

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 51048/2015 (51) Int. Cl.: **G01N 21/71** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 07.12.2015 **G01N 1/22** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2017 **G01N 21/64** (2006.01)

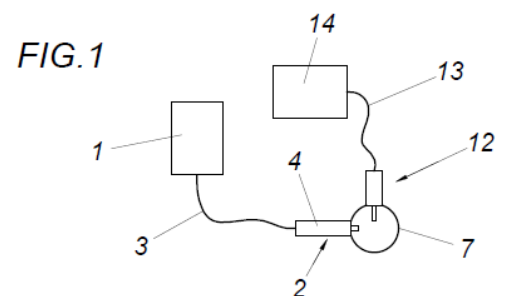
(56) Entgegenhaltungen:
WO 2012026117 A1
DE 102005009582 A1
JP 2012127202 A

(73) Patentinhaber:
Universität Linz
4040 Linz (AT)

(74) Vertreter:
Hübscher Helmut Dipl.Ing., Hübscher Gerd
Dipl.Ing., Hellmich Karl Winfried Dipl.Ing.
Linz

(54) **Vorrichtung zur Abgasanalyse einer Verbrennungskraftmaschine**

(57) Es wird eine Vorrichtung zur Abgasanalyse einer Verbrennungskraftmaschine mithilfe einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie mit einer radial an einen Abgaskanal (7) anschließbaren, mit einer Laserquelle (1) verbundenen Anregungssonde (2), die eine Fokussiereinrichtung für einen durch ein optisches Fenster (8) aus der Anregungssonde (2) in den Abgaskanal (7) austretenden Laserstrahl umfasst, und mit einer an ein Plasmaspektroskop (14) angeschlossenen, optischen Empfangssonde (12) für Lichtemissionen aus dem laserinduzierten Plasmabereich der Abgasströmung beschrieben. Um vorteilhafte Konstruktionsbedingungen zu schaffen, wird vorgeschlagen, dass die Anregungs- bzw. die Empfangssonde (2, 12) ein mit Kühlgas spülbares Sondengehäuse (4, 15) aufweist, das mit dem optischen Fenster (8) in eine radiale Durchtrittsöffnung (6, 17) des Abgaskanals (7) eingesetzt und mit der Laserquelle (1) bzw. dem Plasmaspektroskop (14) über einen Lichtfaserleiter (3, 13) verbunden ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Abgasanalyse einer Verbrennungskraftmaschine mithilfe einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie mit einer radial an einen Abgaskanal anschließbaren, mit einer Laserquelle verbundenen Anregungssonde, die eine Fokussiereinrichtung für einen durch ein optisches Fenster aus der Sonde in den Abgaskanal austretenden Laserstrahl umfasst, und mit einer an ein Plasmaspektroskop angeschlossenen, optischen Empfangssonde für Lichtemissionen aus dem laserinduzierten Plasmabereich der Abgasströmung.

[0002] Um die Zusammensetzung der Abgase von Verbrennungskraftmaschinen innerhalb eines Abgaskanals bestimmen zu können, wurde bereits der Einsatz einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie vorgeschlagen (WO 02/095376 A2). Zu diesem Zweck wird ein von einer Laserquelle abgestrahlter Laserstrahl gegebenenfalls unter Verwendung von Lichtfaserleitern durch ein im Abgaskanal vorgesehenes optisches Fenster fokussiert in den Abgasstrom gerichtet, der durch den fokussierten Laserstrahl in einem örtlich begrenzten Bereich verdampft und zu einem Plasma ionisiert wird, sodass das von den angeregten Atomen und Ionen emittierte optische Spektrum einer spektroskopischen Analyse zur qualitativen und quantitativen Erfassung der Abgaszusammensetzung unterworfen werden kann. Das vom Plasma emittierte Licht kann entweder über ein gesondertes optisches Fenster im Abgaskanal erfasst und nach einer Bündelung einem Plasmaspektroskop zur Erfassung der Abgaszusammensetzung zugeführt werden. Es ist aber auch möglich, das vom Plasma emittierte Licht durch das optische Fenster für den Durchtritt des Laserstrahls zu empfangen. In diesem Fall ist im Strahlengang ein Strahlungsteiler vorzusehen, der das zu detektierende Licht vom Laserstrahl ableitet. Obwohl vorgeschlagen wird, das optische Fenster zur Reinigung mit Luft zu spülen, was aufwendige Maßnahmen erfordert, kann eine Verschmutzungsgefahr des optischen Fensters nicht ausgeschlossen werden, weil eine solche Reinigung nicht während eines Messvorgangs möglich ist, ohne Einfluss auf die Abgaszusammensetzung zu nehmen. Abgesehen davon kann diesem Stand der Technik keine konstruktive Lösung entnommen werden, wie die aufgrund der Abgastemperaturen hohen thermischen und insbesondere durch Schwingungen bedingten mechanischen Belastungen aufgenommen werden können, um eine laufende Abgasanalyse während des Betriebs einer Verbrennungskraftmaschine sicherstellen zu können.

