



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 029 996 A1** 2008.01.03

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 029 996.5**

(22) Anmeldetag: **29.06.2006**

(43) Offenlegungstag: **03.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02P 23/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

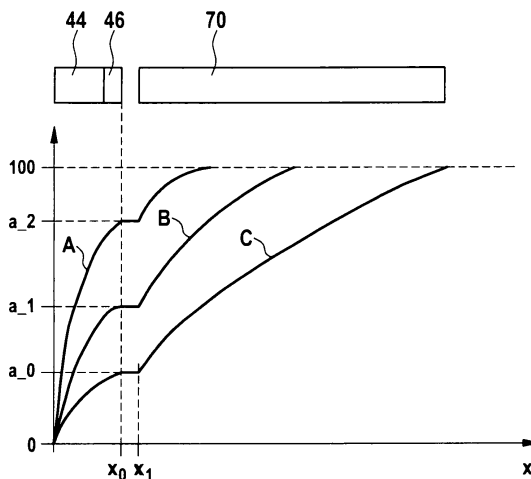
(72) Erfinder:

**Vogel, Manfred, 71254 Ditzingen, DE; Herden,  
Werner, 70839 Gerlingen, DE; Ridderbusch, Heiko,  
70567 Stuttgart, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Betriebsverfahren für eine Zündeinrichtung und Zündeinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine (10), insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer Lasereinrichtung (26), die einen laseraktiven Festkörper (44) mit einer passiven Güteschaltung (46) sowie einen der passiven Güteschaltung (46) nachgeschalteten optischen Verstärker (70) aufweist und die einen Laserimpuls (24) zur Abstrahlung in einen Brennraum (14) erzeugt, und mit einer Pumplichtquelle (30), die ein Pumplicht (60) für den laseraktiven Festkörper (44) und den optischen Verstärker (70) der Lasereinrichtung (26) bereitstellt. Erfindungsgemäß wird die Energie des Laserimpulses (24) gesteuert, indem eine Wellenlänge des Pumplichts (60) geändert wird.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer Lasereinrichtung, die einen laseraktiven Festkörper mit einer passiven Güteschaltung sowie einen der passiven Güteschaltung nachgeschalteten optischen Verstärker aufweist, und die einen Laserimpuls zur Abstrahlung in einen Brennraum erzeugt, und mit einer Pumplichtquelle, die ein Pumplicht für den laseraktiven Festkörper und den optischen Verstärker der Lasereinrichtung bereitstellt.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner eine derartige Zündeinrichtung.

**[0003]** Das eingangs genannte Betriebsverfahren beziehungsweise die entsprechende Zündeinrichtung ist bekannt und wird insbesondere bei laserbasierten Zündsystemen von Brennkraftmaschinen im Kraftfahrzeugbereich eingesetzt. Die bekannten Zündeinrichtungen mit einer passiven Güteschaltung vermögen insbesondere unter Verwendung einer einzigen Pumplichtquelle jedoch nicht, Laserimpulse variabler Ausgangsenergie zu erzeugen. Eine Zündeinrichtung mit einem Laser ist aus der DE 199 11 737 bekannt.

## Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Demgemäß ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art und eine entsprechende Zündeinrichtung dahingehend zu verbessern, dass sie flexibler betreibbar und insbesondere dazu ausgebildet ist, Laserimpulse variabler Ausgangsenergie abzugeben.

**[0005]** Diese Aufgabe wird bei einem Betriebsverfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Energie des Laserimpulses gesteuert wird, indem eine Wellenlänge des Pumplichts geändert wird.

**[0006]** Durch die erfindungsgemäße Änderung der Wellenlänge des Pumplichts verändert sich die Absorptionslänge in dem laseraktiven Festkörper beziehungsweise in dem optischen Verstärker entsprechend. Das heißt, für unterschiedliche Wellenlängen des Pumplichts wird – aufgrund entsprechend veränderter Absorptionsverhältnisse – durch das Pumplicht jeweils eine unterschiedliche Energiemenge an den laseraktiven Festkörper beziehungsweise den optischen Verstärker abgegeben, die in an sich bekannter Weise zum Aufbau einer Besetzungsinversion führt.

