



(19)

REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer:

AT 409 188 B

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer:

950/2000

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: G01N 21/63

(22) Anmeldetag:

31.05.2000

G01N 21/64

(42) Beginn der Patentdauer:

15.10.2001

(45) Ausgabetag:

25.06.2002

(30) Priorität:

04.06.1999 DE 19925583 beansprucht.

(73) Patentinhaber:

LAVISION GMBH

D-37079 GÖTTINGEN (DE).

F. E. V. MOTORENTECHNIK GMBH

D-52078 AACHEN (DE).

(56) Entgegenhaltungen:

US 5206176A

(54) VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER RÄUMLICHEN KONZENTRATION DER EINZELNEN KOMPONENTEN EINES GEMISCHES, INSbesondere EINES GASGEMISCHES IN EINEM BRENNRAUM, ZUM BEISPIEL EINEM MOTOR

AT 409 188 B

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Konzentration der einzelnen Komponenten eines Teilchengemisches, insbes. eines Gasgemisches im Brennraum, z.B. eines Motors; hierbei wird ein Laserstrahl in den Brennraum gelenkt; durch den Laserstrahl werden die Teilchen des Gemisches zum Leuchten angeregt wobei dieses Licht der Teilchen in rückwärtiger Richtung durch ein abgeschattetes Objektiv als Leuchtfäche auf einem Bildschirm abgebildet wird und durch einen flächigen Photodetektor die radiale Intensitätsverteilung registriert wird, wobei aus der radialen Intensitätsverteilung die Bestimmung der räumlichen Konzentration einzelner Komponenten des Teilchengemisches erfolgen kann.

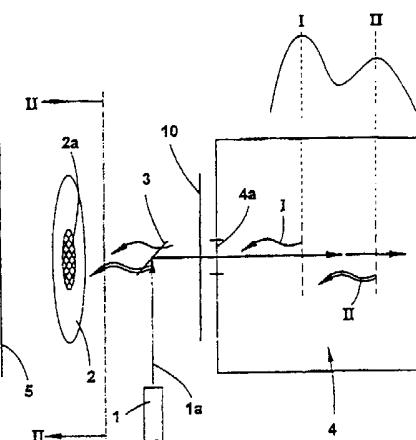


Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Konzentration der einzelnen Komponenten eines Gemisches, insbesondere eines Gasgemisches im Brennraum eines Motors, wobei ein Laserstrahl durch nur eine Öffnung in den Brennraum gelenkt wird, wobei durch den Laserstrahl bestimmte Teilchen des Gemisches auf einer Linie zum Leuchten angeregt werden, wobei das rückwärts gestreute Licht dieser Teilchen registriert wird.

Bekannt ist es, in dem Brennraum eines Motors, beispielsweise einem Zylinder, mehrere Zugänge vorzusehen, wobei mittels optischer Einrichtungen, zum Beispiel auch durch Spiegel, die räumliche Konzentration einzelner Komponenten in dem Kraftstoff-Luftgemisch inklusive etwaiger Restgase mit erfasst wird. Die Kenntnis über die örtliche Konzentration der einzelnen Komponenten eines derartigen Gemisches, beispielsweise eines Gemisches aus Kraftstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Restgas ist notwendig, um die Verbrennung im Brennraum optimieren zu können. Allerdings wird durch die nach dem Stand der Technik erforderliche Vielzahl von Zugängen - es sind mindestens zwei Zugänge zur räumlichen Erfassung der Konzentration des Gasgemisches erforderlich - ein hoher konstruktiver Aufwand getrieben, um eine derartige Bestimmung vornehmen zu können. Weiterhin sind auch sogenannte "Glasmotoren" bekannt, die ebenfalls die Möglichkeit der optischen Ermittlung der Konzentration einzelner Gase eines Gasgemisches im Brennraum ermöglichen.

Nachteilig ist bei allen diesen bekannten Verfahren beziehungsweise Vorrichtungen nicht nur der erhebliche konstruktive Aufwand, sondern auch, und dies ist viel wichtiger, die Verfälschung der realen Strömungs- und Verbrennungsbedingungen, da die Schaffung des optischen Zugang oftmals mit großen Veränderungen der Brennraumgeometrie verbunden ist. Veränderungen in der Brennraumgeometrie beeinflussen allerdings immer auch die Verbrennungsvorgänge. Zum einen sollte daher der Brennraum durch den optischen Zugang möglichst wenig verändert werden. Zum anderen sollten trotzdem möglichst detaillierte, z.B. örtlich aufgelöste Messungen von Konzentrationen von Gasen, möglich sein.

