



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
01.11.2023 Patentblatt 2023/44

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F23N 5/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23165214.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F23N 5/082; F23N 2225/08; F23N 2229/04

(22) Anmeldetag: **29.03.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Stockhausen, Guido**
51147 Köln (DE)
• **Heinze, Johannes**
51147 Köln (DE)
• **Fleing, Christian**
51147 Köln (DE)

(30) Priorität: **25.04.2022 DE 102022109881**

(74) Vertreter: **dompatent von Kreisler Selting Werner-Partnerschaft von Patent- und Rechtsanwälten mbB**
Deichmannhaus am Dom
Bahnhofsvorplatz 1
50667 Köln (DE)

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**
53227 Bonn (DE)

(54) **BRENNKAMMER MIT EINEM SENSORSYSTEM SOWIE VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES BRENNERS EINER BRENNKAMMER**

(57) Brennkammer (1) mit einem Brenner (3) mit einer Brennerachse (M), die orthogonal zu einer Brennerkopfplatte durch einen Mittelpunkt der Brennerkopfplatte verläuft, und mit einem Sensorsystem mit mindestens einer ersten optischen Sensorvorrichtung (5) mit einer ersten Empfangsoptik (5a) mit einer ersten optischen Achse (7), wobei die erste optische Sensorvorrichtung (5) in Richtung der Brennerachse (M) stromab einer

Flammzone (10) des Brenners (3) mit stromaufwärts gerichteter Sensorrichtung mit der ersten optischen Achse (7) parallel zu der Brennerachse (M) oder in einem spitzen Winkel zu dieser angeordnet ist, vorzugsweise in einem Winkel kleiner 45°, und wobei die erste Sensorvorrichtung (5,6) Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung empfängt und detektiert.

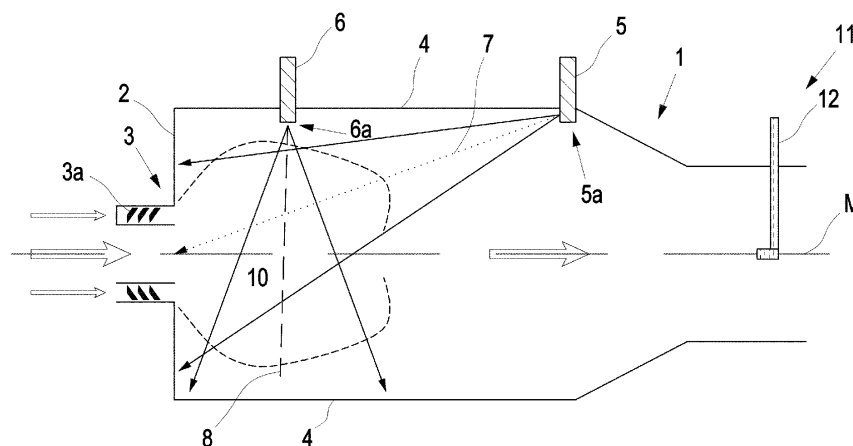


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennkammer mit einem Sensorsystem sowie ein Verfahren zur Regelung eines Brenners einer Brennkammer.

[0002] Bekannte Brennkammern weisen eine oder mehrere Brenner auf, mittels denen ein Brennstoff verbrannt wird, um ein heißes Abgas zu erzeugen, mittels dem über einen Wärmetauscher ein Wärmeträgermedium erwärmbar ist oder das einer Gasturbine zugeführt werden kann.

[0003] Bei der Brennkammer sind an den Brennkammerwänden zumeist Sensoren zur Aufnahme von Daten wie Temperaturen oder Druck angeordnet, über die eine Regelung des Brenners erfolgt.

[0004] Bei der Verwendung von Wasserstoff als Brennstoff entstehen allerdings aufgrund der hohen Flammgeschwindigkeit und heißer Verbrennungstemperaturen Probleme bei der Regelung eines Brenners, da thermo-akustische Instabilitäten, die Brennerkammerstrukturen zerstören können, Flammenrückschläge, Hotspots am Brenner, die zum Schmelzen führen, oder erhöhte NO_x -Produktion auftreten können.

[0005] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Brennkammer mit einem verbesserten Sensorsystem bereitzustellen, mit dem vorzugsweise in vorteilhafter Weise Daten aufgenommen werden können, mittels denen auf die zuvor genannten Probleme bei der Wasserstoffverbrennung geschlossen werden können. Es ist ferner die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein verbessertes Verfahren zur Regelung eines Brenners einer Brennkammer bereitzustellen, wobei vorzugsweise die zuvor genannten Probleme in vorteilhafter Weise durch die Regelung berücksichtigt werden können.

[0006] Die erfindungsgemäße Brennkammer ist definiert durch die Merkmale des Anspruchs 1.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren ist definiert durch die Merkmale des Anspruchs 10.

[0008] Die erfindungsgemäße Brennkammer mit mindestens einem Brenner mit einer Brennerachse, die orthogonal zu einer Brennerkopfplatte durch einen Mittelpunkt der Brennerkopfplatte verläuft, weist ein Sensorsystem mit mindestens einer ersten optischen Sensorvorrichtung. Die erste optische Sensorvorrichtung weist eine erste Empfangsoptik mit einer ersten optischen Achse auf. Die erste optische Sensorvorrichtung ist in Richtung der Brennerachse stromab einer Flammzone des Brenners mit stromaufwärts gerichteter Sensorrichtung angeordnet, wobei die erste optische Achse parallel zu der Brennerachse oder in einem spitzen Winkel zu dieser angeordnet ist. Die optische Achse kann zu der Brennerachse in einem Winkel kleiner 45° angeordnet sein. Die erste optische Sensorvorrichtung empfängt und detektiert Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung.

