

**AT 412 167 B**



(19)

**REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt**

(10) Nummer:

**AT 412 167 B**

(12)

# **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: A 1645/2002

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **F02P 23/04**

(22) Anmeldetag: 31.10.2002

(42) Beginn der Patentdauer: 15.03.2004

(45) Ausgabetag: 25.10.2004

(56) Entgegenhaltungen:

AT 5307U1 JP 63173852A JP 58074875A  
JP 5033755A

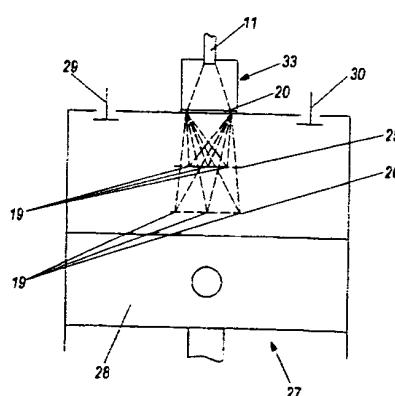
(73) Patentinhaber:

GE JENBACHER GMBH & CO OHG  
A-6200 JENBACH, TIROL (AT).

## **(54) VERBRENNUNGSMOTOR**

(57) Verbrennungsmotor mit mindestens einem Zylinder, bei dem die Verbrennung eines im Zylinder durch einen Kolben komprimierten Kraftstoff-Luft-Gemisches durch eine zeitlich gesteuerte Fremdzündung eingeleitet wird, wobei zur zeitlich gesteuerten Fremdzündung mindestens eine Laserlichtquelle vorgesehen ist und das Laserlicht im Brennraum (32) auf wenigstens zwei reelle Brennpunkte (19) fokussiert wird. Verwendung eines holographischen optischen Elementes zur Fokussierung des Laserlichtes.

*Fig. 6*



Die vorliegende Erfindung betrifft einen Verbrennungsmotor mit mindestens einem Zylinder und mindestens einer Laserlichtquelle zur zeitlich gesteuerten Fremdzündung.

Derartige Verbrennungsmotoren sind in verschiedenen Ausführungsformen bekannt. Bei Otto-Motoren wird ein homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch (Variation des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses  $\lambda$  über den Brennraum von weniger als 10%) über eine Zündvorrichtung gezündet. Üblicherweise handelt es sich dabei um eine Zündkerze oder eine Laserlichtquelle, wobei die Verwendung von Laserlichtquellen aus verschiedenen Gründen vorteilhaft ist. Beispielsweise entfällt bei einer Laserlichtquelle das bei Zündkerzen notwendige Nachstellen des Elektrodenabstandes nach einer bestimmten Betriebsdauer. Weiters kann mit einer Laserzündung anstelle der Funkenzündung über Zündkerzen auch ein sehr mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch sicher gezündet werden. Otto-Motoren können beispielsweise als Vergaser-Otto-Motor, Einspritz-Otto-Motor oder Gas-Otto-Motor ausgeführt sein, wobei letzterer mit einem im Normalzustand gasförmigen Kraftstoff betrieben wird.

Bei einer weiteren großen Gruppe fremdgezündeter Verbrennungsmotoren ist das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Brennraum inhomogen. Dies ist beispielsweise bei einem Verbrennungsmotor mit Ladungsschichtung der Fall, bei dem um den Zündpunkt herum ein fetteres Kraftstoff-Luft-Gemisch als im übrigen Brennraum vorgesehen ist. Dies führt zu einer Verbesserung der Zündsicherheit.

Wird die Verbrennung nur in einem Punkt des Brennraums eingeleitet, so ist die Dauer des Brennvorganges von der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammenfront im Brennraum abhängig. Dies gilt auch beim Einsatz einer Laserlichtquelle zur Fremdzündung.

Das Vorhandensein wenigstens zweier und idealer Weise mehrerer Zündpunkte im Brennraum hat demgegenüber den Vorteil einer erhöhten Zündsicherheit und einer Verkürzung der gesamten Brenndauer. Zu beachten ist dabei, daß diese vorteilhaften Effekte nur beim Vorhandensein mehrerer reeller Brennpunkte, in denen das von der Laserlichtquelle ausgehende Licht auf endlich viele einzelne Punkte gebündelt wird, in voller Ausprägung auftreten. Ein Verbrennungsmotor mit einer Vorrichtung zur Fokussierung eines Laserstrahles auf mindestens zwei verschiedene Brennpunkte geht beispielsweise aus der AT 5307 U1 hervor. Dabei kann der von der Laserlichtquelle ausgehende Laserstrahl entweder durch einen elektrisch schaltbaren Spiegel zwischen zwei Zündorten hin- und hergeschaltet werden oder eine gleichzeitige Fokussierung des Laserstrahles auf zwei verschiedene Brennpunkte durch eine Sammellinse mit Spezialschliff erzielt werden.

