauf 14 weist Eintrittsöffnungen 21 im äußeren Wärmetauscher 29 auf, welche zu zweiten Kühlkanälen 24 und weiter zu Austrittsöffnungen 22 führen. Das beispielsweise durch Wasser gebildete Kühlmittel gelangt über die Eintrittsöffnungen 21 in die zweiten Kühlkanäle 24, durchströmt den äußeren Wärmetauscher 29 und verlässt die Laser-Zündeinrichtung 1 wieder im Bereich der Austrittsöffnungen 22. Über die zweiten Kühlkanäle 24 wird also vor allem Wärme aus den Peltier-Kühlelementen 12 über den äußeren Wärmetauscher 29 abgeführt.

[0033] Durch die aus drei Kühlsystemen A, B, C - nämlich Peltier-Kühlelemente 12, erstem Kühlkreislauf 13 und zweitem Kühlkreislauf 14 - bestehende Kühleinrichtung 11 ist es möglich, als Material für den Laserkristall 2 das weit verbreitete, kostengünstige und mechanisch gut belastbare Neodym :YAG und als Pumplichtquelle Pumpdioden 3 zu verwenden. Durch die Kühleinrichtung 11 können die Pumpdioden 3 thermisch auf etwa 30°C stabilisiert werden, was sich vorteilhaft auf deren Lebensdauer auswirkt. Andererseits kann durch die thermische Stabilisierung erreicht werden, dass die Wellenlänge der Pumpdioden 3 stets innerhalb der schmalen Absorptionslinie des Laserkristalls 2 bleibt.

[0034] Der Laserkristall 2 ist im Bereich der stirnseitigen Anschlussplatte 23 für die Laserwellenlänge (1064nm) verspiegelt und am anderen Ende antireflektierend beschichtet.

[0035] Die Form der Laser-Zündeinrichtung 1 ergibt sich aus der Forderung, dass diese anstelle einer Zündkerze in den Zündkerzenschacht 31 eines Zylinderkopfes 32 montierbar sein soll und aus der Randbedingung, dass die Pumpdioden 3 im Kopfbereich 10 der Laser-Zündeinrichtung 1 angeordnet sein müssen. Zur Erzielung einer hohen Strahlgüte ist ein möglichst großer Abstand zwischen dem Laserkristall 2 und dem Auskoppelspiegel 6 nötig. Der Auskoppelspiegel 6 ist daher im Fußbereich 25 der Laser-Zündeinrichtung 1 brennraumnahe angeordnet. Kurz nach dem Auskoppelspiegel 6 befindet sich die Fokussiereinrichtung 7 mit einer einzigen Fokussierlinse 8, die gleichzeitig das Fenster zum Brennraum bildet und als plano-sphärische Linse ausgebildet ist. Als Material für die Fokussierlinse 8 eignet sich beispielsweise Saphir.

[0036] Der zweite Kühlkreislauf 14 kann mit der vorhandenen Wasserkühlung des Motors gekoppelt sein. Für den ersten Kühlkreislauf sind höhere optische, qualitative und thermische Bedingungen zu erfüllen, sodass hier ein eigenes Kühlmittel erforderlich ist.

[0037] Die Pumpdioden 3 müssen aufgrund stark ein-

geschränkter Lebensdauer bei höherer Betriebstemperatur bei etwa 30°C betrieben werden. Der Verlustwärmestrom wird über einen Wärmeverteiler 28, welcher aus Kupfer besteht, an die Peltier-Kühlelemente 12 abgeleitet, die den Wärmestrom auf das Temperaturniveau des Motorkühlwassers transformieren und über den äußeren Wärmetauscher 29 an dieses abgeben.

[0038] Da sich die Wellenlänge der Pumpdioden 3 mit der Temperatur verschiebt und das Absorptionsband des Laserkristalls 2 extrem schmal ist, muss eine schnelle und genaue Temperaturregelung vorgesehen sein. Die Temperatur auf der kalten Seite sollte dabei maximal um etwa +/- 1,5°C vom Sollwert abweichen. Um dies zu erreichen, werden die Peltier-Kühlelemente 12 mit mindestens einem Temperatursensor und einer Stromquelle in einem geschlossenen Regelkreis betrieben.