[0009] Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass die erste optische Sensorvorrichtung von stromabwärts auf die Flammzone und den Brenner bzw. eine den Bren-

ner umgebende Wand blickt. Über die mittels der ersten optischen Sensorvorrichtung detektierten infrarot-Strahlung kann das Infrarot-Spektrum des Brenners bzw. der den Brenner umgebenden Wand aufgenommen werden, um damit beispielsweise eine räumlich aufgelöste Temperatur zu ermitteln, wodurch Hot-Spots ermittelt werden können. Über die Ultraviolett-Strahlung kann das sogenannte Ultraviolett-Flammenleuchten der Flamme aufgenommen werden, wodurch die Verbrennung beurteilt werden kann. Das Ultraviolett-Flammenleuchten wird durch die UV-Strahlung des OH^* -Radikals hervorgerufen, der als Marker für chemische Verbrennungsprozesse dient. Mittels der ersten optischen Sensorvorrichtung lässt sich im UV-Bereich insbesondere die radial-tangentiale Flammenstruktur bestimmen, und somit die Lage der Wärmefreisetzung bzw. der Reaktionszone. Durch eine Messung aus einer Richtung sowohl im Infrarot- als auch im Ultraviolettspektrum, die vorzugsweise simultan erfolgt, kann in vorteilhafter in zwei unterschiedlichen Distanzen, beispielsweise einerseits die Flammzone und andererseits die dahinter liegende Wand, eine Messung erfolgen. Dadurch können auf besonders ökonomische Weise Daten in der Brennkammer aufgenommen werden..

[0010] Vorzugsweise weist das Sensorsystem mindestens eine zweite optische Sensorvorrichtung auf und die zweite optische Sensorvorrichtung eine zweite Empfangsoptik mit einer zweiten optischen Achse. Die zweite optische Sensorvorrichtung kann in einem Bereich seitlich der Flammzone mit der zweiten optischen Achse quer zu der Brennerachse angeordnet sein. Die zweite optische Sensorvorrichtung empfängt und detektiert Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung.

[0011] Mittels der zweiten Sensorvorrichtung, dessen zweite optische Achse vorzugsweise orthogonal zu der Brennerachse verläuft, kann aufgrund der seitlichen Position die Verbrennung von der Seite beobachtet werden und somit die axiale Lage der Flamme. Dadurch kann beispielsweise auf das Schwingungsverhalten oder Strömungsverhalten geschlossen werden. Darüber hinaus kann über das Empfangen und Detektieren der Infrarot-Strahlung Wärmestrahlung der seitlichen Brennkammerwände empfangen werden, wodurch Hot-Spots in diesem Bereich der Brennkammer ermittelbar sind.

[0012] Die Erfindung sieht somit vor, dass eine optische Messung im IR-Bereich durch die Flamme hindurch vorgenommen wird. Es hat sich herausgestellt, dass bei rußarmen Flammen, wie beispielsweise einer Wasserstoff-Flamme, das Sensorsystem durch die Flamme "schauen" kann, so dass eine optische Messung, wie beispielsweise Temperaturmessung, von Brennkammerteilen, die entlang der optischen Achse der ersten oder zweiten optischen Sensorvorrichtung hinter der Flamme liegen, erfolgen kann.

[0013] Die mittels des Sensorsystems ermittelten Daten können in vorteilhafter Weise für die Regelung des mindestens einen Brenners verwendet werden. Durch die Ausgestaltung des Sensorsystems der Erfindung mit

der ersten und zweiten optischen Sensorvorrichtung lässt sich darüber hinaus mit vorrichtungstechnisch geringem Aufwand eine Vielzahl von Daten der Brennkammer und der Flamme aufnehmen, über die beispielsweise eine Regelung des Brenners möglich ist.

[0014] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die erste und/oder die zweite Empfangsoptik ein Weitwinkelobjektiv, beispielsweise mit einer Brennweite zwischen 8 und 12 mm, aufweist. Die Verwendung einer derartigen Empfangsoptik ermöglicht eine erwünschte Verkleinerung bei der Abbildung des Inneren der Brennkammer auf eine Bildsensorfläche (Kamerachip oder Bildleiter), wie beispielsweise des Brenners und der Flamme. Dadurch können auch bei relativ geringen Abständen in der Brennkammer, die beispielsweise zwischen 10 und 100 cm betragen, und auch von Objekten, wie dem Brenner und die Flamme in dieser Größenordnung, in vorteilhafter Weise optische Daten aufgenommen werden und insbesondere ermöglicht die erste und zweite Empfangsoptik, dass Daten von einem großen Bereich der Brennkammer gleichzeitig empfangen und detektiert werden können.

[0015] In einem, bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste und/oder die zweite Empfangsöffnung ein Endoskop mit einem endoskopischen Bildleiter aufweist bzw. aufweisen. Auf diese Weise kann das erfindungsgemäße Sensorsystem in vorteilhafter Weise an der Brennkammer angeordnet werden. Es ist lediglich notwendig, dass ein eine Empfangsöffnung aufweisender Messkopf des Endoskops der ersten bzw. der zweiten Empfangsoptik in die Brennkammer ragt. Die empfangenen Bildinformationen können dann über den endoskopischen Bildleiter an die Empfangselektronik des Sensorsystems, wie beispielsweise eine Bildsensorvorrichtung, mit entsprechenden Sensoren, weitergeleitet werden. Dadurch können diese empfindlichen Teile gegenüber Hitze geschützt außerhalb der Brennkammer angeordnet sein. Darüber hinaus kann erreicht werden, dass der in die Brennkammer ragende Teil der ersten und/oder zweiten Empfangsoptik relativ klein gehalten werden kann, sodass eine Beeinflussung der Strömung in der Brennkammer gering ist. Ferner kann eine als Endoskop ausgebildete Empfangsoptik in vorteilhafter Weise gegen die hohen Temperaturen in der Kammer durch ein entsprechendes Gehäuse und Kühlung des Messkopfes geschützt werden.

[0016] Die erste Sensorvorrichtung kann eine Bildsensorvorrichtung aufweisen, die vorzugsweise eine Empfindlichkeit in einem Spektralbereich zwischen 200 nm und 2 μ m aufweist. Die zweite optische Sensorvorrichtung kann eine vergleichbare Bildsensorvorrichtung aufweisen. Mit einer derartigen Bildsensorvorrichtung ist es in vorteilhafter Weise möglich, Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung zu empfangen und zu detektieren. Der Bildleiter kann eine entsprechende hohe Transmission in diesem Spektralbereich zwischen 200 nm und 2 μ m besitzen.

[0017] Dabei kann vorgesehen sein, dass die Bildsensorvorrichtung einen Infrarot-Sensor und einen Ultravio-

lett-Sensor aufweist, wobei vorzugsweise vorgesehen ist, dass der Infrarot-Sensor und/oder der Ultraviolett-Sensor bildgebend sind. Durch einen bildgebenden Sensor können in vorteilhafter Weise räumlich aufgelöste Daten empfangen und ausgewertet werden. Dadurch, dass die Bildsensorvorrichtung jeweils einen Infrarot-Sensor und einen Ultraviolett-Sensor aufweist, können in vorteilhafter Weise Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung empfangen und detektiert werden. Durch die getrennte Ausgestaltung der Sensoren können diese eine höhere Empfindlichkeit aufweisen als ein Sensor, der beide Spektralbereiche umfasst.