[0003] Zur Überwachung der Zusammensetzung der Abgase eines Turbintriebwerks, insbesondere hinsichtlich des Auftretens bestimmter Spurenelemente, ist es außerdem bekannt (US 2005/0267694 A1), den aus der Turbine ausgestoßenen Abgasstrom mithilfe einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie zu analysieren. Zu diesem Zweck ist eine Sonde mit einem wassergekühlten Sondengehäuse vorgesehen, das auf einer Seite eine Laserquelle trägt und auf der gegenüberliegenden Seite durch eine Linse abgeschlossen ist, durch die der Laserstrahl fokussiert in den Abgasstrom gerichtet und das vom induzierten Plasma emittierte Licht gebündelt in das Sondengehäuse geleitet wird, um durch einen Spiegel, der für den Durchtritt des Laserstrahls gelocht ist, einem Plasmaspektroskop zugeführt zu werden. Zur Reinigung der Linse wird Stickstoff eingesetzt. Da das Sondengehäuse frei in den von der Turbine ausgestoßenen Abgasstrom ragt ist die bekannte Vorrichtung nicht für eine Abgasanalyse innerhalb eines Abgaskanals geeignet, wie dies für eine genaue Abgasanalyse von Verbrennungskraftmaschinen erforderlich ist.

[0004] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Abgasanalyse von Verbrennungskraftmaschinen mithilfe einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie so auszugestalten, dass einerseits eine In-situ-Abgasanalyse auch bei sich rasch ändernde Emissionen durchgeführt werden kann und andererseits einfache Anschlussbedingungen an den Abgaskanal ohne Gefahr einer thermischen und mechanischen Überlastung sichergestellt werden können.

[0005] Ausgehend von einer Vorrichtung der eingangs geschilderten Art löst die Erfindung die gestellte Aufgabe dadurch, dass die Anregungs- bzw. die Empfangssonde ein mit Kühlgas spülbares Sondengehäuse aufweist, das mit dem optischen Fenster in eine radiale Durchtritts-

öffnung des Abgaskanals eingesetzt und mit der Laserquelle bzw. dem Plasmaspektroskop über einen Lichtfaserleiter verbunden ist.

[0006] Da zufolge dieser Maßnahmen das Sondengehäuse der Anregersonde bzw. der Empfangssonde in eine radiale Durchtrittsöffnung des Abgaskanals eingesetzt ist, bedarf es zum Anschluss dieser Sonden an den Abgaskanal lediglich einer Durchtrittsöffnung, die vorzugsweise mit einem Anschlussgewinde für das Sondengehäuse versehen ist, sodass das Sondengehäuse bloß in das Anschlussgewinde eingeschraubt zu werden braucht. Das das Sondengehäuse abgasseitig abschließende optische Fenster ragt somit in den Abgaskanal und wird durch den fokussierten Laserstrahl der Anregungsquelle beaufschlagt, sodass durch den fokussierten, energiereichen Laserstrahl bedingte Schockwellen und Ablationsvorgänge das optische Fenster auf der Seite des Abgaskanals rein gehalten wird, was für die Plasmabildung von besonderer Bedeutung ist. Das Sondengehäuse kann wegen des Einsatzes von Lichtfaserleitern ohne Schwierigkeiten an der jeweils vorgesehenen Messstelle entlang des Abgaskanals eingesetzt werden, weil durch die Lichtfaserleiter die notwendige Verbindung zwischen dem Sondengehäuse und der geschützt angeordneten Laserquelle bzw. dem Plasmaspektroskop in einfacher Weise erreicht wird. Abgesehen davon, bleiben diese Einrichtungen insbesondere vor thermischen Überlastungen bewahrt. Das Sondengehäuse wird ja mit einem Kühlgas, vorzugsweise Kühlluftluft gespült, sodass die auf das Sondengehäuse übertragene Abgaswärme über das Kühlgas abgeführt werden kann. Selbst die Erwärmung der innerhalb des Sondengehäuses für den Strahlengang vorgesehenen Einrichtungen, wie Linsen, Blenden, Spiegel, Strahlteiler, Lichtleiterfasern u. dgl., die häufig aus Kunststoff hergestellt oder mit Kunststoff beschichtet sind, kann durch die Spülung der Sondengehäuse mit einem Kühlgas in zulässigen Grenzen gehalten werden.