[0039] Über die vorzugsweise sechs rund um den Laserkristall 2 angeordneten Pumpdioden 3 werden Lichtimpulse dem Laserkristall 2 zugeführt. Über die Einstrahlung der Pumpdioden 3 (808nm) werden metastabile Energieniveaus im Laserkristall 2 angeregt und die Energie damit gespeichert. Aufgrund einer geringen spontanen Emission beginnt der Laserkristall 2 Licht auf der Laserwellenlänge (1064nm) zu emittieren. Zur Verstärkung und Kohärenz des Lichtes ist der Laserkristall 2 in einen optischen Resonator 9 eingebettet, dessen Güte mit dem passiven Güteschalter 4 (Q-Switch) bei Erreichen der gewünschten Leistungsdichte pulsartig erhöht wird. Dadurch erhält man am Auskoppelspiegel 6 einen hohen, kurzen Laserpuls 26, welcher über die Fokussierlinse 8 in einem Brennpunkt 27 fokussiert wird.

[0040] Wie aus Fig. 8 ersichtlich ist, kann die Laser-Zündeinrichtung 1 zur Gänze im Zündkerzenschacht 31 eines Zylinderkopfes 32 einer Brennkraftmaschine angeordnet werden. Die Laser-Zündeinrichtung 1 eignet sich somit für den Einsatz in bestehende konventionelle Zylinderkopfkonzepte für fremdgezündete Brennkraftmaschinen. Um Verunreinigungen der Fokussiereinrichtung möglichst gering zu halten schließt die Fokussierlinse 8 zum Brennraum 33 hin plan an die Zylinderkopfddeckfläche 34 an.

Patentansprüche

1. Laser-Zündeinrichtung (1) für eine Brennkraftmaschine, mit einem gütegeschalteten, gepumpten Festkörperlaser mit einer gepulsten Pump-Lichtquelle (30), einem in einen Resonator (9) eingebetteten festen Laserkristall (2), einem Güteschalter (4) zur Erhöhung der Leistungsdichte, zumindest einem Auskoppelspiegel (6) und einer Fokussiereinrichtung (7), über welche der Laserstrahl (26) in einem Brennraum fokussierbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** Pump-Lichtquelle (30), Resonator (9) samt Laserkristall (2), Güteschalter (4),

Auskoppelspiegel (6), Fokussiereinrichtung (7) sowie eine Kühleinrichtung (11) zur Kühlung des Resonators (9) in einem einzigen, in einen Zündkerzenschacht (31) der Brennkraftmaschine einsetzbaren Bauteil integriert sind.

2. Zündeinrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pump-Lichtquelle (30) durch Pumpdioden (3) gebildet ist.

3. Zündeinrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Güteschalter (4) passiv ausgebildet ist.

4. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fokussiereinrichtung (7) eine einzige Fokussierlinse (8) aufweist.

5. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühleinrichtung (11) mindestens zwei, vorzugsweise drei verschiedene Kühlsysteme (A, B, C) aufweist.

6. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Kühlung der Pumpdioden (3) der Resonator (9) zumindest ein Peltier-Kühlelement (12) aufweist.

7. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Kühlung des Laserkristalls (2) der Resonator (9) einen inneren ersten Kühlmittelkreislauf (13) aufweist.

8. Zündeinrichtung (1) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Wärmeabfuhr vom Peltier-Kühlelement (12) der Resonator (9) zumindest einen äußeren zweiten Kühlmittelkreislauf (14) aufweist.

9. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laserkristall (2) von zumindest einem vorzugsweise ringförmigen ersten Kühlkanal (16) umgeben ist.

10. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Pumpdioden (3) konzentrisch um den Laserkristall (2) angeordnet sind.

11. Zündeinrichtung (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest drei, vorzugsweise zumindest sechs Pumpdioden (3) gleichmäßig um den Laserkristall herum angeordnet sind.

12. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Kaltstart die Pumpdioden (3) durch das Peltier-Kühlele-

ment (12) auf die Betriebstemperatur erwärmbar sind.

13. Zündeinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpdioden (3) in Serie geschaltet sind. 5

10

15

20

25

30

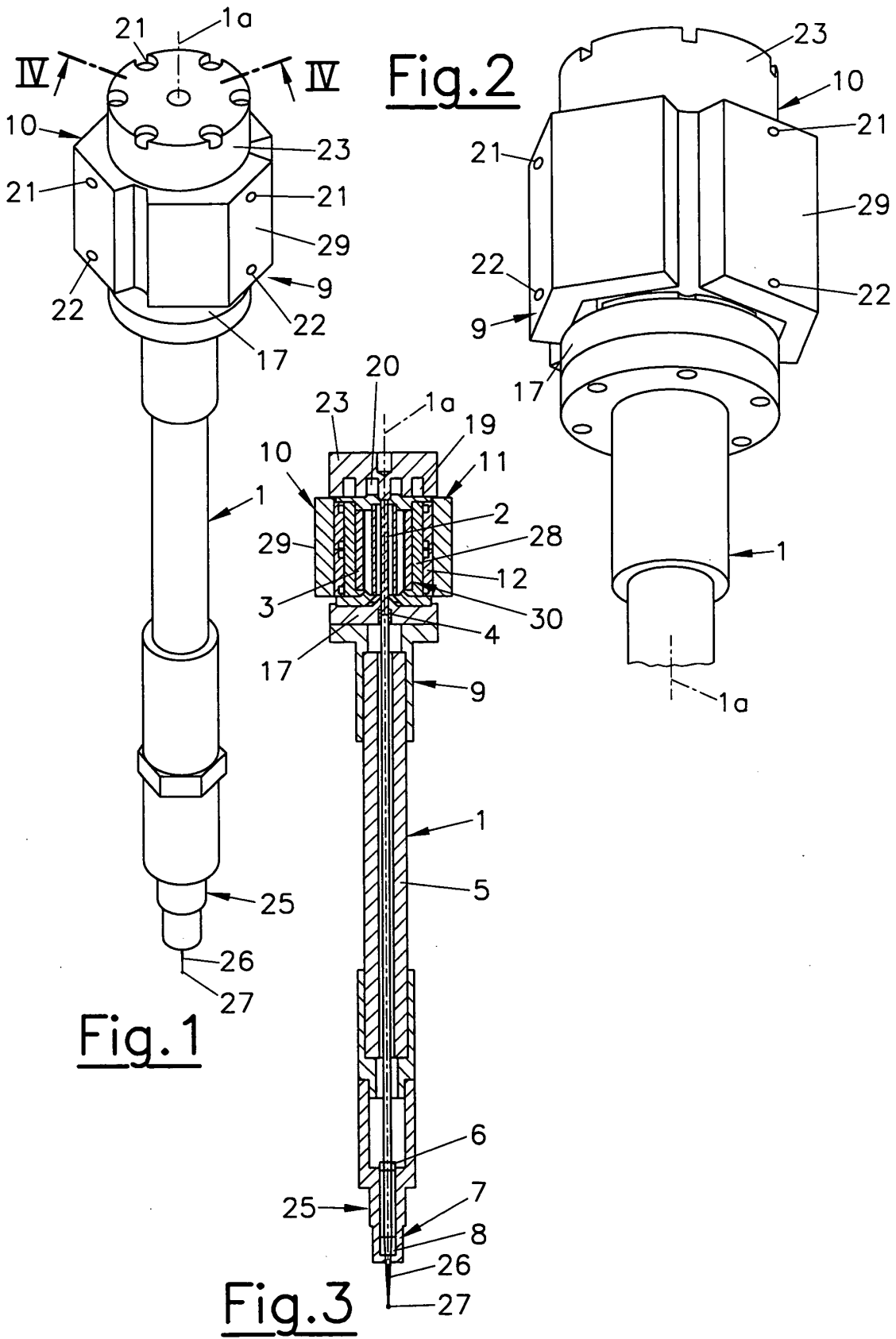
35

40

45

50

55



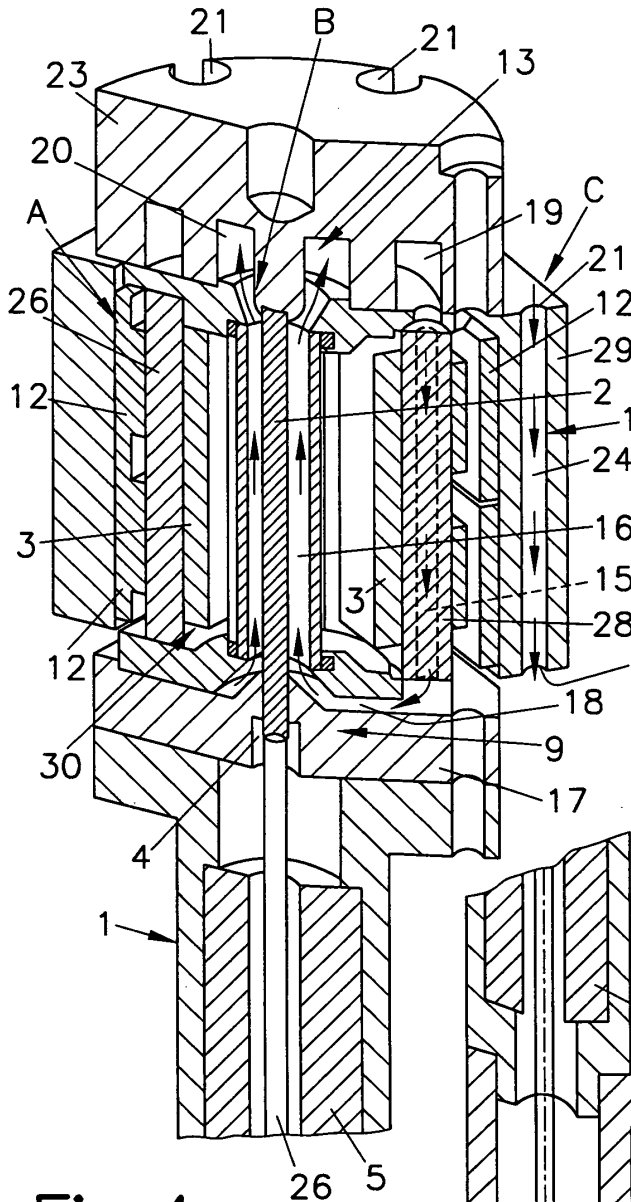


Fig. 4

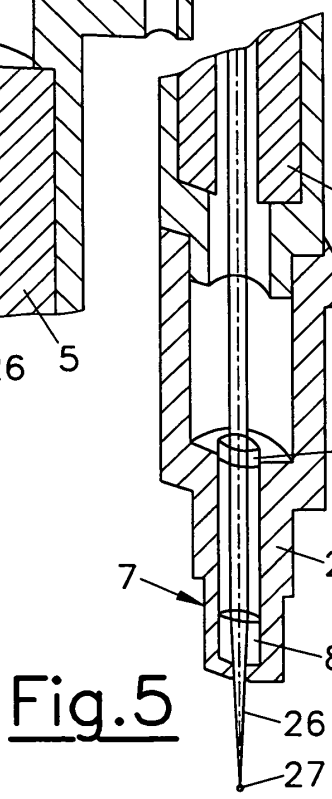


Fig. 5

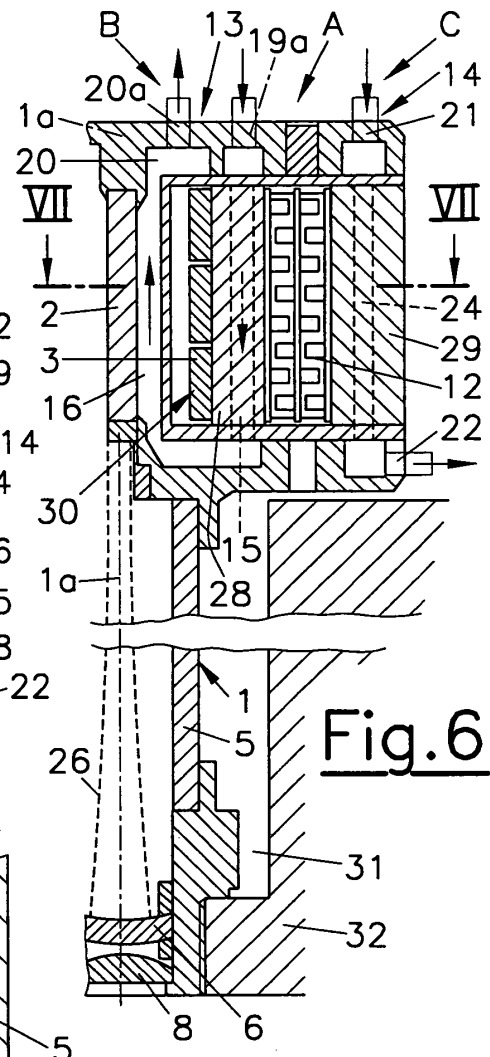


Fig. 6

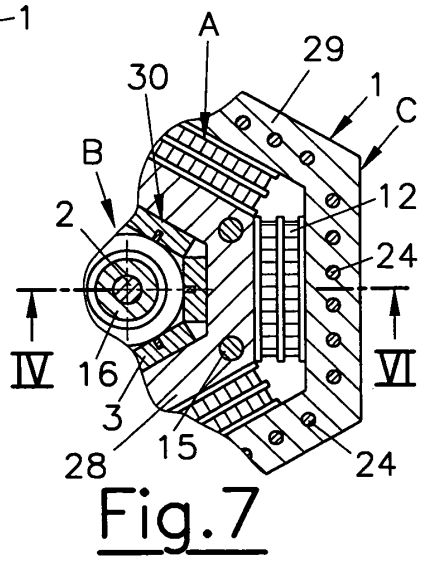


Fig. 7

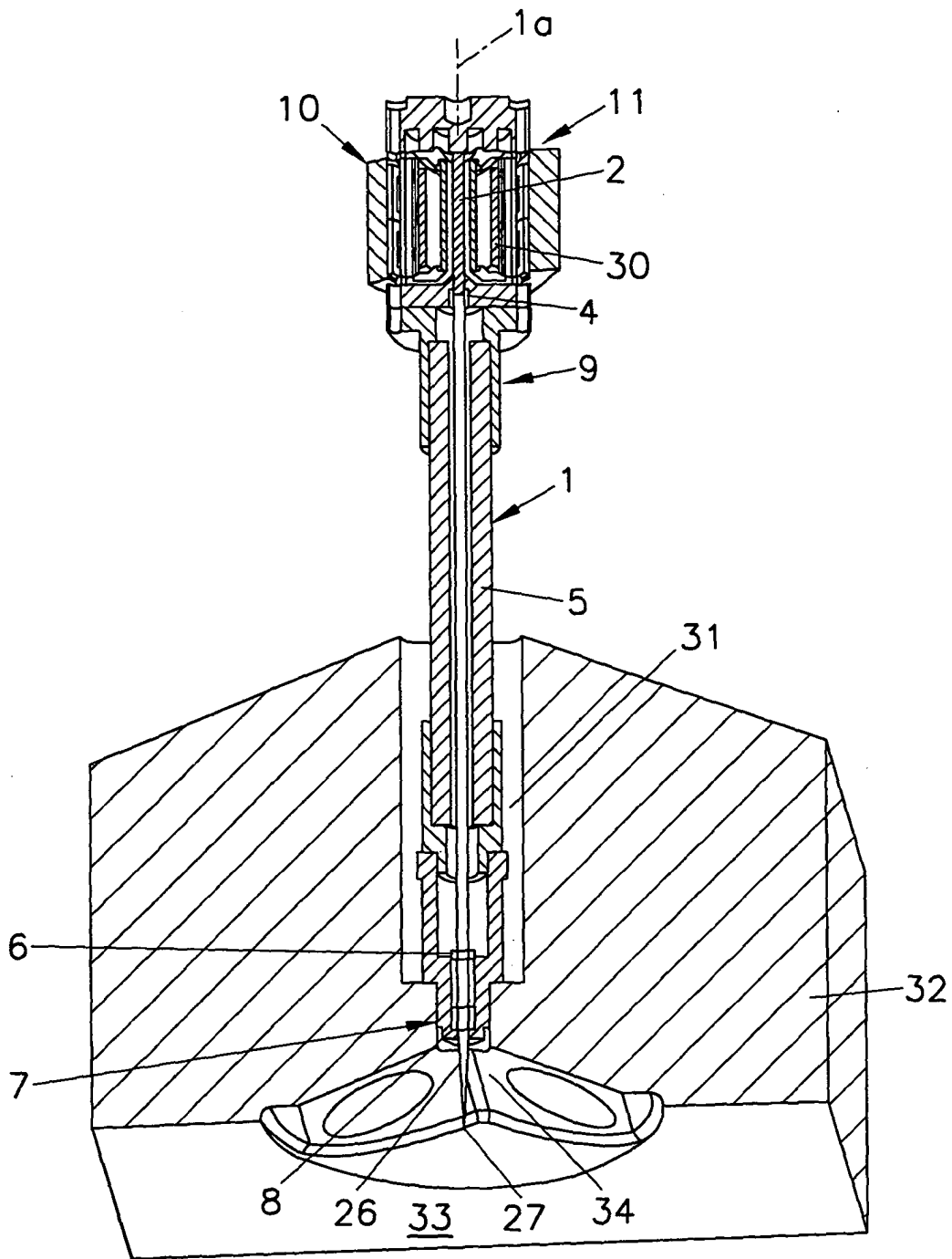


Fig.8



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 4 434 753 A (GOTO TUKASA ET AL) 6. März 1984 (1984-03-06) * Abbildung 7 * * Spalte 3, Zeile 30-32 * * Spalte 3, Zeile 60,61 * * Spalte 6, Zeile 62-68 * ---	1-11,13	F02P23/04 H01S3/0941 H01S3/042
X	DE 37 36 442 A (FREIBERG BRENNSTOFFINST) 26. Mai 1988 (1988-05-26) * Anspruch 1; Abbildung 1 * * Spalte 4, Zeile 8-12 * * Spalte 4, Zeile 21,22 * ---	1-11,13	