[0018] Grundsätzlich ist es auch möglich, dass die erste und zweite optische Sensorvorrichtung kombiniert sind, wobei jeweils eine Empfangsoptik und eine endoskopischen Bildleiter und eine gemeinsame Bildsensorvorrichtung vorgesehen sind wobei die Ausgänge der beiden Bildleiter mechanisch zusammengeführt und gemeinsam auf dem Infrarot-Sensor und dem Ultraviolett-Sensor abgebildet sind.

[0019] Dabei kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass die Bildsensorvorrichtung einen Strahlteiler und im optischen Weg hinter dem Strahlteiler und vor dem Infrarot-Sensor einen Infrarot-Bandpassfilter und im optischen Weg hinter dem Strahlteiler und vor dem Ultraviolett-Sensor einen Ultraviolett-Bandpassfilter aufweist. Mittels des Strahlteilers können die empfangenen Strahlungen in vorteilhafter Weise geteilt und entsprechend auf den Infrarot-Sensor und den Ultraviolett-Sensor gerichtet werden. Der Strahlteiler kann z.B. unterhalb einer VIS-Wellenlänge (z.B. 532 nm) nahezu vollständig das (UV) Licht in Richtung des Ultraviolett-Sensors reflektieren und oberhalb der VIS-Wellenlänge in Richtung Infrarot-Sensor nahezu vollständig transparent sein. Die folgenden Bandpassfilter schränken den zu detektierenden Spektralbereich weiter ein. Mittels des Infrarot-Bandpassfilters vor dem Infrarot-Sensor kann somit erreicht werden, dass nur Infrarot-Strahlung, vorzugsweise nur Infrarot-Strahlung aus einem bestimmten Wellenlängenbereich, auf den Infrarot-Sensor gelangt, sodass eine verbesserte Detektion ermöglicht wird. Mittels des Ultraviolett-Bandpassfilters kann erreicht werden, dass nur Ultraviolett-Strahlung, vorzugsweise nur Ultraviolett-Strahlung aus einem bestimmten Wellenlängenbereich, den Ultraviolett-Sensor erreicht, sodass auch die Ultraviolett-Strahlung in vorteilhafter Weise detektiert werden kann. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass kein oder zumindest nur wenig Signallicht (UV und IR) verloren gehen kann.

[0020] Dabei kann vorgesehen sein, dass der Ultraviolett-Bandpassfilter auf 314 nm mit einer Bandbreite von 6 nm, vorzugsweise 4 nm, zentriert ist. Im Bereich von 314 nm lässt sich in besonders vorteilhafter Weise das sogenannte Ultraviolett-Flammenleuchten erkennen, insbesondere die Emission des OH*-Radikals. Dadurch können in vorteilhafter Weise Rückschlüsse auf die Reaktionszone der Verbrennung getroffen werden.

[0021] Bei dem erfindungsgemäßen Sensorsystem

können sowohl die erste optische Sensorvorrichtung als auch die zweite optische Sensorvorrichtung mit einer entsprechenden Bildsensorvorrichtung ausgestaltet sein. Grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, dass die optischen Sensorvorrichtungen unterschiedliche Bildsensorvorrichtungen aufweisen.

[0022] In einem Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Brennkammer kann der Infrarot-Sensor und/oder der Ultraviolett-Sensor einen Detektor aufweisen, der eine geringere Auflösung aufweist als der endoskopische Bildleiter. Üblicherweise haben endoskopische Bildleiter eine Vielzahl von Einzelfasern, beispielsweise mehrere 10.000 bis mehrere 100.000 Einzelfasern. Wenn jedes der durch die Einzelfasern gehende Signale einzeln detektiert werden würde, wäre der Rechenaufwand für die numerische Verarbeitung entsprechend groß. Darüber hinaus ist pro Faser häufig nur eine kleine Intensität vorhanden. Daher kann vorgesehen sein, dass der Detektor, auf dem das Ende des endoskopischen Bildleiters abgebildet wird, eine geringere räumliche Auflösung aufweist, sodass die Signale mehrere Einzelfasern auf einem Detektionspunkt (Pixel) des Detektors zusammengefasst werden. Beispielsweise können 4x4 Einzelfasern auf einen Detektionspunkt zusammengefasst werden. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, einen Detektor mit einer an den Bildleiter angepassten Auflösung zu verwenden, wobei das Zusammenfassen mehrerer Pixel softwareseitig erfolgt.

[0023] Die erfindungsgemäße Brennkammer kann ferner eine Sensoreinrichtung zur Messung der räumlich aufgelösten Temperatur und/oder räumlich aufgelöste Emissionswerte in der Brennkammer, vorzugsweise des Abgases aufweisen. Mittels der Sensoreinrichtung können somit zusätzlich Daten aus dem Brennkammerinneren ermittelt werden. Die weiteren ermittelten Daten können ebenfalls für eine Regelung des Brenners der Brennkammer verwendet werden.

[0024] Vorzugsweise werden die zusätzlichen Daten von der Sensoreinrichtung optisch gemessen.

[0025] Es kann vorgesehen sein, dass die Sensoreinrichtung ringförmig mit mehreren Messköpfen ausgebildet ist und an einem Ende der Brennkammer angeordnet ist. Dadurch kann die Sensoreinrichtung in vorteilhafter Weise in Richtung des Brenners ausgerichtet sein. Auch können durch die ringförmige Anordnung in vorteilhafter Weise über den Brennkammerquerschnitt Daten aufgenommen werden. Auch kann erreicht werden, dass die Beeinflussung der Strömung durch die Messköpfe möglichst gering ist.

[0026] Mit der Sensoreinrichtung können insbesondere Temperaturen und Emissionswerte des Abgases ermittelt werden. Beispielsweise können Emissionswerte von CO_2 , NO_x , CO und ähnlichem ermittelt werden.

[0027] Die Messung kann beispielsweise über laser-induced fluorescence (LIF) oder tuned diode laser absorption spectroscopy (TDLAS) erfolgen.