Die JP 63173852 A zeigt eine Brennkammer, in der ein Laserstrahl durch ein rotierendes Prisma zwischen zwei Brennpunkten hin- und hergeschaltet wird.

In der JP 58074875 A erfolgt die Erzeugung von zwei gleichzeitigen Zündorten durch die Anordnung zweier Spiegel in der Brennkammer.

Demgegenüber kommt es bei einer nur teilweisen Bündelung des Lichtes (Verschmierung der Lichtintensität auf einen linienförmigen Bereich), wie sie beispielsweise bei der sogenannten Laser-Cavity-Zündung vorgesehen ist, zu einer um mehrere Größenordnungen geringeren lokalen Intensitätsspitze als beim Vorhandensein mehrerer reeller Brennpunkte.

Aufgabe der Erfindung ist es die beim Stand der Technik vorgesehenen aufwendigen Konstruktionen zu vermeiden.

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass zur Fokussierung des Laserlichtes wenigstens ein holografisches optisches Element vorgesehen ist.

Unter einem holografischen optischen Element versteht man jede diffraktive optische Vorrichtung, die eine Verteilung beugender Amplituden- oder Phasenobjekte aufweist. Die Herstellung eines solchen holografischen optischen Elementes kann beispielsweise entweder direkt durch Interferometrie oder durch eine rechnergestützte Simulation (computergenerierte Hologramme) erfolgen. Die Funktion holografischer optischer Elemente beruht auf dem Umstand, daß ein optisches Wellenfeld gegebener Wellenlänge in seiner weiteren Ausbreitung vollständig determiniert ist, wenn es in Amplitude und Phase in einer beliebigen Ebene bekannt ist. Man kann daher eine Welle mit bekannter Wellenfront (beispielsweise einen Laserstrahl), in eine gewünschte Welle transformieren indem man sie durch ein zweidimensionales optisches Element transmittiert, welches in jedem Punkt seiner Ebene die Phase und Amplitude des einfallenden Lichtfeldes durch Absorption bzw. Phasenverzögerung auf das gewünschte Feld umwandelt.

Dies stellt eine einfache Möglichkeit dar, das Laserlicht im Brennraum auf wenigstens zwei reelle Brennpunkte zu fokussieren.

Vorzugsweise ist dabei die Intensität des Laserlichtes in jedem Brennpunkt einzeln vorgebbar bzw. vorgegeben. Dies kann durch eine dem Fachmann geläufige Ausbildung des bzw. der holografischen optischen Elemente(s), beispielsweise Beugungsgitter, erzielt werden.

Vorzugsweise stammt das auf wenigstens zwei Brennpunkte fokussierte Licht aus genau einer Laserlichtquelle. Dies verringert die Herstellungskosten eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors.

Vorteilhafterweise ist pro Zylinder genau eine Laserlichtquelle vorgesehen. Eine defekte Laserlichtquelle führt so zum Ausfall nur eines Zylinders des Verbrennungsmotors. Um die Herstellungskosten eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors weiter zu senken, kann aber auch vorgeschen sein, für den gesamten Verbrennungsmotor genau eine Laserlichtquelle einzusetzen.

Vorzugsweise wird ausschließlich die Phase der Laserlichtwellenfront durch das holografische optische Element beeinflußt, da absorptive holografische optische Elemente einen Teil der einfallenden Laserleistung vernichten und dabei angesichts der hohen Laserintensitäten beschädigt bzw. zerstört werden können.

Zur Herstellung der holografischen optischen Elemente bietet sich die Lithographie an, die es heutzutage ermöglicht Strukturgrößen im Bereich der Lichtwellenlänge herzustellen und so eine Vielzahl von Designmöglichkeiten eröffnet.

Die lokale Phasenverschiebung der Wellenfront kann beispielsweise durch einen definierten lokalen Dickeverlauf des holografischen optischen Elementes, vorzugsweise einer Platte, festgelegt werden. Als Trägermaterial bietet sich dabei Glas oder Saphir an, in das die gewünschten Veränderungen beispielsweise durch einen Ätzvorgang eingeprägt werden. Alternativ oder zusätzlich kann auch eine Vorgabe der Phasenverschiebung durch einen definierten lokalen Brechungsindexverlauf vorgenommen werden.