**[0007]** Eine auf diese Weise bewirkte Änderung der dem laseraktiven Festkörper des passiv güteschalteten Oszillators zugeführten Pumplichtenergiemenge wirkt sich jedoch nicht auf die Energie eines darin gebildeten Laserimpulses aus. Die Energie des in dem laseraktiven Festkörper gebildeten Laserimpulses ist im wesentlichen allein bestimmt durch die Wahl des Materials des Festkörpers, die Eigenschaften der passiven Güteschaltung, eines Auskoppelspiegels sowie eines mit Pumplicht beaufschlagten Volumens des laseraktiven Festkörpers. Diese Parameter liegen i.a. konstruktionsbedingt fest und können insbesondere nicht dynamisch geändert werden.

**[0008]** Allerdings wirkt sich eine durch die Änderung der Pumplichtwellenlänge veränderte Pumplichtenergiemenge, die dem optischen Verstärker zugeführt wird, auf das Maß der in dem optischen Verstärker gebildeten Besetzungsinversion aus, so dass – in Abhängigkeit der Pumplichtwellenlänge – vorteilhaft jeweils eine unterschiedlich große Verstärkung des in dem Oszillator des laseraktiven Festkörpers gebildeten Laserimpulses möglich ist, bevor er durch die Lasereinrichtung in den Brennraum abgestrahlt wird. Das Maß der optischen Verstärkung durch den optischen Verstärker hängt demnach direkt von der Wellenlänge des verwendeten Pumplichts ab, ebenso wie die Energie des entsprechend verstärkten Laserimpulses.

**[0009]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0010]** Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung beziehungsweise Darstellung in der Beschreibung beziehungsweise in der Zeichnung.

## Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0011]** In der Zeichnung zeigt:

**[0012]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einer erfindungsgemäßen Zündeinrichtung,

**[0013]** [Fig. 2](#) eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Zündeinrichtung im Detail, und

**[0014]** [Fig. 3](#) ein Diagramm, das schematisch den Verlauf einer Absorption von Pumplicht innerhalb ei-

nes laseraktiven Festkörpers und eines optischen Verstärkers der erfindungsgemäßen Zündeinrichtung über deren Länge wiedergibt.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0015]** Eine Brennkraftmaschine trägt in [Fig. 1](#) insgesamt das Bezugszeichen **10**. Sie dient zum Antrieb eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs. Die Brennkraftmaschine **10** umfasst mehrere Zylinder, von denen in [Fig. 1](#) nur einer mit dem Bezugszeichen **12** bezeichnet ist. Ein Brennraum **14** des Zylinders **12** wird von einem Kolben **16** begrenzt. Kraftstoff gelangt in den Brennraum **14** direkt durch einen Injektor **18**, der an einen auch als Rail beziehungsweise Common-Rail bezeichneten Kraftstoff-Druckspeicher **20** angeschlossen ist.

**[0016]** In den Brennraum **14** eingespritzter Kraftstoff **22** wird mittels eines Laserimpulses **24** entzündet, der von einer Lasereinrichtung **26** umfassenden Zündeinrichtung **27** in den Brennraum **14** abgestrahlt wird. Hierzu wird die Lasereinrichtung **26** über eine Lichtleitereinrichtung **28** mit einem Pumplicht gespeist, welches von einer Pumplichtquelle **30** bereitgestellt wird. Die Pumplichtquelle **30** wird von einer Steuer- und Regeleinrichtung **32** gesteuert, die auch den Injektor **18** ansteuert.

**[0017]** Beispielsweise kann es sich bei der Pumplichtquelle **30** um eine Halbleiter-Laserdiode handeln, die in Abhängigkeit eines Steuerstroms ein entsprechendes Pumplicht über die Lichtleitereinrichtung **28** an die Lasereinrichtung **26** ausgibt. Obwohl Halbleiter-Laserdioden und andere klein bauende Pumplichtquellen bevorzugt für einen Einsatz in dem Kraftfahrzeugbereich verwendet werden, ist für den Betrieb der erfindungsgemäßen Zündeinrichtung **27** prinzipiell jede Art von Pumplichtquelle verwendbar, bei der die Wellenlänge des Pumplichts einstellbar ist.