[0028] Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, dass die erste Sensorvorrichtung an der Sensoreinrich-

tung angeordnet ist. Dadurch können dann gleichzeitig und von einer Position aus die Flamme, der Brenner sowie das Abgas beobachtet bzw. untersucht werden.

[0029] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste Empfangsoptik der ersten optischen Sensorvorrichtung mit einem Abstand zu der Flammzone angeordnet ist, der dem Abstand des Nahpunkts der Tiefenschärfe entspricht. Als Abstand zu der Flammzone wird dabei der Abstand zu einer zuvor vorzugsweise rechnerisch oder durch Vermessung ermittelten idealen Flammzone angesehen. Dadurch, dass der Nahpunkt der Tiefenschärfe dem Abstand entspricht, kann die Flammzone in vorteilhafter Weise mit einer ausreichenden Schärfe bei der Aufnahme im UV-Bereich optisch dargestellt werden, wobei gleichzeitig die Schärfe des hinter der Flammzone angeordneten Brenners oder der den Brenner umgebenden Wand für die IR-Aufnahme ausreichend ist.

[0030] Auch kann vorgesehen sein, dass die erste Empfangsoptik der ersten optischen Sensorvorrichtung mit einem Abstand zu dem Mittelpunkt der Brennerkopfplatte angeordnet ist, der der Gegenstandsweite entspricht. Dadurch können optische Informationen von der Brennerkopfplatte oder einer sich darum erstreckenden Wand der Brennkammer in vorteilhafter Weise mit einer ausreichenden Schärfe aufgenommen werden. Es können auch asphärische Achromate zur chromatischen Korrektur als Objektive eingesetzt werden, um die Abbildungsschärfe für zwei verschiedene Wellenlängen (z.B. 314nm im UV-Bereich und z.B. 1000nm im IR-Bereich) simultan zu optimieren.

[0031] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Regelung eines Brenners einer Brennkammer mit einer Brennerachse, die orthogonal zu einer Brennerkopfplatte durch den Mittelpunkt der Brennerkopfplatte verläuft, vorzugsweise der zuvor beschriebenen Brennkammer, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Ermitteln von räumlich aufgelösten Ultraviolett-Daten einer Flammzone des Brenners aus einer Richtung parallel zu der Brennerachse oder einer Richtung in einem spitzen Winkel, vorzugsweise kleiner 45° , zu der Brennerachse,
- Ermitteln von räumlich aufgelösten Infrarot-Daten des Brenners, von Teilen des Brenners und/oder einer den Brenner umgebenden Wand aus einer Richtung parallel zu der Brennerachse oder einer Richtung in einem spitzen Winkel, vorzugsweise kleiner 45° , zu der Brennerachse,
- Verwenden der ermittelten Daten als Systemantwort auf die Regelung von Stellgrößen des Brenners.

[0032] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung eines Brenners einer Brennkammer sieht somit vor, dass von räumlich aufgelösten Daten, vorzugsweise Bilddaten des Inneren der Brennkammer und somit der Flamme aufgenommen werden. Aus einer ersten Richtung, die sich stromaufwärts in Richtung auf den Brenner

erstreckt, können in vorteilhafter Weise Ultraviolett-Daten der Flammzone und Infrarot-Daten des Brenners bzw. des Bereichs um den Brenner ermittelt werden. Auch kann die radial-tangentiale Flammenstruktur bestimmt werden.

[0033] Vorzugsweise wird das Verfahren bei einer Wasserstoff-Verbrennung eingesetzt. Dabei tritt eine besonders hohe thermische Belastung des Brenners aufgrund des geringen Abstandes des Flammenlage zur Brennerkopfplatte auf, so dass die räumlich aufgelösten Infrarot-Daten des Brenners und von Teilen des Brenners wie der Brennerkopfplatte in vorteilhafter Weise genutzt werden können, um durch die Regelung des Brenners eine thermische Überlastung der Teile zu vermeiden.

[0034] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht somit vor, dass eine optische Messung durch die Flamme hindurch vorgenommen wird. Es hat sich herausgestellt, dass bei rußarmen Flammen, wie beispielsweise einer Wasserstoff-Flamme, eine optische Messung, wie beispielsweise Temperaturmessung mittels Infrarotdaten, von Brennkammerteile die hinter der Flamme liegen, erfolgen kann.

[0035] Das erfindungsgemäße Verfahren kann ferner folgende Schritte vorsehen:

- Ermitteln von räumlich aufgelösten Ultraviolett-Daten der axialen Lage der Flammzone aus einer Richtung quer zu der Brennerachse,
- Ermitteln von räumlich aufgelösten Infrarot-Daten einer seitlichen Brennkammerwand, wobei die ermittelten Daten zusätzlich als Systemantwort auf die Regelung von Stellgrößen des Brenners verwendet werden

[0036] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung eines Brenners einer Brennkammer kann somit auch vorsehen, dass von zumindest zwei Positionen aus räumlich aufgelöste Daten, vorzugsweise Bilddaten des Inneren der Brennkammer und somit der Flamme aufgenommen werden. Aus einer Richtung quer zu der Brennerachse können in vorteilhafter Weise Daten bzgl. der axialen Lagen der Flammzone sowie räumlich aufgelöste Infrarot-Daten der die Brennkammer seitlich umgebenden Wand ermittelt werden. Bei den räumlich aufgelösten Daten der axialen Lage der Flammzone können ebenfalls Ultraviolett-Daten ermittelt werden. Mittels dieser Daten lässt sich ein Brenner einer Brennkammer in vorteilhafter Weise regeln, da Temperaturen des Brenners, Teilen des Brenners oder der den Brenner umgebenden Wand sowie der seitlichen Brennkammerwand ermittelbar sind und beispielsweise Hot-Spots identifizierbar sind. Darüber hinaus kann mittels der Ultraviolett-Daten das sogenannte Ultraviolett-Flammenleuchten ermittelt werden, wodurch die Verbrennung beurteilt werden kann. Durch die axiale Lage der Flammzone können darüber hinaus Instabilitäten in der Flamme festgestellt und beispielsweise auf das Schwingungsverhalten oder

Strömungsverhalten geschlossen werden. Mittels dieser Daten kann in vorteilhafter Weise eine Regelung des Brenners erfolgen, indem die ermittelten Daten als Systemantwort verwendet werden und somit als eine Rückantwort auf die Regelung von Stellgrößen des Brenners.