[0007] Werden für die Anregungsquelle und die Empfangssonde voneinander gesondert an den Abgaskanal angeschlossene Sondengehäuse eingesetzt, so empfiehlt es sich, das Sondengehäuse für die Empfangssonde mit einem in den Abgaskanal vorstehenden Kristallstab als optisches Fenster zu versehen. Da der Kristallstab gegen den vom Laserstrahl induzierten Plasmabereich vorsteht, wirken auf das vorstehende Ende des Kristallstabs wiederum Schockwellen des Plasmas und Ablationsvorgänge, sodass auch in diesem Fall für eine Selbstreinigung gesorgt ist.

[0008] Einfachere Konstruktionsverhältnisse ergeben sich allerdings, wenn die Anregungsquelle und die Empfangssonde zu einer Baueinheit zusammengefasst werden, indem die Empfangssonde an den Abgaskanal und die Anregungsquelle an die Empfangssonde angeschlossen werden. Im Sondengehäuse der Empfangssonde ist hierfür im Strahlengang des vom Plasma emittierten, durch das optische Fenster empfangenen Lichts ein Strahlteiler vorzusehen, der den Laserstrahl aus dem Sondengehäuse der Anregungsquelle in Richtung der Achse des optischen Fensters des Sondengehäuses für die Empfangssonde umlenkt, ohne die Lichtleitung für das durch das optische Fenster empfangene Licht zu behindern.

[0009] In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

[0010] Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Abgasanalyse einer Verbrennungskraftmaschine in einem vereinfachten Blockschaltbild,

[0011] Fig. 2 das Sondengehäuse für die Anregungsquelle in einem vereinfachten Längsschnitt in einem größeren Maßstab,

[0012] Fig. 3 das Sondengehäuse für die Empfangssonde in einem vereinfachten Längsschnitt in einem größeren Maßstab,

[0013] Fig. 4 eine der Fig. 1 entsprechende Darstellung einer Ausführungsvariante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und

[0014] Fig. 5 die miteinander vereinigten Sondengehäuse der Anregungsquelle und der Empfangssonde in einem vereinfachten Längsschnitt in einem größeren Maßstab.

[0015] Die Vorrichtung gemäß den Fig. 1 bis 3 zur Abgasanalyse einer Verbrennungskraftmaschine weist eine Laserquelle 1 zur Beaufschlagung einer Anregungssonde 2 auf, die mit der Laserquelle 1 über einen Lichtfaserleiter 3 verbunden ist. Am dem Lichtfaserleiter 3 gegenüberliegenden Ende ist das Sondengehäuse 4 mit einem rohrförmigen Befestigungsansatz 5 versehen, mit dessen Hilfe das Sondengehäuse 4 in eine mit einem Anschlussgewinde versehene Durchtrittsöffnung 6 eines Abgaskanals 7 der Verbrennungskraftmaschine eingeschraubt ist. Der radial in das Innere des Abgaskanals 7 ragende Befestigungsansatz 5 ist endseitig durch ein optisches Fenster 8 gegenüber den Abgasen abgeschlossen.

[0016] Zur Analyse der Abgase im Abgaskanal 7 müssen diese mithilfe eines energiereichen Laserstrahls örtlich begrenzt zu einem Plasma ionisiert werden, um das von den angeregten Atomen und Ionen emittierte optische Spektrum einer spektroskopischen Analyse zur qualitativen und quantitativen Erfassung der Abgaszusammensetzung unterziehen zu können. Der über den Lichtfaserleiter 3 in das Sondengehäuse 4 eingeleitete Laserstrahl wird optisch aufbereitet. Zu diesem Zweck ist im Strahlengang des Sondengehäuses 4 eine Fokussiereinrichtung vorgesehen, die beispielsweise einen Strahlaufweiter 9, eine Fokussierungslinse 10 und eine Blende 11 umfasst, sodass der fokussierte Laserstrahl vorzugsweise in der Querschnittmitte des Abgaskanals 7 ein Plasma induziert.