Vorzugsweise weist der erfindungsgemäße Verbrennungsmotor wenigstens eine optische Übertragungseinrichtung auf, welche der Übertragung des Laserlichtes von der Laserlichtquelle zum Brennraum bzw. den Brennräumen dient. Dadurch kann die Laserlichtquelle bzw. die Laserlichtquellen an einem beliebigen Ort im Verbrennungsmotor angeordnet werden.

Vorzugsweise weist der erfindungsgemäße Verbrennungsmotor auch wenigstens eine Einkopplungsoptik zur Einkopplung des Laserlichtes in wenigstens einen Brennraum auf. Dadurch können die Lichtverluste beim Einkopplungsvorgang reduziert werden. Bei Verwendung einer optischen Übertragungseinrichtung oder Einkopplungsoptik bietet es sich an, das holografische optische Element in einer dieser Vorrichtungen zu integrieren.

Um die Streuverluste weiter zu reduzieren, kann auch eine Kollimationsoptik im Strahlengang des Laserlichtes vor dem holografischen optischen Element angeordnet werden.

Ein einfaches Beispiel eines erfindungsgemäßen holografischen optischen Elementes ist ein Beugungsgitter, welches als Hologramm eines Objektpunktes im Unendlichen verstanden werden kann. Dieses Beugungsgitter prägt dem einfallenden Lichtfeld eine transversal periodisch modulierte Phasenverzögerung auf, sodaß das Lichtfeld hinter dem Gitter äquivalent zu einer Superposition des einfallenden Feldes mit mehreren abgebeugten Replika des originalen Feldes ist. Dabei bleibt die räumliche Struktur des Feldes im Wesentlichen erhalten. Nur die Ausbreitungsrichtung des Lichtes ändert sich in bekannter Weise in Abhängigkeit von der Modulationsperiode des Gitters. Wird als Ausbreitungsrichtung des einfallenden Feldes die Normalrichtung zur Gitterebene gewählt, liegen die Ausbreitungsrichtungen der gebeugten bzw. transmittierten neuen Felder in bekannter Weise in einer Ebene die senkrecht zu den Gitterlinien steht. Durch eine Linearkombination zweier oder mehrerer Gitter mit unterschiedlicher Orientierung und/oder Periodizität in einem einzigen holografischen optischen Element, kann eine entsprechende Linearkombination der gebeugten Felder in einer dem Fachmann geläufigen Weise vorgenommen werden. Natürlich ist es nicht notwendig, daß das einfallende Feld eine näherungsweise ebene Wellenfront aufweist. Erfolgt beispielsweise eine Fokussierung des Laserstrahles vor dem Durchtritt durch das holografische optische Element, vorzugsweise durch eine Linse, sind auch alle resultierenden modifizierten Strahlen fokussiert, wobei die einzelnen Brennpunkte in der Brennebene der Fokussierungslinse liegen. Diese Brennpunkte liegen in einer Ebene, die senkrecht zu den Gitterlinien liegt und in der auch der Brennpunkt des einfallenden Strahles lokalisiert ist. Die gleichzeitige Fokussierung aller Teilstrahlen kann aber auch durch eine Linse, die im Strahlengang unmittelbar hinter dem holografischen optischen Element angeordnet ist, erfolgen.

Zu beachten ist, daß auch die Funktion des fokussierenden optischen Elementes durch das holografische optische Element selbst übernommen werden kann. Beispielsweise ist ein Radialgitter mit nach außen abnehmenden Linienabständen (Fresnelsches Zonensystem) das Hologramm eines im Endlichen liegenden Objektpunktes. Durch Superposition von Gitterstrukturen in einem einzigen holografischen optischen Element kann die gleichzeitige Wirkung von Strahlteilung und Fokussierung erzielt werden.

Auch die Ausbildung mehrerer Brennebenen, d. h. eine dreidimensionale Verteilung von Brennpunkten oder in anderen Worten, die Erzeugung von Brennpunkten mit unterschiedlicher Brennweite, kann durch eine dem Fachmann geläufige Ausbildung des holografischen optischen Elementes vorgenommen werden, beispielsweise durch Superposition unterschiedlicher fokussierender Strukturen im holografischen optischen Element.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist eine elektronische Motorsteuerung vorgesehen, die in Abhängigkeit von erfaßten Motorparametern wie beispielsweise dem Kurbelwellenwinkel, der Drehzahl, der Motorleistung und dem aktuellen Zylinderdruck im Brennraum, die Laserlichtquelle(n) ansteuert und dabei Laserlichtparameter wie die zeitliche Abfolge, die Pulsdauer und/oder die Zündenergie festlegt.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß Kraftstoff-Luft-Gemisch pro Arbeitstakt eines Zylinders durch wenigstens zwei zeitlich aufeinanderfolgende Laserlichtpulse gezündet wird. Da der erste Laserpuls eine Dissoziation der Kraftstoffanteile in Komponenten hervorruft, die durch den zweiten Laserpuls leichter entzündbar sind, kann dadurch eine Verbesserung der Zündeigenschaften erzielt werden.