[0037] Die Stellgrößen des Brenners können beispielsweise Massenstrom von Brennstoff in den Brenner, Massenstrom von Luft in den Brenner, Brennkammerdrücke, Vorheiztemperatur von dem Brenner zugeführten Brennstoff, Vorheiztemperatur von dem Brenner zugeführter Luft, Strömungsrichtung von Brennstoff in den Brenner und/oder Strömungsrichtung von Luft in den Brenner sein.

[0038] Als weitere Stellgrößen können beispielsweise die Einstellung von mechanischen Stellglieder des Brenners verwendet werden, wie beispielsweise die Verstellung von Klappen, Drallkörper oder ähnlichen, über die die aerodynamischen Verhältnisse in dem Brenner beeinflussbar sind.

[0039] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass in dem erfindungsgemäßen Verfahren ferner räumlich aufgelöste Temperaturdaten von Abgas in der Brennkammer und/oder räumlich aufgelöste Emissionswertdaten von Abgas in der Brennkammer ermittelt werden. Die Temperaturdaten und/oder die Emissionswertdaten können zusätzlich als Systemantwort auf die Regelung der Stellgrößen des Brenners verwendet werden. Dadurch können zusätzliche Daten ermittelt werden, über die die Regelung des Brenners in vorteilhafter Weise möglich ist. Auch können weitere Daten der Brennkammer, wie beispielsweise Druckdaten, oder auch einer der Brennkammer nachgeschalteten Turbine, wie beispielsweise deren Wirkungsgrad, als Systemantwort verwendet werden. Die Emissionswertdaten können beispielsweise über laser-induced fluorescence (LIF) oder tuned diode laser absorption spectroscopy (TDLAS) optisch oder mit einer Abgassonde mechanisch ermittelt werden.

[0040] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann vorgesehen sein, dass die Regelung des Brenners unter Nutzung eines Prozessmodells durchgeführt wird, das zuvor anhand experimentaler Daten kalibriert bzw. trainiert wurde, wobei eine Minimierung oder Maximierung eines zuvor festgelegten Gütekriteriums oder von zuvor festgelegten Gütekriterien erfolgt. Da die Regelung des Brenners ein Multiparameterproblem ist, ist die Erstellung eines Prozessmodells und Trainieren anhand experimenteller Daten von Vorteil, da über dieses Prozessmodells die Zusammenhänge der einzelnen Daten und Stellgrößen in vorteilhafter Weise abgebildet werden können. Zusätzlich erlauben Prozessmodelle modellbasierte prädiktive Regelkonzepte (MPC). Das Prozessmodell kann ein zuvor festgelegtes Gütekriterium oder zuvor festgelegte Gütekriterien vorsehen, sodass eine Optimierung des Prozessmodells durch eine Minimierung oder Maximierung des zuvor festgelegten Gütekriteriums oder der zuvor festgelegten Gütekriterien erfolgen kann. Mittels des Prozessmodells wird ein zukünftiges Verhalten des Prozesses in Abhängigkeit von den Stellgrößen

numerisch vorhergesagt. Dies ermöglicht die Berechnung der optimalen Werte für die Stellgrößen zur Erfüllung der Gütekriterien des Regelungsprozesses. Die Gütekriterien des Prozessmodells können die Abweichungen der vorhergesagten Systemantwort zu der gemessenen Systemantwort sein, die für das Prozessmodell zu minimieren sind.

[0041] Das Prozessmodell kann beispielsweise auf einem zuvor trainierten ersten neuronalen Netz basieren. Neuronale Netze eignen sich besonders für die Berechnung von Multiparameterproblemen, sodass ein Prozessmodell, dass auf einem neuronalen Netz basiert, in vorteilhafter Weise für die Regelung des Brenners verwendet werden kann.

[0042] Bei der Regelung des Brenners, vorzugsweise unter Verwendung des trainierten Prozessmodells, kann vorgesehen sein, dass die Minimierung oder Maximierung eines zuvor festgelegten weiteren Gütekriteriums oder von zuvor festgelegten weiteren Gütekriterien über ein vorzugsweise KI-basiertes Optimierungsverfahren mittels eines zweiten neuronalen Netzes erfolgt. Bei dieser Art von Regelung des Brenners können bekannte Verfahren der KI verwendet werden, beispielsweise Deep Reinforced Learning, Internal Model Control, Model Predictive Control, Feed Forward Control oder ähnliches. Die weiteren Gütekriterien der Regelung können beispielsweise eine minimale Schadstoffkonzentration bzw. Obergrenzen für Schadstoff-Emissionen, Fluktuationen der Wärmefreisetzung, Stabilität der axialen Flammenposition und/oder thermische Belastung der Brennero-berfläche sein.

[0043] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und bei der erfindungsgemäßen Brennkammer können Daten wie beispielsweise die Temperaturen der Brennkammerwände und des Brenners, Abgastemperaturen, Abgaszusammensetzungen und optische Daten der Flamme direkt ermittelt werden. Mittels der Sensoreinrichtung können weitere Werte wie beispielsweise Temperaturwerte und Emissionswerte aber auch Druckwerte ermittelt werden. Aus den ermittelten Werten können als Systemantwort auch daraus ableitbare Größen wie beispielsweise der Wirkungsgrad einer dahinter geschalteten Gasturbine verwendet werden.

[0044] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Brennkammer ermöglichen in vorteilhafter Weise eine Regelung und Optimierung des Brenners und insbesondere kann die vorliegende Erfindung bei der Wasserstoffverbrennung eingesetzt werden.

[0045] Im Folgenden wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die nachfolgenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Brennkammer,

Fig. 2 eine schematische Detaildarstellung bzgl. der Anordnung der ersten optischen Sensorvorrichtung,

Fig. 3 eine Detaildarstellung der Sensoreinrichtung,

Fig. 4 eine schematische Detaildarstellung der ersten Sensorvorrichtung,

Fig. 5 eine schematische Detaildarstellung eines Sensorkopfes der ersten optischen Sensorvorrichtung und

Fig. 6a-6d schematische Darstellungen der mittels der ersten und zweiten Sensorvorrichtung aufgenommenen Bilddaten.

[0046] In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäß Brennkammer 1 schematisch dargestellt. Die Brennkammer 1 weist einen Brenner 3 mit einer nicht dargestellten Brennerkopfplatte auf. Durch den Mittelpunkt der Brennerkopfplatte verläuft eine Brennerachse M.