[0017] Mit dem vom Plasma emittierten Licht wird eine Empfangssonde 12 beaufschlagt, die über einen Lichtfaserleiter 13 an ein Plasmaspektroskop 14 angeschlossen ist. Das Sondengehäuse 15 ist wiederum mittels eines rohrförmigen Befestigungsansatzes 16 in eine Durchtrittsöffnung 17 des Abgaskanals 7 eingeschraubt, die gegenüber der Durchtrittsöffnung 6 für die Anregungssonde 2 winkelfersetzt angeordnet ist. Das Sondengehäuse 15 gegenüber den Abgasen abschließende optische Fenster 8 wird allerdings durch einen Kristallstab 18 gebildet, der über den Befestigungsansatz 16 in den Abgaskanal vorsteht und daher im Bereich des induzierten Plasmas Schockwellen und Ablationsvorgängen ausgesetzt ist, die für eine Selbstreinigung des Kristallstabs 18 insbesondere im Bereich seines Endes sorgen. Das vom Plasma emittierte, durch den Kristallstab 18 in das Sondengehäuse 15 geleitete Licht wird über eine Linse 19 fokussiert an den Lichtfaserleiter 13 weitergegeben, um im Plasmaspektroskop 14 analysiert zu werden.

[0018] Durch die Lichtfaserleiter 3, 13 zwischen den Sondengehäusen 4, 15 einerseits und der Laserquelle 1 und dem Plasmaspektroskop 14 andererseits wird die Anordnung dieser Einrichtungen unabhängig von der jeweiligen Messstelle, die folglich den jeweiligen Anforderungen entsprechend entlang des Abgaskanals 7 vorgesehen werden kann. Zum Schutz der Anregungssonde 2 und der Empfangssonde 12 vor einer thermischen Überlastung werden die Sondengehäuse 4, 15 mit einem Kühlgas, im Ausführungsbeispiel Kühlluft, gespült, wobei die Beaufschlagung mit Kühlluft über einen den Sondengehäusen 4, 15 zugeordneten Temperaturfühler 20 geregelt werden kann. Die Kühlluft wird über einen Kühlluftanschluss 21 zugeführt und über einen Kühlluftauslass 22 abgeführt.

[0019] Die Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß den Fig. 4 und 5 unterscheidet sich von der nach den Fig. 1 bis 3 im Wesentlichen nur darin, dass die Empfangssonde 12 keine gesonderte, sondern eine mit der Anregungssonde 2 gemeinsame Baueinheit bildet. Hierfür ist das Sondengehäuse 15 für die Empfangssonde 12 radial an den Abgaskanal 7 angeschlossen und die Anregungssonde 2 radial zum Strahlengang durch das optische Fenster 8 an das Sondengehäuse 15 der Empfangssonde 12 angesetzt. Der Laserstrahl muss daher im Sondengehäuse 15 der Empfangssonde 12 mittels eines Strahlteilers 23 umgelenkt werden, über den das empfangene, vom Plasma emittierte Licht dem Lichtfaserleiter 13 zugeführt werden muss. Während der Laserstrahl nach einem Aufweiten durch einen Strahlaufweiter 24 durch eine Blende 25 durch den Strahlteiler 23 umgelenkt und durch die Linse 10 fokussiert wird, durchsetzt das empfangene, durch die Linse 10 gebündelte Licht den Strahlteiler 23, um an den Lichtfaserleiter 13 weitergeleitet zu werden.

[0020] Da das Sondengehäuse 4 der Anregungssonde 2 an das Sondengehäuse 15 der Empfangssonde 12 angesetzt ist, bedarf das Sondengehäuse 4 keiner gesonderten Kühlluftzufuhr.

Es genügt daher, das Sondengehäuse 15 der Empfangssonde 12 in der beschriebenen Weise mit Kühlluft zu beaufschlagen, um mit einem Teil dieser Kühlluft auch das Sondengehäuse 4 der Anregungssonde 2 kühlen zu können. Die Kühlluft wird somit geregelt durch einen Temperaturfühler 20 dem Sondengehäuse 15 über einen Kühlluftanschluss 21 zugeführt und durch Kühlluftauslässe 22 aus den Sondengehäusen 4 und 15 abgezogen.