**[0018]** [Fig. 2](#) zeigt schematisch eine Detailansicht der Lasereinrichtung **26** aus [Fig. 1](#).

**[0019]** Wie aus [Fig. 2](#) ersichtlich, weist die Lasereinrichtung **26** einen laseraktiven Festkörper **44** auf, dem eine auch als Q-switch bezeichnete passive Güteschaltung **46** optisch nachgeordnet ist. Der laseraktive Festkörper **44** bildet hierbei zusammen mit der passiven Güteschaltung **46** sowie dem in [Fig. 2](#) links hiervon angeordneten Einkoppelspiegel **42** und dem Auskoppelspiegel **48** einen Laser-Oszillator aus, dessen Schwingverhalten von der passiven Güteschaltung **46** abhängt und damit zumindest mittelbar in an sich bekannter Weise steuerbar ist.

**[0020]** Bei der in [Fig. 2](#) abgebildeten Konfiguration der Lasereinrichtung **26** wird Pumplicht **60** durch die bereits unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) beschriebene

Lichtleitereinrichtung **28** von der ebenfalls bereits beschriebenen Pumplichtquelle **30** auf eine vorliegend durch eine bikonvexe Linse **40** symbolisierte Einkoppeloptik geleitet, die das Pumplicht **60** auf den Einkoppelspiegel **42** bündelt. Da der Einkoppelspiegel **42** für die Wellenlängen des Pumplichts **60** durchsichtig ist, dringt das Pumplicht **60** in den laseraktiven Festkörper **44** ein und führt darin zu einer an sich bekannten Besetzungsinversion.

**[0021]** Während die passive Güteschaltung **46** ihren Ruhezustand aufweist, in dem sie einen verhältnismäßig geringen Transmissionskoeffizienten besitzt, wird ein Laserbetrieb in dem laseraktiven Festkörper **44** beziehungsweise in dem durch den Einkoppelspiegel **42** und den Auskoppelspiegel **48** begrenzten Festkörper **44**, **46** vermieden. Mit steigender Pumpdauer steigt jedoch auch die Strahlungsintensität in dem Laser-Oszillator **42**, **44**, **46**, **48** an, so dass die passive Güteschaltung **46** ausbleicht, d.h. ihr Transmissionskoeffizient steigt, und ein Laserbetrieb in dem Laser-Oszillator **42**, **44**, **46**, **48** beginnt.

**[0022]** Auf diese Weise entsteht ein auch als Riesennimpuls bezeichneter Laserimpuls **24**, der eine verhältnismäßig hohe Spitzenleistung aufweist. Der Laserimpuls **24** wird, gegebenenfalls unter Verwendung einer weiteren Lichtleitereinrichtung, oder auch direkt durch ein nicht abgebildetes Brennraumfenster der Lasereinrichtung **26** in den Brennraum **14** ([Fig. 1](#)) der Brennkraftmaschine **10** eingekoppelt, so dass darin vorhandener Kraftstoff **22** entzündet wird.

**[0023]** Zusätzlich findet bei der erfindungsgemäßen Zündeinrichtung noch eine optische Verstärkung des in dem laseraktiven Festkörper **44** gebildeten Laserimpulses durch den nachgeschalteten optischen Verstärker **70** statt, bevor der Laserimpuls **24** in den Brennraum **14** abgestrahlt wird. Der optische Verstärker **70** wird, analog zu dem laseraktiven Festkörper **44**, mit dem Pumplicht **60** der Pumplichtquelle **30** gepumpt, so dass sich auch in dem optischen Verstärker **70** eine Besetzungsinversion aufbaut, die zur Verstärkung eines Laserimpulses verwendbar ist, sobald die passive Güteschaltung **46** einen Laserbetrieb in dem Laser-Oszillator **42**, **44**, **46**, **48** und damit die Erzeugung eines Laserimpulses zulässt. Das Pumpen des optischen Verstärkers **70** erfolgt bei der Konfiguration nach [Fig. 2](#) durch solches Pumplicht **60**, das zuvor durch die Komponenten **44**, **46** durchgetreten ist.

**[0024]** Besonders vorteilhaft wird bei dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren für die Zündeinrichtung **27** eine Wellenlänge des verwendeten Pumplichts **60** geändert, um die Energie des Laserimpulses **24** und damit die dem Brennraum **14** zugeführte Strahlungsenergie, zu steuern.

**[0025]** Untersuchungen haben gezeigt, dass sich

aufgrund einer veränderten Wellenlänge des Pumplichts **60** andere Absorptionsverhältnisse für das Pumplicht **60** sowohl in dem laseraktiven Festkörper **44** beziehungsweise der passiven Güteschaltung **46** und in dem optischen Verstärker **70** ergeben. Das heißt, die von den betreffenden Festkörpern **44**, **46**, **70** aufgenommenen Strahlungsenergien aus dem Pumplicht **60** hängen von der Wellenlänge des Pumplichts **60** ab.