Bei aktiver Erfassung des Zylinderdruckes jedes Zylinders durch eine Regeleinrichtung, kann bei dieser Doppel- oder Mehrfachzündung auch eine direkte Intensitätsregelung vorgenommen werden, da anhand des Zylinderdrucks leicht feststellbar ist, ob bereits durch den ersten Laserpuls eine Zündung ausgelöst wurde. Hat der erste Laserpuls nicht zu einer Zündung geführt, was sich in einem geringeren Zylinderdruckanstieg wiederspiegelt, kann die Motorsteuerung bzw. die darin vorgesehene Regelung den zweiten Laserpuls in seiner Intensität und/oder Dauer erhöhen um dennoch eine sichere Zündung bei diesem Arbeitstakt zu erzielen.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Brennraum größer als 1,9 ist. Diese sehr magere Betriebsweise eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors zeichnet sich neben einem geringen Kraftstoffverbrauch, beispielsweise auch durch Emissionswerte (insbesondere von NO<sub>x</sub>) aus.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand der nachfolgenden Figurenbeschreibung näher erläutert. Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein Schema eines Ausführungsbeispieles eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors,
- Fig. 2 eine Ausführungsvariante eines Zylinders eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor in einem schematischen Längsschnitt,
- Fig. 3 Schematisch im Detail den Aufbau einer optischen Zündvorrichtung in einem erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor,
- Fig. 4 eine weitere Variante einer optischen Zündvorrichtung in einem erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor,
- Fig. 5 eine Ausführungsvariante eines Zylinders eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors mit einer optischen Zündvorrichtung gemäß Fig. 3, in einem schematischen Längsschnitt und
- Fig. 6 eine weitere Variante eines Zylinders eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors mit einer optischen Zündvorrichtung gemäß Fig. 4, in einem schematischen Längsschnitt.

Bei dem in Fig. 1 beispielhaft dargestellten Verbrennungsmotor 1 handelt es sich um einen sechszylindrischen stationären Gas-Otto-Motor mit einem Einlaßtrakt 2 und einem Auspufftrakt 18. In einem Gasmischer 3 wird über die Leitung 4 zugeführtes Gas, beispielsweise Methan, mit über die Leitung 5 zugeührter Luft gemischt. Anstelle eines üblichen Gasmischers kann auch eine Eindüfung von Gas in eine Luftleitung erfolgen. Über den Turboladerverdichter 6 wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch verdichtet und gelangt über den Gemischkühler 7 und die Drosselklappe 8 in den Raum

vor die nicht näher dargestellten Einlaßventile des Motors 1. In der Abgasleitung 18 ist das Turbinenrad 9 des Turboladers angeordnet. Ebenfalls zu erkennen sind die zu den einzelnen Zylindern führenden Einkopplungsoptiken 12, die über Lichtleiter 11 mit einer Laserlichtquelle 10 in Verbindung stehen. Über Aufnehmer 17 werden die Werte für den aktuellen Zylinderdruck pro Zylinder erfaßt und einer elektronischen Motorsteuerung 13 zugeführt. Über einen Winkelgeber 14 wird der Kurbelwellenwinkel  $\alpha$  an die Motorsteuerung 13 weitergegeben. Über die schematisch dargestellten Aufnehmer bzw. Messeinrichtungen 15 und 16 werden der Motorsteuerung 13, die der Motorleistung N bzw. der Drehzahl n entsprechenden aktuellen Werte zugeführt.

Fig. 2 zeigt schematisch einen Zylinder 27 in einem Längsschnitt, bei dem neben dem Kolben 28, das Einlaßventil 29 sowie das Auslaßventil 30 und die zur Zündvorrichtung gehörige Zündoptik 33, welche an einem Brennraumfenster 31 angeordnet ist, zu erkennen sind. Das Laserlicht wird über einen Lichtleiter 11 in die Zündoptik 33 geführt und wie später noch im Detail erläutert, im Brennraum 32 auf mehrere reelle Brennpunkte 19 fokussiert. In diesem Ausführungsbeispiel weist der Kolben 28 eine Kolbenmulde auf.