Bei der Verwendung von nur einer Öffnung könnten dann auch optische Messungen an kaum veränderten Serienmotoren durchgeführt werden, indem z.B. der Druckaufnehmer oder die Zündkerze entfernt und durch einen optischen Zugang ersetzt wird.

Bekannt ist aus der US 5,206,176 A ein Verfahren zur Bestimmung aromatischer Verbindungen in einem Gasgemisch innerhalb eines Brennraumes, wobei ein Laserstrahl durch eine Öffnung in den Brennraum gelenkt wird, wobei durch den Laserstrahl bestimmte Teilchen des Gemisches auf einer Linie zum Leuchten angeregt werden. Durch die gleiche Öffnung, durch die das Licht eintritt, wird das austretende Licht gemessen. Eine Bestimmung der präzisen örtlichen Konzentration von Gasen in dem Brennraum ist hiermit nicht möglich.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, mit denen der Aufwand zur präzisen Bestimmung der räumlichen Konzentration der einzelnen Komponenten eines Gasgemisches in einem Raum, insbesondere einem Brennraum, minimiert werden kann.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Hierbei wird ein Laserstrahl durch eine einzige in dem Brennraum angeordnete Öffnung gelenkt, wobei durch den Laserstrahl auf einer Linie Teilchen des Gemisches zum Leuchten angeregt werden, wobei dann das von den Teilchen ausgesandte Licht in rückwärtiger Richtung durch die gleiche Öffnung über ein speziell abgeschattetes Objektiv auf eine lichtempfindliche Fläche, (z.B. auf eine intensivierte CCD-Kamera) abgebildet wird. Durch den Laserstrahl werden die Teilchen derart angeregt, dass sie Photonen aussenden. Durch die Photonen wird die lichtempfindliche Fläche zum Leuchten angeregt. Aus der Intensität des Leuchtens der Teilchen und der Größe der Leuchtfäche auf der lichtempfindlichen Fläche kann die Konzentration dieser Teilchen längs der durch den Laser definierten Linie örtlich durch einen flächigen Photodetektor (z.B. intensivierte CCD-Kamera) aufgelöst bestimmt werden.

Wesentlich ist, daß die vom Laser auf einer Linie induzierten Emissionen in Form von Photonen in rückwärtiger Richtung registriert werden, so daß nur ein optischer Zugang notwendig ist und trotzdem der örtliche Konzentrationsverlauf bestimmt werden kann.

Es ist bekannt, daß es durch die Wahl oder die Erfassung bestimmter optischer Parameter (z.B. die Wellenlänge und Polarisation des anregenden Lasers, die Wellenlängen des von den Teilchen ausgestrahlten Lichts, die Analyse der Polarisation oder der Lebensdauer des Aufleuch-

tens) möglich ist, die einzelnen Komponenten eines Teilchengemisches zu identifizieren und durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Filterung) die Konzentration einzelner Komponenten auch getrennt zu bestimmen. Den Komponenten des Gasgemisches (z.B. Luft, Kraftstoff oder Abgas) können auch leuchtende Substanzen („tracer“, z.B. Farbstoffe) zugegeben werden, um über das Leuchten dieser zugegebenen Substanzen die Konzentration der entsprechenden Komponente zu bestimmen.

Bei dem Verfahren wird von der Erkenntnis ausgegangen, dass ein Laser Licht mit einer bestimmten Wellenlänge aussendet, durch das die Teilchen des Gasgemisches zum Leuchten angeregt werden. Von der Art der Teilchen, beispielsweise ob es sich um Sauerstoff-, Kraftstoff- oder Stickstoffmoleküle oder auch den Substanzen zugegebene tracer Moleküle handelt, hängt die Wellenlänge des Lichtes ab, das von den Teilchen nach Anregung durch den Laser emittiert wird.

Zur Bestimmung der Konzentration der einzelnen Teilchen oder Moleküle im Brennraum an verschiedenen Orten wird nun von der für eine Abbildungsoptik geltenden Überlegung ausgegangen, dass Teilchen oder Gegenstände allgemein, je weiter sie von der Gegenstandsebene entfernt sind, eine zunehmend große Fläche in der Bildebene ausleuchten. Definiert man  $z$  als Abstand der Bildebene zur Gegenstandsebene ( $z=0$  für die Gegenstandsebene) so liefern die leuchtenden Punkte in der Bildebene kreisförmige Flächen, die um so größer werden desto weiter sie von der Gegenstandsebene entfernt liegen. Leuchtende Punkte, die sich in verschiedenen Abständen  $z$  von der Gegenstandsebene auf der durch den Laser definierten Linie befinden, liefern daher verschiedene große, kreisringförmige Flächen in der Bildebene.