**[0026]** Während sich hierdurch in dem laseraktiven Festkörper **44** allenfalls die zur Erzeugung eines Laserimpulses erforderliche Pumpdauer ändert, weil sich aufgrund der veränderten Einstrahlung beziehungsweise Absorption von Pumplicht **60** in dem laseraktiven Festkörper **44** beziehungsweise in der passiven Güteschaltung **46** das Zeitverhalten der Besetzungsinversion und damit das Anschwingen eines Laserbetriebs ändert, bewirkt eine in Abhängigkeit der Wellenlänge des Pumplichts **60** auftretende Änderung in der Besetzungsinversion des optischen Verstärkers **70** auch eine entsprechende unterschiedliche Verstärkung eines durch den optischen Verstärker **70** laufenden Laserimpulses **24**.

**[0027]** Das heißt, eine Änderung der Wellenlänge des Pumplichts **60** wirkt sich nicht auf die von dem Laser-Oszillator **42**, **44**, **46**, **48** erzeugten Laserimpulse beziehungsweise deren Energie aus. Allerdings wirkt sich eine Änderung der Wellenlänge des Pumplichts **60**, mit dem auch der optische Verstärker **70** gepumpt wird, auf das Maß der Besetzungsinversion in dem optischen Verstärker **70** und damit auf die zur Verstärkung eines durchlaufenden Laserimpulses bereitstehende Energie aus.

**[0028]** Dieser Sachverhalt ist nachstehend unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) näher erläutert.

**[0029]** Bei einer ersten Wellenlänge des Pumplichts **60** ergibt sich beispielsweise die in [Fig. 3](#) mit dem Bezugszeichen A bezeichnete Absorptionskurve, die eine relative Absorption des Pumplichts **60** über einer in Strahlrichtung des Pumplichts **60** gemessenen Ortskoordinate  $x$  darstellt. Die Strahlrichtung des Pumplichts **60** verläuft in [Fig. 2](#) beispielsweise von links nach rechts, d.h. zunächst tritt das Pumplicht **60** in den laseraktiven Festkörper **44** ein, und danach in die passive Güteschaltung **46** und schließlich in den optischen Verstärker **70**.

**[0030]** Oberhalb des Absorptionsdiagramms in [Fig. 3](#) ist schematisch auch der laseraktive Festkörper **44**, die passive Güteschaltung **46** und der nachgeordnete optische Verstärker **70** abgebildet, wobei im Unterschied zu der Konfiguration nach [Fig. 2](#) der Übersichtlichkeit halber allerdings eine Lücke zwischen der passiven Güteschaltung **46** und dem optischen Verstärker **70**, d.h. zwischen den Ortskoordinaten  $x_0$ ,  $x_1$  vorgesehen ist.

**[0031]** Wie aus [Fig. 3](#) ersichtlich, beträgt die relative Absorption von Pumplicht **60** gemäß der Kurve A bei einer ersten Wellenlänge in den Komponenten **44**, **46** etwa 80 %, was durch den Wert  $a_2$  dargestellt ist. Dementsprechend verbleibt für die relative Absorption von Pumplicht **60** in dem nachgeordneten optischen Verstärker **70** lediglich etwa 20 %. In diesem Fall wird durch den optischen Verstärker **70** also eine verhältnismäßig geringe Verstärkung des Laserimpulses **24** erfolgen können.

**[0032]** Bei einer zweiten für das Pumplicht **60** eingestellten Wellenlänge ergibt sich die ebenfalls in [Fig. 3](#) abgebildete Kurve B. Hierbei zeigt sich ein zu der Kurve A völlig verschiedenes Absorptionsverhalten, so dass in den Komponenten **44**, **46** eine relative Absorption von nur etwa 50 % der Pumplichtenergie auftritt, gekennzeichnet durch den Wert  $a_1$ . Das heißt, bei dieser zweiten Wellenlänge des Pumplichts **60** verbleibt etwa 50 % der in die Lasereinrichtung **26** eingestrahlten Pumplichtenergie zum Pumpen des optischen Verstärkers **70**, so dass eine im Vergleich zur Situation gemäß der Kurve A deutlich größere Verstärkung durch den optischen Verstärker **70** erreichbar ist. Unter Pumpen mit dem Pumplicht **60** der zweiten Wellenlänge kann demnach ein Laserimpuls **24** mit größerer Energie erzeugt werden, als dies bei der Verwendung der ersten Wellenlänge für das Pumplicht **60** der Fall ist.