D,X	US 4 416 226 A (NISHIDA MINORU ET AL) 22. November 1983 (1983-11-22) * Abbildung 1 * * Spalte 3, Zeile 15-18 * ---	1-11,13	
A	EP 1 278 278 A (NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSI) 22. Januar 2003 (2003-01-22) * das ganze Dokument * ---	2,10,11,13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	US 4 191 931 A (KUPPENHEIMER JOHN D) 4. März 1980 (1980-03-04) * das ganze Dokument * ---	3	F02P H01L H01S F02C F23Q H01T
A	US 6 282 217 B1 (TAKASE TOMOHIRO) 28. August 2001 (2001-08-28) * Abbildungen 7,8 * ---	2,5-11	
A	US 5 521 936 A (IRWIN TIMOTHY L) 28. Mai 1996 (1996-05-28) * Anspruch 1; Abbildung 2 * -----	2,5-11,13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 10. Februar 2004	Prüfer Ulivieri, E
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE**

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung mehr als zehn Patentansprüche.

- Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die ersten zehn sowie für jene Patentansprüche erstellt, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:
- Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die ersten zehn Patentansprüche erstellt.

MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

Siehe Ergänzungsblatt B

- Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.
- Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
- Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:
- Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:



Europäisches
Patentamt

**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung
EP 03 02 1446

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 1-4,10,11,13

Fokussiereinrichtung und Lichtquelle-Einrichtung für eine Laser-Zündeinrichtung für Brennkraftmaschine.

2. Ansprüche: 1,5-9

Kühleinrichtung eines Laser-Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine.

3. Ansprüche: 1,12

Laser-Zündeinrichtung für Brennkraftmaschine mit Massnahme bei Kaltstart.

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 03 02 1446

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-02-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4434753	A	06-03-1984	JP	57188774 A	19-11-1982
			JP	58074875 A	06-05-1983

DE 3736442	A	26-05-1988	DD	261289 A3	26-10-1988
			AT	251687 A	15-07-1994
			AU	8093587 A	12-05-1988
			CS	8706997 A1	14-08-1989
			DE	3736442 A1	26-05-1988
			JP	63135717 A	08-06-1988

US 4416226	A	22-11-1983	JP	57200672 A	08-12-1982

EP 1278278	A	22-01-2003	EP	1278278 A1	22-01-2003
			US	2003016719 A1	23-01-2003

US 4191931	A	04-03-1980	KEINE		

US 6282217	B1	28-08-2001	JP	2000082860 A	21-03-2000
			DE	19908516 A1	16-03-2000

US 5521936	A	28-05-1996	KEINE		

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82