[0047] Der Brenner 3 ist in einer Brennkammerwand 2 angeordnet. Seitlich ist die Brennkammer von einer seitlichen Brennkammerwand 4 umgeben.

[0048] Die Brennkammer weist ein Sensorsystem auf, mit mindestens einer ersten optischen Sensorvorrichtung 5 und einer zweiten optischen Sensorvorrichtung 6.

[0049] Die erste optische Sensorvorrichtung 5 weist eine erste Empfangsoptik 5a mit einer ersten optischen Achse 7 auf. Die erste optische Sensorvorrichtung 5 ist in Richtung der Brennerachse M stromab einer Flammzone 10 des Brenners 3 angeordnet und blickt stromaufwärts, sodass die Sensorvorrichtung stromaufwärts gerichtet ist. Die erste optische Achse 7 verläuft dabei in einem spitzen Winkel zu der Brennerachse M. Somit kann mittels der ersten optischen Sensorvorrichtung 5 die Flammzone 10 frontal sowie der Brenner 3 und zumindest ein Teil der den Brenner 3 umgebenden Brennkammerwand 2 aufgenommen werden.

[0050] Die zweite optische Sensorvorrichtung 6 weist eine zweite Empfangsoptik 6a mit einer zweiten optischen Achse 8 auf und ist seitlich der Flammzone 10 angeordnet, wobei die zweite optische Achse 8 quer zu der Brennerachse M angeordnet ist.

[0051] Die erste und die zweite Sensorvorrichtung 5, 6 können jeweils Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung empfangen und detektieren. Mittels der zweiten Sensorvorrichtung 6 lässt sich die axiale Lage der Flammzone 10 und somit der Flamme in vorteilhafter Weise ermitteln, sodass beispielsweise auf ein Schwingungsverhalten geschlossen werden kann. Über die Infrarot-Strahlung kann die Temperatur der seitlichen Brennkammerwände 4 bestimmt werden. Die erste optische Sensorvorrichtung 5 kann die Infrarot-Strahlung von dem Brenner 3 und der den Brenner 3 umgebenden Brennkammerwand 2 detektieren und somit können Temperaturen dieser Teile ermittelt werden. Über die Ultraviolett-Strahlung Flammzone 10 kann das sogenannte Ultraviolett-Flammenleuchten bestimmt werden, worüber anhand der Lage der Wärmefreisetzung bzw. der Re-

aktionszone auf ein Verbrennungsverhalten geschlossen werden kann. Die erfindungsgemäße Brennkammer 1 kann ferner eine Sensoreinrichtung 11 aufweisen, die bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel einen Abgassensor 12 umfasst. Mittels des Abgassensors 12 können verschiedene Werte des Abgases, wie beispielsweise Temperatur oder Emissionswerten ermittelt werden.

[0052] Die in der erfindungsgemäßen Brennkammer 1 mittels der ersten optischen Sensorvorrichtung 5, der zweiten optischen Sensorvorrichtung 6 und der Sensoreinrichtung 1 ermittelten Daten können für die Regelung des Brenners 3 verwendet werden.

[0053] Die erste optische Sensorvorrichtung 5 kann eine Empfangsoptik 5a aufweisen, die im Detail in Fig. 5 dargestellt ist.

[0054] Die erste Empfangsoptik 5a weist ein Weitwinkelobjektiv auf, dessen Brennweite beispielsweise zwischen 8 und 12 mm beträgt. Auf diese Weise können die aufzunehmenden Objekte der Brennkammer 1 in ausreichendem Maße verkleinert werden. Dabei kann vorgesehen sein, dass die erste Empfangsoptik 5a mit einem Abstand zu der Flammzone 10 angeordnet ist, der dem Abstand g_n des Nahpunkts der Tiefenschärfe entspricht. Ferner beträgt der Abstand der ersten Empfangsoptik 5a zu dem Mittelpunkt der Brennerkopfplatte der Gegenstandsweite g . Auf diese Weise können sowohl die Flammzone 10 als auch der Brenner 3 bzw. die den Brenner 3 umgebende Brennkammerwand 2 mit einer ausreichenden Schärfe aufgenommen und somit dargestellt werden.

[0055] Die erste und zweite Sensorvorrichtung 5, 6 haben den Vorteil, dass die erste und zweite Empfangsoptik 5a, 6a nur in geringem Maße in die Brennkammer 1 hineinragen muss, sodass nur eine geringe Beeinflussung der Strömung in der Brennkammer erfolgt.

[0056] In Fig. 3 ist eine erfindungsgemäße Brennkammer 1 dargestellt, die eine erweiterte Sensoreinrichtung 11 aufweist. Neben dem Abgassensor 12 kann die Sensoreinrichtung 11 eine Vielzahl von Messköpfen 13 aufweisen, die ringförmig die Brennkammer 1 umgebend angeordnet sind und in den Abgasstrom ragen. Durch die ringförmige Anordnung wird nur eine geringe Beeinflussung der Strömung hervorgerufen. Die Messköpfe 13 erfassen vorzugsweise optisch räumlich aufgelöste Temperaturdaten und Emissionswerte im Abgasstrom. Dies kann beispielsweise über optische Messtechniken wie beispielsweise TDLAS und/oder LIF erfolgen. Als Emissionswerte werden beispielsweise CO_2 , NO_x , CO oder ähnliche Emissionen ermittelt.

[0057] Die ermittelten Daten können ebenfalls für die Regelung des Brenners 3 verwendet werden.

[0058] In Fig. 4 ist eine erste optische Sensorvorrichtung 5 schematisch im Detail dargestellt. Die erste optische Sensorvorrichtung 5 weist eine erste Empfangsoptik 5a auf. Die erste Empfangsoptik 5a weist ein Endoskop 14 mit einem endoskopischen Bildleiter 15 auf. Die von der Empfangsoptik 5a empfangene Strahlung wird

von dem endoskopischen Bildleiter 15 zu einem Bildleiterausgang 16, der mit einer Bildsensorvorrichtung 24 verbunden ist, geleitet. In der Bildsensorvorrichtung 24 wird die Strahlung über eine Sammellinse 17 auf einen Strahlteiler in Form eines dichroitischen Strahlteilerspiegel 18 gelenkt, wodurch die Strahlung aufgeteilt wird. Ein Teil der Strahlung wird nun auf einen Ultraviolett-Sensor 19 gelenkt, wohingegen der andere Teil auf einen Infrarot-Sensor 20 gelenkt wird. Der Ultraviolett-Sensor 19 und der Infrarot-Sensor 20 können jeweils bildgebende Detektoren sein.