Von besonderer Bedeutung ist die Abschattung des von den Teilchen emittierten Lichtbündels in rückwärtiger Richtung. Bei einer (zentrischen) Ausblendung des von einem Punkt ausgehenden Strahlenbündels ergibt sich in der Bildebene statt einer kreisförmigen Fläche nur noch ein Kreisring mit einem Radius  $R$  und einer Dicke  $\Delta R$ . Dabei nimmt die Dicke des Kreisrings ab, wenn das Bündel im Durchmesser zunehmend abgeschattet wird. In dieser Anordnung wird das Aufleuchten, das durch den Laser in einem Ortsbereich  $[z_1, z_2]$  verursacht wird, in der Bildebene in einem Radialbereich  $[R_1, R_2]$  abgebildet. Aus der Integration der Intensität der Strahlung, die in dem Radialbereich  $[R_1, R_2]$  registriert wird, kann die Zahl der im Ortsbereich  $[z_1, z_2]$  ausgesandten Photonen bestimmt werden. Aus der Zahl der ausgesandten Photonen kann die Konzentration der Teilchen nach bekannten Verfahren, z. B. Raman-Streuung, ermittelt werden.

Bei der Belichtung einer Linie im Brennraum mit einem Laser ergibt sich so ein System von konzentrischen Kreisringen in der Bildebene, wobei das in verschiedenen radialen Abständen registrierte Licht verschiedenen Ursprungsorten auf der Laserlinie zugeordnet werden kann. Hiermit ist somit in einfacher Weise eine Bestimmung der örtlichen Konzentration einzelner Komponenten eines Gasgemisches in einem Brennraum insofern möglich, als der Abstand der Teilchenkonzentration von der Gegenstandsebene und mithin von der Zylinderwandung ermittelbar ist.

Im Einzelnen ist hierbei vorgesehen, dass im Strahlengang des Lasers ein u.U. teildurchlässiger Spiegel angeordnet ist. Durch die Anordnung des Spiegels im Strahlengang des Lasers wird erreicht, daß durch ein und dieselbe Öffnung im Zylinder sowohl der Laserstrahl eingelenkt, als auch das von den Teilchen emittierte Licht austreten kann. Wesentlich ist, dass mit diesem erfindungsgemäßen Verfahren lediglich ein Zugang in den Brennraum erforderlich ist, um den Laser durch diesen Zugang in den Brennraum zu schicken und das von den Teilchen emittierte Licht zu empfangen.

Die Anordnung zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens zeichnet sich durch einen Laser, einen im Strahlengang des Lasers angeordneten Spiegel, sowie ein im Strahlengang des von den Teilchen emittierten Lichts angeordnetes Objektiv aus, hinter dem ein Bildschirm angeordnet ist. Das Objektiv ist hierbei, wie bereits an anderer Stelle erläutert, zentrisch lichtdurchlässig abgedeckt, um eine Erhöhung der Trennschärfe zu erreichen.

Anhand der Zeichnung wird die Erfindung nachstehend beispielhaft näher erläutert.

Fig. 1 zeigt schematisch die Anordnung zur Bestimmung der räumlichen Konzentration einzelner Teilchen eines Gemisches;

Fig. 2 zeigt eine Ansicht gemäß der Linie II/II aus Fig. 1;

Fig. 3 zeigt schematisch den Strahlengang von zwei Leuchtbereichen hinter der Gegenstandsebene, die auf der Bildebene abgebildet werden.

Gemäß der Figur 1 ist der Laser mit 1 bezeichnet. Der Laser 1 sendet einen Laserstrahl 1a