**[0033]** Bei der weiteren in [Fig. 3](#) abgebildeten Kurve C ist die Wellenlänge des Pumplichts **60** derart gewählt, dass die relative Absorption des Pumplichts **60** in den Komponenten **44**, **46** nur noch etwa 25 % beträgt, vergleiche den Wert  $a_0$ . In diesem Fall verbleibt etwa 75 % der Pumplichtenergie zum Pumpen des optischen Verstärkers **70**, der eine entsprechend große Verstärkung eines ihn durchlaufenden Laserimpulses durchführen kann.

**[0034]** Insgesamt ist durch die erfindungsgemäße Wahl unterschiedlicher Wellenlängen für das Pumplicht **60** eine vorgebbare Aufteilung von Pumplichtenergie auf einerseits die Komponenten **44**, **46** und andererseits den optischen Verstärker **70** gegeben. Daher kann durch die verhältnismäßig einfach zu realisierende Änderung der Wellenlänge des Pumplichts **60** vorteilhaft auch die Verstärkung des optischen Verstärkers **70** und damit schließlich die Energie eines Laserimpulses **24** eingestellt werden. Bei einer als Halbleiter-Laserdiode ausgebildeten Pumplichtquelle **30** kann die Wellenlänge des Pumplichts **60** beispielsweise vorteilhaft durch die Einstellung einer Temperatur der Halbleiter-Laserdiode geändert werden.

**[0035]** Besonders vorteilhaft ist unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nur eine einzige Pumplichtquelle **30** erforderlich, um Laserimpulse **24** mit unterschiedlicher Energie erzeugen zu können.

**[0036]** Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der optische Verstärker **70** bezüglich der Pumplichtquelle **30** beziehungsweise der Lichtleitereinrichtung **28** so hinter dem laseraktiven Festkörper **44** beziehungsweise dessen passiver Güteschaltung **46** angeordnet, dass er vorzugsweise nur durch solches Pumplicht der Pumplichtquelle **30** gespeist wird, das durch den laseraktiven Festkörper **44** und/oder die passive Güteschaltung **46** hindurchtritt. In diesem Fall ist gewährleistet, dass eine besonders effiziente Ausnutzung des Pumplichts **60** stattfindet.

**[0037]** Die Länge des laseraktiven Festkörpers **44** und/oder der passiven Güteschaltung **46** entlang einer Strahlrichtung  $x$  (**Fig. 3**) des Pumplichts **60** ist vorteilhaft so gewählt, dass das Pumplicht **60** für mindestens einen Teil der verwendeten Wellenlängen des Pumplichts **60** nicht bereits in dem laseraktiven Festkörper **44** und/oder der passiven Güteschaltung **46** völlig absorbiert wird, damit zumindest ein Teil des Pumplichts **60** zu dem optischen Verstärker **70** gelangt und dort zu dem Aufbau einer Besetzungsinversion führen kann.

**[0038]** Durch die erfindungsgemäße Hintereinanderanordnung der Komponenten **44**, **46**, **70** bezüglich der Pumplichtquelle beziehungsweise der Einkopplungsoptik **40** ist einerseits eine sehr klein bauende Konfiguration realisiert und andererseits ergibt sich vorteilhaft eine maximale Ausnutzung des Pumplichts **60** in dem laseraktiven Festkörper **44** zur raschen Erzeugung eines Laserimpulses.

**[0039]** Eine weitere sehr vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass, vorzugsweise periodisch, Laserimpulse **24** mit maximal möglicher Energie erzeugt werden, um ein Brennraumfenster der Lasereinrichtung **26** zu reinigen.

**[0040]** Besonders vorteilhaft werden die Laserimpulse mit maximal möglicher Energie jedoch nur dann erzeugt, wenn kein für einen zukünftigen Arbeitszyklus vorgesehenes zündfähiges Luft/Kraftstoff-Gemisch in dem Brennraum **14** befindlich ist, so dass eine unbeabsichtigte Zündung vermieden wird.