Fig. 3 zeigt beispielhaft im Detail den Aufbau einer optischen Zündvorrichtung bei einem erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor 1. Zu erkennen sind von links nach rechts der Lichtleiter 11, eine Linse 12, welche die Einkopplungsoptik für das Beugungsgitter 21 darstellt, eine weitere Linse 22 und strichiert angedeutet eine Brennebene 25, in welcher drei reelle Brennpunkte 19 lokalisiert sind. Vorzugsweise wird das vom Lichtleiter 11 mit einem gewissen Öffnungswinkel ausgehende Licht durch eine Linse 12 in einen auf das Beugungsgitter 21 parallel einfallenden Strahl umgewandelt. Das vom Beugungsgitter 21 in das Hauptmaximum sowie die beiden Nebenmaxima erster Ordnung gebeugte Licht, wird durch eine weitere Linse 22 gebündelt und gemäß der Brennweite dieser Linse in die Brennebene 25 fokussiert.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Zündvorrichtung, die aus einem einzigen holografischen optischen Element 20 besteht. In diesem Ausführungsbeispiel übernimmt das holografische optische Element 20 sowohl die Rolle der Kollimationsoptik 12 als auch die Rolle der Linse 22 aus Fig. 3. Wie schematisch dargestellt, erfolgt in diesem Fall die Fokussierung des transmittierten Lichtes auf zwei Brennebenen 25 und 26, welche voneinander räumlich abstandet sind. Dies erzeugt eine dreidimensionale Verteilung der einzelnen Brennpunkte 19, wobei darüber hinaus auch die Intensität der einzelnen Brennpunkte 19 vorgegeben werden kann, wodurch sich eine bisher unerreichte Manipulationsmöglichkeit bei der Gestaltung des Brennvorganges im Brennraum ergibt.

Die Fig. 5 und 6 zeigen jeweils schematisch einen Zylinder 27 eines erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors 1, wobei die Unterschiede in der Ausbildung der optischen Zündvorrichtung 33 liegen. In Fig. 5 wurde eine Optik 33 gemäß Fig. 3 verwendet, wohingegen die Optik 33 in Fig. 6 gemäß Fig. 4 ausgebildet ist. Zu erkennen ist in Fig. 6, daß durch die Integration sämtlicher optischer Funktionen im holografischen optischen Element 20, eine extrem klein bauende Optik 33 realisiert werden kann.

Der erfindungsgemäße Verbrennungsmotor 1 eignet sich gleichermaßen für stationäre wie auch für mobile Anwendungen.

Auf die Darstellung bzw. die Beschreibung von Maßnahmen welche dem Fachmann geläufig sind, wurde verzichtet.

45

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Verbrennungsmotor mit mindestens einem Zylinder und mindestens einer Laserlichtquelle zur zeitlich gesteuerten Fremdzündung, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Fokussierung des Laserlichtes wenigstens ein holografisches optisches Element (20) vorgesehen ist.
- 50 2. Verbrennungsmotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Laserlicht im Brennraum (32) auf wenigstens zwei reelle Brennpunkte (19) fokussiert wird.
3. Verbrennungsmotor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das auf wenigstens zwei Brennpunkte (19) fokussierte Licht aus genau einer Laserlichtquelle (10) stammt.
4. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß pro Zylinder (27) genau eine Laserlichtquelle (10) vorgesehen ist.

5. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß für den gesamten Verbrennungsmotor (1) genau eine Laserlichtquelle (10) vorgesehen ist.
6. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Intensität des Laserlichtes in jedem Brennpunkt (19) einzeln vorgebbar beziehungsweise vorgegeben ist.
7. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ausschließlich die Phase der Laserlichtwellenfront durch das holografische optische Element (20) beeinflußt wird.
8. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das holografische optische Element (20) lithografisch hergestellt ist.
9. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das holografische optische Element (20) eine Platte, vorzugsweise aus Glas oder Saphir, mit definiertem lokalem Dickeverlauf umfaßt.
10. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das holografische optische Element (20) eine Platte, vorzugsweise aus Glas oder Saphir, mit definiertem lokalem Brechungsindexverlauf umfaßt.
11. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß er wenigstens eine optische Übertragungseinrichtung (11) aufweist.
12. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß er wenigstens eine Einkopplungsoptik (12) zur Einkopplung des Laserlichtes in wenigsten einen Brennraum (32) aufweist.
13. Verbrennungsmotor nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Übertragungseinrichtung (11) und/oder die Einkopplungsoptik (12) wenigstens ein holografisches optisches Element (20) umfassen.
14. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Strahlengang des Laserlichtes vor dem holografischen optischen Element (20) wenigstens eine Kollimationsoptik (23) angeordnet ist.
15. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Strahlengang des Laserlichtes vor und/oder hinter dem holografischen optischen Element (20) wenigstens ein fokussierendes optisches Element, vorzugsweise eine Linse (22), angeordnet ist.
16. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Brennweite (f) wenigstens zweier Brennpunkte (19) unterschiedlich ist.
17. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß er ein, vorzugsweise mehrzylindriger, Vergaser-Ottomotor, ein Einspritz-Ottomotor oder ein mit im Normalzustand gasförmigen Kraftstoff betriebener Gas-Ottomotor ist.
18. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß er ein stationärer Motor ist.
19. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Brennraum (32) homogen ist.
20. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine elektronische Motorsteuerung (13) vorgesehen ist, die in Abhängigkeit von erfaßten Motorparametern wie beispielsweise dem Kurbelwellenwinkel ( $\alpha$ ), der Drehzahl (n), der Motorleistung (N), dem aktuellen Zylinderdruck ( $P_i$ ) im Brennraum (32), die Laserlichtquelle(n) (10) ansteuert und dabei Laserlichtparameter wie die zeitliche Abfolge, die Pulsdauer und/oder die Zündenergie festlegt.
21. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Kraftstoff-Luft-Gemisch pro Arbeitstakt eines Zylinders (27) durch wenigstens zwei zeitlich aufeinanderfolgende Laserlichtpulse gezündet wird.
22. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis ( $\lambda$ ) des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Brennraum (32) größer als 1,9 ist.