aus, der durch den teildurchlässigen Spiegel 3 durch ein Fenster 4a in den Brennraum 4 gelenkt wird. Im Brennraum 4 befindet sich ein Gasgemisch, in dem die nachzuweisende Komponente mit dem Konzentrationsverlauf, der anhand der Kurve (die über dem schematisch dargestellten Brennraum abgebildet ist) beispielhaft dargestellt ist und auf der durch den Laser definierten Linie zum Leuchten angeregt wird. An zwei bestimmten Orten liegen die zwei Konzentrationen I und II eines Gases vor. Bei der nachzuweisenden Komponente kann es sich zum Beispiel um Sauerstoff, Stickstoff oder Kraftstoff oder um tracer Moleküle im Gasgemisch handeln. Der Laserstrahl 1a trifft im Bereich der Konzentration I und II auf die entsprechenden Teilchen und regt diese zum Leuchten an, wobei die Stärke des Aufleuchtens der Konzentration proportional ist. Das Laser induzierte Licht wird durch das Fenster 4a zurückgeschickt, durchstößt den teildurchlässigen Spiegel und wird durch das Objektiv 2 auf der mit 5 bezeichneten Bildebene als kreisringförmige Leuchtfäche abgebildet. Das Objektiv 2 ist zentrisch z.B. durch eine lichtundurchlässige Folie 2a abgedeckt. Durch das Objektiv 2 wird das Licht aus der Gegenstandsebene 10 in die Bildebene 5, in der die Intensität des rückgestreuten Lichtes flächig durch einen Photodetektor registriert wird, abgebildet.

Das Objektiv 2 bildet nur die Gegenstandsebene 10 scharf auf dem Bildschirm ab. Befindet sich der Leuchtpunkt, d.h. das leuchtende Teilchen, nicht auf der Gegenstandsebene 10, sondern in einem Abstand  $z$  hinter 10, so wird die Abbildung des Leuchtpunktes in der Bildebene 5 unscharf und ist eine Scheibe mit einer mehr oder weniger homogenen Verteilung der Intensität.

Ist aber die Mitte des Objektives 2 abgedeckt (vorteilhafterweise symmetrisch in der Fourierebene), so erreicht nur das Licht vom Leuchtpunkt, das durch den verbleibenden Ringspalt in Objektiv 2 geht, den Bildschirm in der Bildebene 5. In diesem Falle liefert die Abbildung mit dem in der Mitte abgedeckten Objektiv keine Scheibe, sondern einen Kreisring. Je enger der Ringspalt gewählt wird, desto kleiner wird die Breite des Kreisringes. Da der Radius bzw. der Durchmesser des Kreisringes monoton zunimmt, wenn sich der Leuchtpunkt weiter von der Bildebene 5 entfernt, kann aus dem Radius des Kreisringes der Abstand  $z_0$  des Teilchens von der Gegenstandsebene 10 ermittelt werden. Es ergeben sich demzufolge, wie aus Figur 2 erkennbar ist, zwei konzentrische, kreisförmige Ringe I und II. Durch Integration der registrierten Lichtintensität über die Fläche der beiden Ringe können nunmehr Rückschlüsse auf die Höhe der Konzentration der entsprechenden Teilchen, zum Beispiel Sauerstoff und Stickstoff, an den Stellen I und II gezogen werden, wobei aufgrund der Durchmessergröße Rückschlüsse auf den räumlichen Abstand der Konzentration I und II von der Gegenstandsebene 10 gezogen werden können.

Bei der Darstellung gemäß Fig. 3 wird der Laser durch einen Spiegel auf der optischen Achse R1 der Abbildung eingekoppelt und regt Teilchen nur auf der durch den Laser definierten Linie zum Leuchten an. Das Objektiv 2 ist so abgeschaltet, dass nur Licht im Bereich  $\Delta r$  durchgelassen wird.

Das Aufleuchten der Teilchen im Bereich  $\Delta Z$  wird so nur in dem Bereich  $\Delta R$  auf der Bildebene 5 abgebildet.

Aus der Fig. 3 sind im Einzelnen zwei Leuchtbereiche  $\Delta Z_1$  und  $\Delta Z_2$  erkennbar, die auf der Bildebene mit  $\Delta R_1$  und  $\Delta R_2$  abgebildet werden.

Hierbei gilt, dass, je geringer der Abstand des Leuchtbereichs  $\Delta Z$  zur Gegenstandsebene ist, um so näher entfernt ist der Abbildungsbereich  $\Delta R$  von der optischen Achse. In Bezug auf die Größe des Abbildungsbereiches auf der Bildebene im Verhältnis zum Leuchtbereich gilt folgende Relation:

$$\frac{\Delta T}{T} \approx \frac{\Delta Z}{Z}, \text{ wobei } Z \text{ der Abstand des Leuchtbereichs von der Gegenstandsebene ist.}$$