**[0041]** Sehr vorteilhaft ist es durch das erfindungsgemäße Betriebsverfahren ferner möglich, die Energie des Laserimpulses **24** in Abhängigkeit eines Betriebszustands, insbesondere eines Betriebspunkts der Brennkraftmaschine **10**, einzustellen. Dadurch kann beispielsweise stets die minimal zur Entflammung des Luft/Kraftstoff-Gemisches erforderliche Zündenergie bereitgestellt werden, so dass ein energiesparender Betrieb der erfindungsgemäßen Zündeinrichtung **27** möglich ist. Ein weiterer Vorteil hierbei besteht darin, dass das Brennraumfenster der Lasereinrichtung **26** nicht unnötig mit hohen Strahlungs-

leistungen der Laserimpulse **24** beaufschlagt wird, was sich vorteilhaft auf die Lebensdauer des Brennraumfensters auswirkt.

**[0042]** Um die verschiedenen Latenzzeiten zwischen einem Beginn der Beaufschlagung des laseraktiven Festkörpers **44** mit Pumplicht **60** und dem Einsetzen eines Laserbetriebs bzw. der Erzeugung des Laserimpulses **24** aufgrund der Verwendung von Pumplicht **60** unterschiedlicher Wellenlänge zu berücksichtigen, kann gegebenenfalls die von der Pumplichtquelle **30** abgegebene Strahlungsleistung variiert werden. Beispielsweise kann bei einer ersten Wellenlänge des Pumplichts **60**, bei der eine verhältnismäßig geringe Absorption von Pumplicht **60** in den Komponenten **44**, **46** erfolgt (vergleiche Kurve C aus **Fig. 3**) eine verhältnismäßig hohe Strahlungsleistung der Pumplichtquelle **30** eingestellt werden, um trotz der geringen Absorption von Pumplicht **60** in den Komponenten **44**, **46** in verhältnismäßig kurzer Zeit einen Laserbetrieb anzuregen. Bei einer zweiten Wellenlänge des Pumplichts **60**, für die sich eine gesteigerte Absorption des Pumplichts **60** in den Komponenten **44**, **46** ergibt, kann die Strahlungsleistung des Pumplichts **60** dementsprechend verringert werden, um eine vergleichbare Latenzzeit zu erreichen.

**[0043]** Das erfindungsgemäße Prinzip ist auch auf Lasereinrichtungen mit mehr als einer Pumplichtquelle anwendbar. Es kann vorteilhaft auch bei Stationärmotoren eingesetzt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine (**10**), insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer Lasereinrichtung (**26**), die einen laseraktiven Festkörper (**44**) mit einer passiven Güteschaltung (**46**) sowie einen der passiven Güteschaltung (**46**) nachgeschalteten optischen Verstärker (**70**) aufweist, und die einen Laserimpuls (**24**) zur Abstrahlung in einen Brennraum (**14**) erzeugt, und mit einer Pumplichtquelle (**30**), die ein Pumplicht (**60**) für den laseraktiven Festkörper (**44**) und den optischen Verstärker (**70**) der Lasereinrichtung (**26**) bereitstellt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Energie des Laserimpulses (**24**) gesteuert wird, indem eine Wellenlänge des Pumplichts (**60**) geändert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Verstärker (**70**), vorzugsweise nur, durch solches Pumplicht der Pumplichtquelle (**30**) gespeist wird, das durch den laseraktiven Festkörper (**44**) und/oder die passive Güteschaltung (**46**) hindurchtritt.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Pumplichtquelle (**30**) eine Halbleiter-Laserdiode verwendet wird, und dass die Wellenlänge des



Pumplichts (60) geändert wird, indem die Temperatur der Halbleiter-Laserdiode eingestellt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass, vorzugsweise periodisch, Laserimpulse (24) mit maximal möglicher Energie erzeugt werden, um ein Brennraumfenster der Lasereinrichtung (26) zu reinigen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserimpulse (24) mit maximal möglicher Energie nur dann erzeugt werden, wenn kein für einen zukünftigen Arbeitszyklus vorgesehenes zündfähiges Luft/Kraftstoff-Gemisch in dem Brennraum (14) befindlich ist.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Energie des Laserimpulses (24) in Abhängigkeit eines Betriebszustands der Brennkraftmaschine (10) eingestellt wird.