Fig. 1

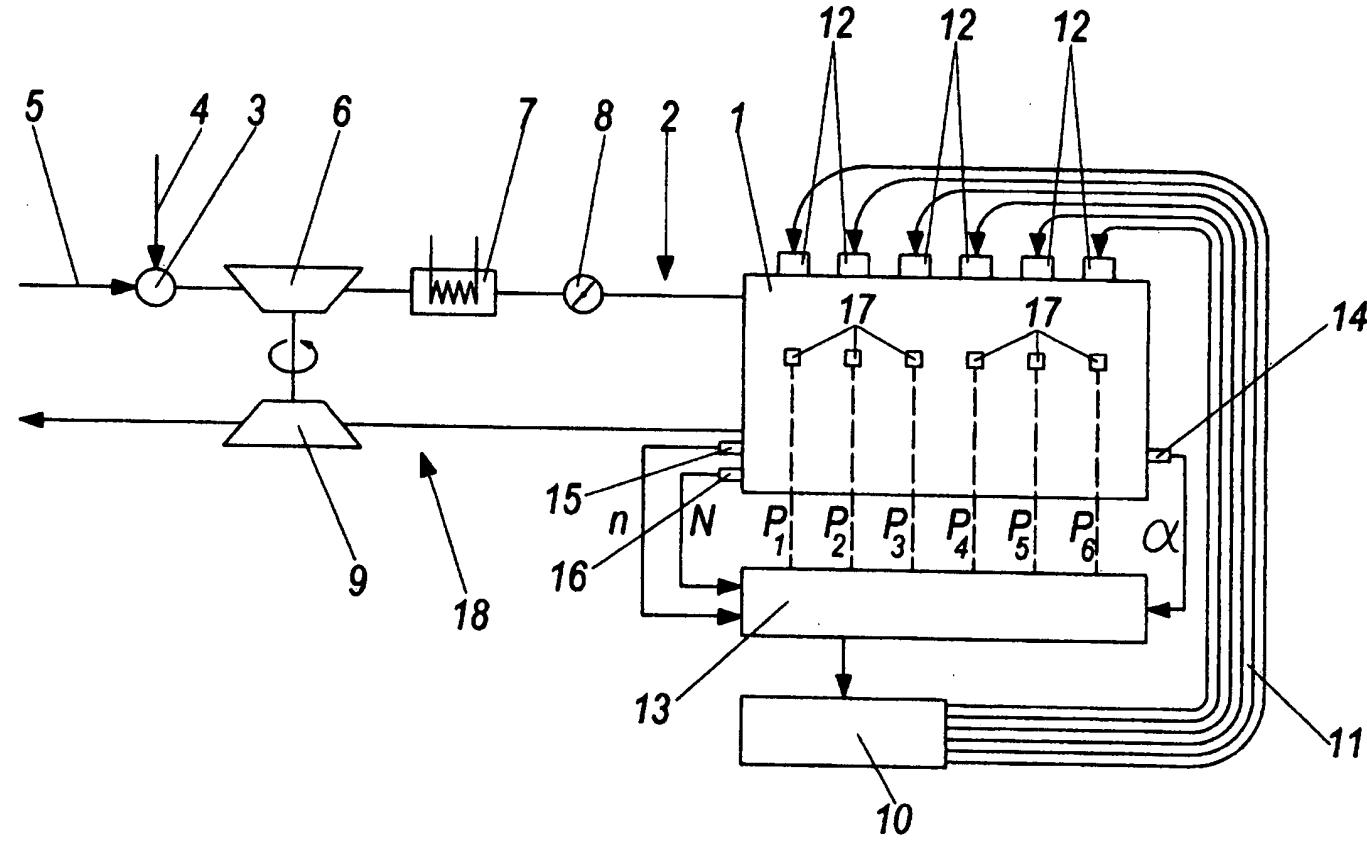


Fig. 2

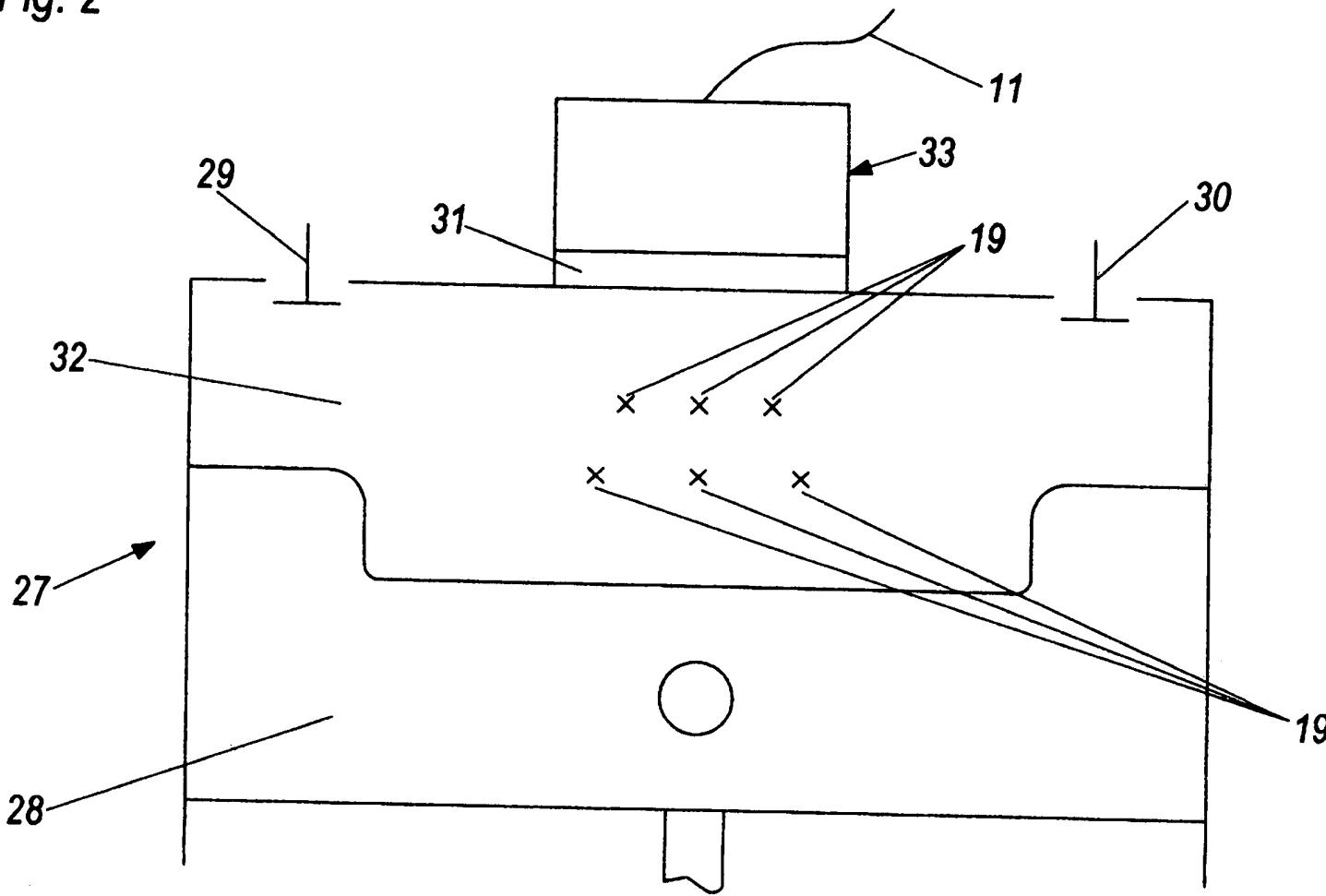


Fig. 3

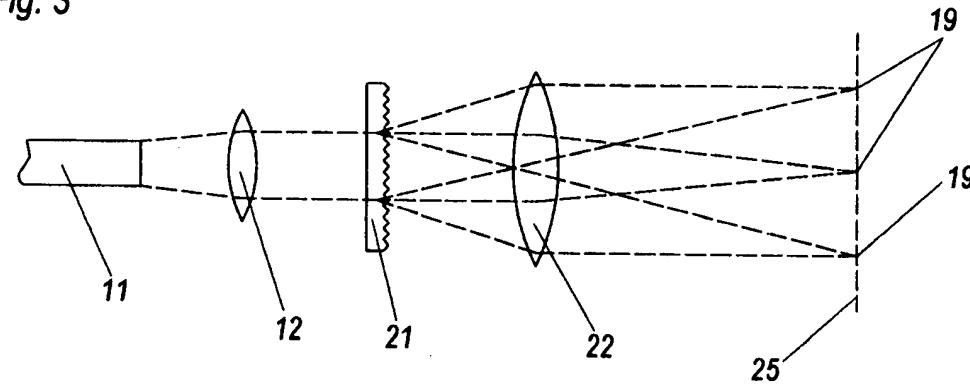