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Konzentration der einzelnen Komponenten eines Gemisches, insbes. eines Gasgemisches im Brennraum, z.B. eines Motors, wobei ein Laserstrahl (1a) durch nur eine Öffnung (4a) in den Brennraum (4) gelenkt wird, wobei durch den Laserstrahl bestimmte Teilchen des Gemisches auf einer Linie zum Leuchten angeregt werden, wobei das rückwärts gestreute Licht dieser Teilchen registriert wird,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass das rückwärts gestreute Licht durch ein abgeschattetes Objektiv als Leuchtfäche

abbildbar ist, wobei die Verteilung der Intensität ortsaufgelöst registriert wird und aus der radialen Verteilung der Intensität die Konzentration der einzelnen Komponente längs der Laserlinie (1a) örtlich aufgelöst ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
durch gekennzeichnet,  
dass im Strahlengang (1a) des Lasers (1) ein teildurchlässiger Spiegel (3) angeordnet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1,  
durch gekennzeichnet,  
dass das Objektiv (2) zur Bildung von trennscharfen Ringen auf dem Bildschirm partiell zentrisch lichtundurchlässig abgedeckt ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1,  
durch gekennzeichnet,  
dass die Leuchtfäche auf einem Bildschirm (5) abgebildet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,  
durch gekennzeichnet,  
dass die Verteilung der Intensität auf dem Bildschirm durch einen flächigen Photodetektor ortsaufgelöst registriert wird.
6. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens gemäß den Merkmalen eines oder mehrerer der voranstehenden Ansprüche,  
mit einem Laser (1), der durch nur eine Öffnung (4a) in den Brennraum (4) eingekoppelt wird,  
gekennzeichnet durch  
einen im Strahlengang (1a) des Lasers (1) angeordneten teildurchlässigen Spiegel (3),  
sowie ein im Strahlengang des rückgestreuten Lichtes angeordnetes Objektiv (2) hinter dem Bildschirm (5) und einen örtlich auflösenden Photodetektor.
7. Anordnung nach Anspruch 6,  
durch gekennzeichnet,  
dass das Objektiv (2) zentrisch partiell lichtundurchlässig abgedeckt ist.

30

**HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN**

35

40

45

50

55

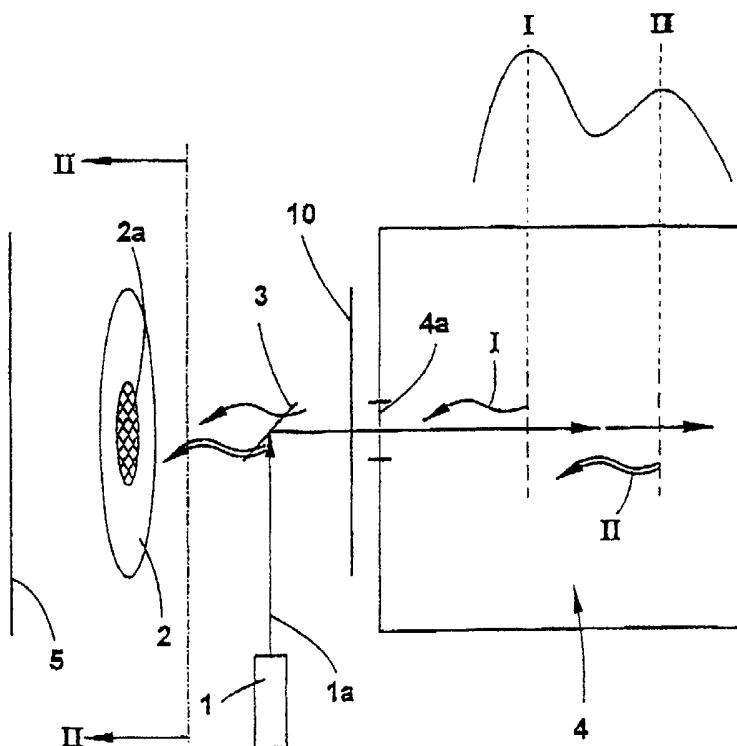


Fig. 1

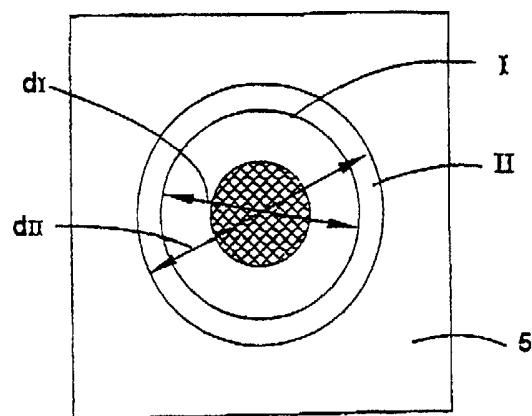


Fig. 2