[0021] Unabhängig von der konstruktiven Ausführung wird mithilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine schnelle In-situ-Erfassung der Abgaszusammensetzung von Verbrennungskraftmaschinen erreicht, was die Möglichkeit einschließt, den zeitlichen Verlauf auch von schnellen transienten Emissionsspitzen in sehr kurzen Intervallen im Nanosekundenbereich zu untersuchen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Abgasanalyse einer Verbrennungskraftmaschine mithilfe einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie mit einer radial an einen Abgaskanal (7) anschließbaren, mit einer Laserquelle (1) verbundenen Anregungssonde (2), die eine Fokussiereinrichtung für einen durch ein optisches Fenster (8) aus der Anregungssonde (2) in den Abgaskanal (7) austretenden Laserstrahl umfasst, und mit einer an ein Plasmaspektroskop (14) angeschlossenen, optischen Empfangssonde (12) für Lichtemissionen aus dem laserinduzierten Plasmabereich der Abgasströmung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anregungs- bzw. die Empfangssonde (2, 12) ein mit Kühlgas spülbares Sondengehäuse (4, 15) aufweist, das mit dem optischen Fenster (8) in eine radiale Durchtrittsöffnung (6, 17) des Abgaskanals (7) eingesetzt und mit der Laserquelle (1) bzw. dem Plasmaspektroskop (14) über einen Lichtfaserleiter (3, 13) verbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Empfangssonde (12) ein von der Anregungssonde (2) gesondert an den Abgaskanal (7) anschließbares Sondengehäuse (15) mit einem in den Abgaskanal (7) vorstehenden Kristallstab (18) als optisches Fenster (8) aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an das an den Abgaskanal (7) angesetzte Sondengehäuse (15) für die Empfangssonde (12) das Sondengehäuse (4) für die Anregungssonde (2) radial zum Strahlengang durch das optische Fenster (8) angeschlossen ist und dass das Sondengehäuse (15) der Empfangssonde (12) einen Strahlteiler (23) im Strahlengang des durch das optische Fenster (8) empfangenen Lichts zur Umlenkung des Laserstrahls in Richtung des optischen Fensters (8) aufweist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

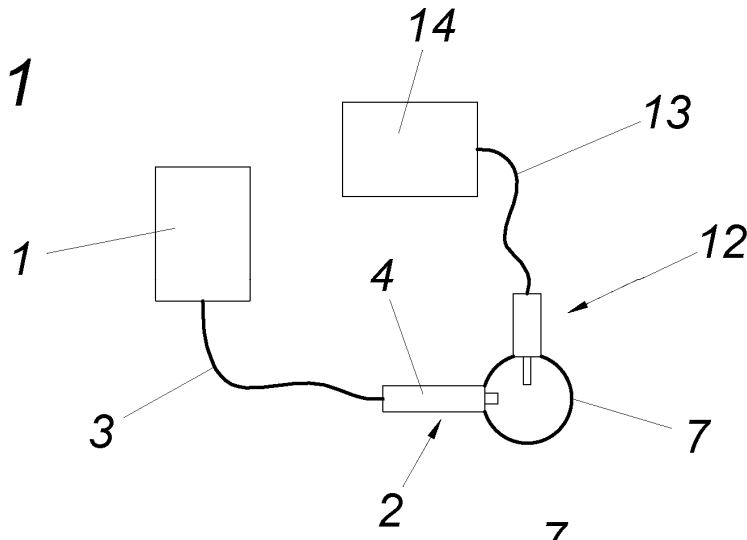


FIG. 2

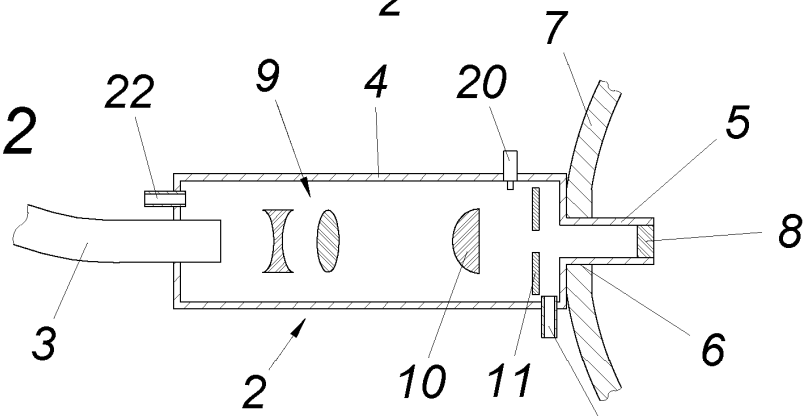


FIG. 3