Fig. 4

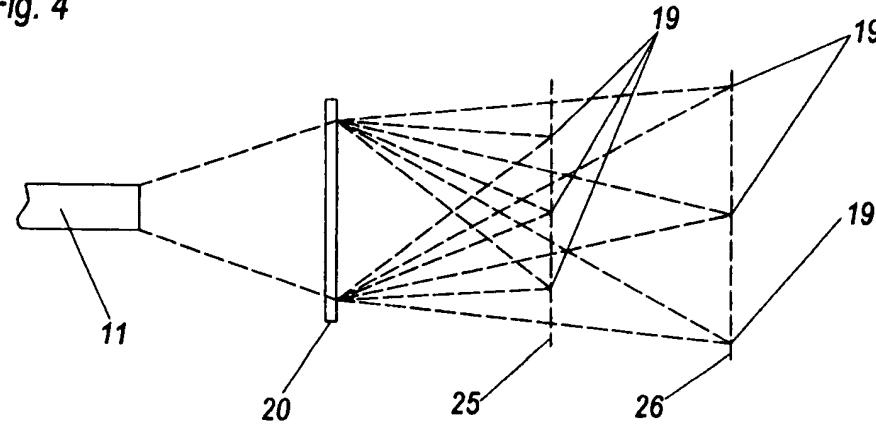


Fig. 5

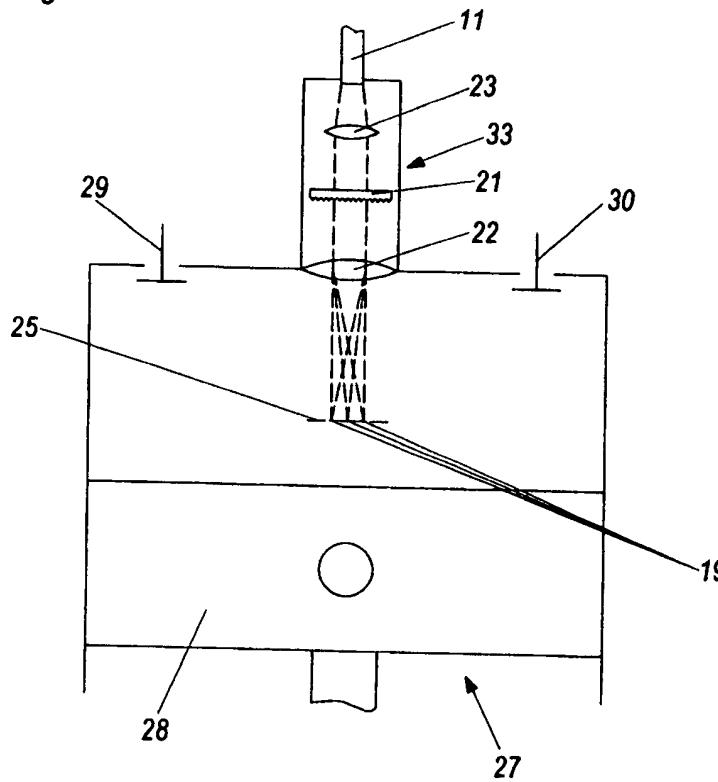


Fig. 6