[0059] Im Strahlengang zwischen dem Strahlteilerspiegel 18 und dem Ultraviolett-Sensor 19 ist ein Ultraviolett-Bandpassfilter 21 und eine fokussierende Linse 22 angeordnet. Der Ultraviolett-Bandpassfilter 21 kann auf eine Frequenz von 314 nm zentriert sein mit einer Bandbreite von beispielsweise 4 nm. Die somit empfangene Strahlung gibt in besonders vorteilhafter Weise das Ultraviolett-Flammenleuchten wieder.

[0060] In dem Strahlengang zwischen den Strahlteilerspiegel 18 und dem Infrarot-Sensor 20 kann ein Infrarot-Bandpassfilter 23 und ebenfalls eine fokussierende Linse 22 angeordnet sein. Somit wird ausschließlich Infrarot-Strahlung auf den Infrarot-Sensor 20 geleitet.

[0061] Mittels dieser Bildsensorvorrichtung 24 lässt sich die Infrarot-Strahlung und die Ultraviolett-Strahlung in besonders vorteilhafter Weise empfangen und detektieren.

[0062] In Fig. 4 ist die erste optische Sensorvorrichtung 5 dargestellt. Die zweite optische Sensorvorrichtung 6 kann den gleichen Aufbau wie die erste optische Sensorvorrichtung 5 aufweisen. Grundsätzlich ist es auch möglich, dass die erste und zweite optische Sensorvorrichtung kombiniert sind, wobei jeweils eine Empfangsoptik und eine endoskopischen Bildleiter und eine gemeinsame Bildsensorvorrichtung vorgesehen sind wobei die Ausgänge der beiden Bildleiter mechanisch zusammengeführt und gemeinsam auf den beiden Bildsensoren abgebildet sind, wobei die dann vorliegende reduzierte räumliche Auflösung hingenommen wird.

[0063] In Fig. 5 ist die erste Empfangsoptik 5a der ersten Sensorvorrichtung 5 schematisch dargestellt. An das Endoskop 14, das ein rohrförmiges Gehäuse 25 aufweist, ist der endoskopische Bildleiter 15 angeschlossen. Das Bildleiterende 26 des Bildleiters 15 empfängt Strahlung, die durch eine Strahlungsöffnung 27 in das Gehäuse 25 eindringt. Zwischen der Strahlungsöffnung 27 und dem Bildleiterende 26 ist ein Objektiv 28 angeordnet, das insbesondere als Weitwinkelobjektiv ausgebildet sein kann.

[0064] Das Gehäuse 25 kann ferner eine nicht dargestellte Kühlung und/oder einer Spülung für die Strahlungsöffnung 27 aufweisen. Über die Kühlung wird sichergestellt, dass der in den Abgasstrom ragende Teil des Endoskops 14 in ausreichendem Maße gekühlt werden kann.

[0065] In Fig. 5 ist die erste Empfangsoptik 5a der ersten optischen Sensorvorrichtung 5 dargestellt. Grund-

sätzlich kann die zweite Empfangsoptik 6a der zweiten optischen Sensorvorrichtung 6 von gleichem Aufbau sein.

[0066] In den Fign. 6a bis 6d sind Bildaufnahmen, die mittels der ersten und zweiten optischen Sensorvorrichtung 5, 6 aufgenommen wurden, schematisch dargestellt.

[0067] Die Fign. 6a und 6c zeigen Aufnahmen der zweiten optischen Sensorvorrichtung 6 und die Fign. 6b und 6d Aufnahmen der ersten optischen Sensorvorrichtung 5.

[0068] In den Fig. 6a ist die axiale Erstreckung der Flammzone 10 von der Seite zu sehen. Ferner sind Informationen über die Infrarot-Strahlung der Brennkammerwand 4 enthalten. In der Fig. 6b ist ein zum größten Teil frontaler Blick auf die Flammzone 10 in axialer Richtung, der mit der ersten optischen Sensorvorrichtung 5 aufgenommen wurde, gezeigt. Ferner wurden Infrarot-Daten von dem Brenner 3 und der den Brenner 3 umgebenden Brennkammerwand 2 aufgenommen. Mittels der Infrarot-Daten können beispielsweise auch sogenannte Hotspots 29 ermittelt werden, in denen eine besonders hohe Temperatur herrscht. In den Fign. 6a und 6b sind die Hotspots 29 schematisch dargestellt.

[0069] Der endoskopische Bildleiter 15 kann aus einer Vielzahl von Einzelfasern bestehen, beispielsweise mehrere 10.000 bis 100.000. Diese transportieren Strahlung von nur geringer Intensität. Würde nun für jede optische Faser ein Bildpunkt detektiert werden, entstünde eine relativ große Datenmenge. Daher kann vorgesehen sein, dass der Infrarot-Sensor 19 oder der Ultraviolett-Sensor 20 eine geringere Auflösung aufweist als die Anzahl der Bildleiterfasern, sodass mehrere Bildleiterfasern jeweils einen Datenpunkt des Sensors bestrahlen. Eine beispielhafte Aufteilung ist in den Fign. 6c und 6d durch das entsprechende Raster dargestellt. Auf diese Weise kann die Datenmenge deutlich reduziert werden. Insbesondere bei der Regelung des Brenners 3, bei dem innerhalb relativ kurzer Zeit reagiert werden muss, ist die Datenreduzierung von Vorteil, da Rechenzeiten verkürzt werden. Die bei dem erfindungsgemäß Brenner 3 ermittelten Daten können in vorteilhafter Weise für die Steuerung des Brenners verwendet werden. Dazu kann zunächst ein Prozessmodell erstellt und mittels der von der ersten optischen Sensorvorrichtung 5, der zweiten optischen Sensorvorrichtung 6 und der Sensoreinrichtung 11 ermittelten Daten sowie weiteren experimentell ermittelten Daten wie bspw. Wanddrücke und/oder Emissionen trainiert werden. Über das Prozessmodell kann das Verbrennungsverhalten in Abhängigkeit der eingestellten Parameter (Stellglieder) vorhersagt werden und die Abweichung zwischen der vorhergesagten Systemantwort zu der gemessenen Systemantwort als Gütekriterium minimiert werden. Mittels eines KI-basierten Regelungsprozesses unter Nutzung des Prozessmodells können nun weitere Gütekriterien bei der Regelung minimiert werden, indem die ermittelten Daten als Systemantwort in den Regelungsprozess eingespeist werden. Dieser