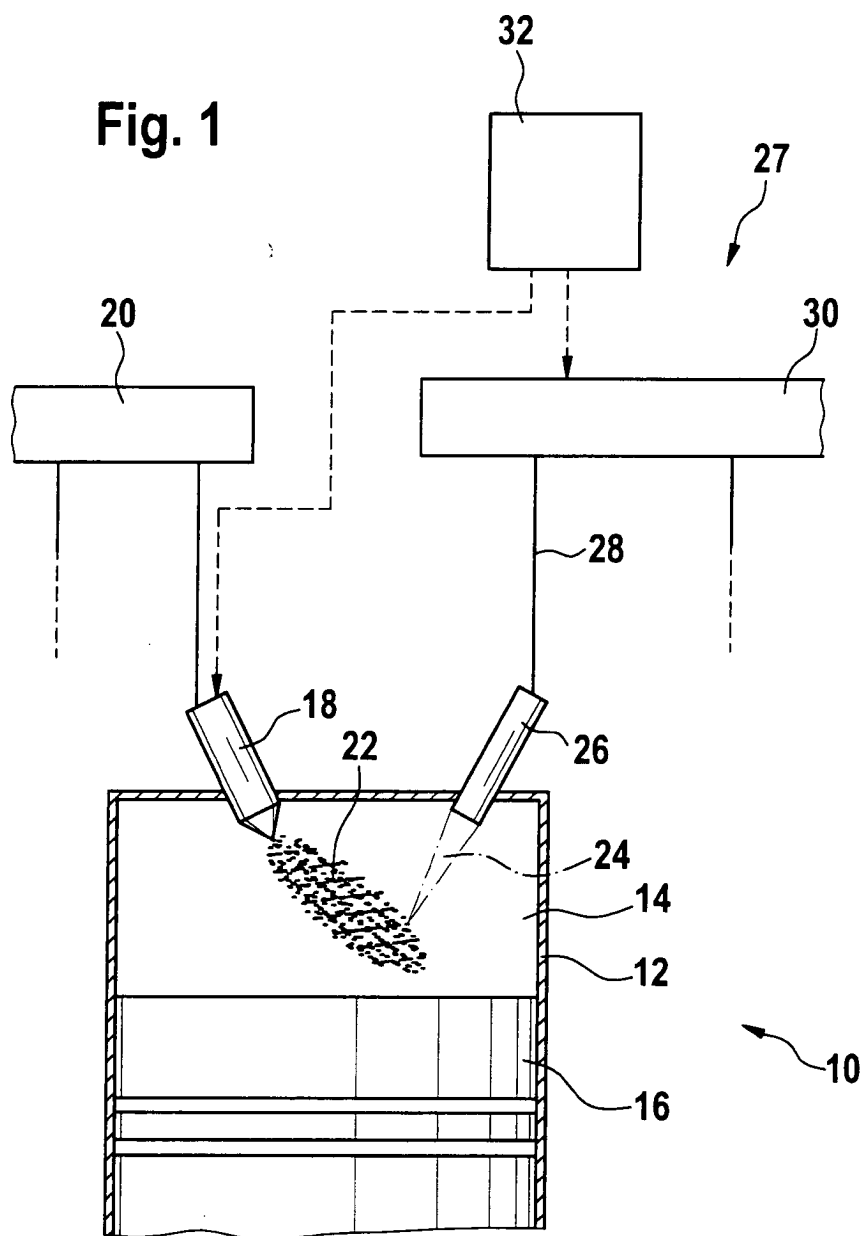
7. Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine (10), insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer Lasereinrichtung (26), die einen laseraktiven Festkörper (44) mit einer passiven Güteschaltung (46) sowie einen der passiven Güteschaltung (46) nachgeschalteten optischen Verstärker (70) aufweist, und die einen Laserimpuls (24) zur Abstrahlung in einen Brennraum (14) erzeugt, und mit einer Pumplichtquelle (30), die ein Pumplicht (60) für den laseraktiven Festkörper (44) und den optischen Verstärker (70) der Lasereinrichtung (26) bereitstellt, dadurch gekennzeichnet, dass die Energie des Laserimpulses (24) durch eine Änderung der Wellenlänge des Pumplichts (60) steuerbar ist.

8. Zündeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Verstärker (70) bezüglich der Pumplichtquelle (30) so hinter dem laseraktiven Festkörper (44) beziehungsweise dessen passiver Güteschaltung (46) angeordnet ist, dass er, vorzugsweise nur, durch solches Pumplicht der Pumplichtquelle (30) gespeist wird, das durch den laseraktiven Festkörper (44) und/oder die passive Güteschaltung (46) hindurchtritt.

9. Zündeinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Länge des laseraktiven Festkörpers (44) und/oder der passiven Güteschaltung (46) entlang einer Strahlrichtung des Pumplichts (60) so gewählt ist, dass das Pumplicht (60) für mindestens einen Teil der verwendeten Wellenlängen des Pumplichts (60) nicht bereits in dem laseraktiven Festkörper (44) und/oder der passiven Güteschaltung (46) völlig absorbiert wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Fig. 1



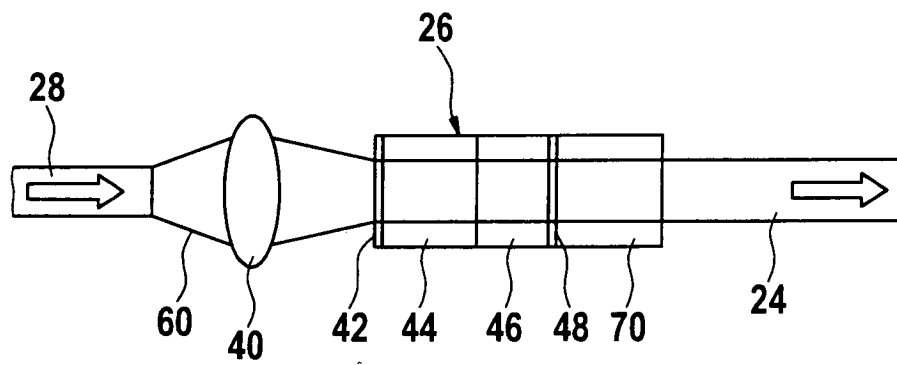


Fig. 2

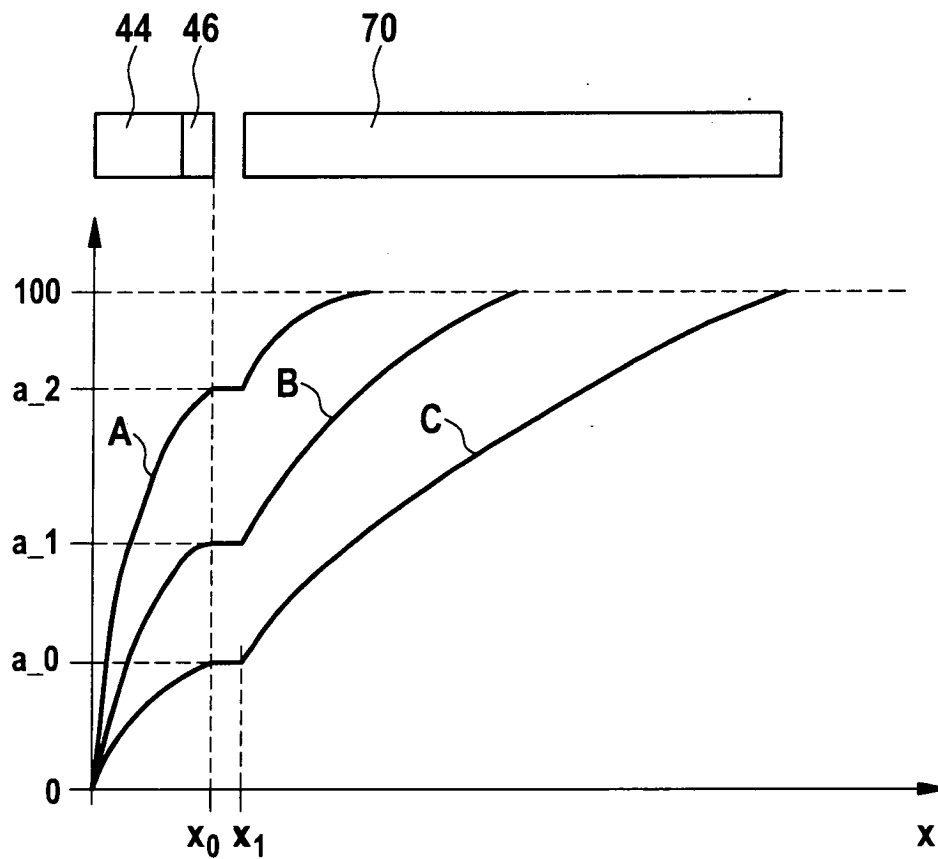


Fig. 3