Regelungsprozess verändert verschiedene Stellgrößen des Brenners, wie beispielsweise Massenstrom des Brennstoffs, Massenstrom der Luft, Brennkammerdrücke, Vorheiztemperatur des Brennstoffs, Vorheiztemperatur der Luft und Strömungsrichtung von Brennstoff in dem Brenner 3 und Strömungsrichtung von Luft in dem Brenner 3. Für die unterschiedlichen Strömungsrichtungen können mechanische Teile, wie beispielsweise verstellbare Drallkörper 3a in dem Brenner verstellbar werden. Der Regelungsprozess nutzt das Prozessmodell z.B. in einer modell-basierten prädikativen KI-Regelung (MPC). **[0070]** Mittels der erfindungsgemäßen Brennkammer 1 und des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung eines Brenners 3 einer Brennkammer 1 ist eine besonders vorteilhafte Regelung und Optimierung einer Verbrennung, insbesondere einer Verbrennung von Wasserstoff, möglich.

Bezugszeichenliste

[0071]

1	Brennkammer, Sensoreinrichtung
2	Brennkammerwand
3	Brenner
3a	Drallkörper
4	seitliche Brennkammerwand
5	erste optische Sensorvorrichtung
5a	erste Empfangsoptik
6	zweite optische Sensorvorrichtung
6a	zweite Empfangsoptik
7	erste optische Achse
8	zweite optische Achse
10	Flammzone
11	Sensoreinrichtung
12	Abgassensor
13	Messköpfe
14	Endoskop
15	endoskopischer Bildleiter
16	Bildleiterausgang
17	Sammellinse
18	Strahlteilerspiegel
19	Ultraviolett-Detektor
20	Infrarot-Detektor
21	Ultraviolett-Bandpassfilter
22	Linse
23	Infrarot-Bandpassfilter
24	Bildsensorvorrichtung
25	Gehäuse
26	Bildleiterende
27	Strahlungsöffnung
28	Objektiv
29	Hotspots
M	Brennerachse
g	Gegenstandsweite
gn	Abstand

Patentansprüche

1. Brennkammer (1) mit einem Brenner (3) mit einer Brennerachse (M), die orthogonal zu einer Brennerkopfplatte durch einen Mittelpunkt der Brennerkopfplatte verläuft, und mit einem Sensorsystem mit mindestens einer ersten optischen Sensorvorrichtung (5) mit einer ersten Empfangsoptik (5a) mit einer ersten optischen Achse (7), wobei die erste optische Sensorvorrichtung (5) in Richtung der Brennerachse (M) stromab einer Flammzone (10) des Brenners (3) mit stromaufwärts gerichteter Sensorrichtung mit der ersten optischen Achse (7) parallel zu der Brennerachse (M) oder in einem spitzen Winkel zu dieser angeordnet ist, vorzugsweise in einem Winkel kleiner 45°, und wobei die erste Sensorvorrichtung (5,6) Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung empfängt und detektiert. 5
2. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Sensorsystem mindestens eine zweite optische Sensorvorrichtung (6) mit einer zweiten Empfangsoptik (6a) mit einer zweiten optischen Achse (8) aufweist, wobei die zweite optische Sensorvorrichtung (6) in einem Bereich seitlich der Flammzone (10) mit der zweiten optischen Achse (8) quer zu der Brennerachse (M) angeordnet ist und wobei die zweite Sensorvorrichtung (5,6) Infrarot-Strahlung und Ultraviolett-Strahlung empfängt und detektiert. 10 20 25 30
3. Brennkammer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und/oder die zweite Empfangsoptik (5a,6a) ein Weitwinkel-Objektiv, vorzugsweise mit einer Brennweite zwischen 8 und 12 mm, aufweist und/oder dass die erste und/oder die zweite Empfangsoptik (5a,6a) ein Endoskop (14) mit einem endoskopischen Bildleiter (15) aufweist. 35 40
4. Brennkammer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste optische Sensorvorrichtung (5) eine Bildsensorvorrichtung aufweist, die eine Empfindlichkeit in einem Spektralbereich zwischen 200nm und 2µm aufweist und/oder zweite optische Sensorvorrichtung (6) eine Bildsensorvorrichtung aufweist, die eine Empfindlichkeit in einem Spektralbereich zwischen 200nm und 2µm aufweist. 45 50
5. Brennkammer nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bildsensorvorrichtung einen Infrarot-Sensor (19) und einen Ultraviolett-Sensor (20) aufweist, wobei der Infrarot-Sensor (19) und/oder der Ultraviolett-Sensor (20) vorzugsweise bildgebend ist. 55
6. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bildsensorvorrichtung einen Strahlteiler und im optischen Weg hinter dem Strahlteiler und vor dem Infrarot-Sensor (19) einen Infrarot-Bandpass-Filter (23) und im optischen Weg hinter dem Strahlteiler und vor dem Ultraviolett-Sensor (20) einen Ultraviolett-Bandpass-Filter (21) aufweist, wobei vorzugsweise der Ultraviolett-Bandpass-Filter (21) auf 314nm mit einer Bandbreite von 6nm, vorzugsweise 4nm, zentriert ist.
7. Brennkammer nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Infrarot-Sensor (20) und/oder der Ultraviolett-Sensor (19) einen Detektor aufweist, der eine geringere räumliche Auflösung aufweist als der endoskopische Bildleiter (15).
8. Brennkammer nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Sensoreinrichtung (11) zur Messung der räumlich aufgelösten Temperatur und/oder räumlich aufgelösten Emissionswerten in der Brennkammer (1), wobei vorzugsweise die Sensoreinrichtung (11) ringförmig mit mehreren Messköpfen (13) ausgebildet und an einem Brennkammerende angeordnet ist
9. Brennkammer nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Empfangsoptik (5a) der ersten optischen Sensorvorrichtung (5) mit einem Abstand zu der Flammzone (10) angeordnet ist, der dem Abstand (gn) des Nahpunkts der Tiefenschärfe entspricht und/oder dass die erste Empfangsoptik (5a) der ersten optischen Sensorvorrichtung (5) mit einem Abstand zu dem Mittelpunkt der Brennerkopfplatte angeordnet ist, der der Gegenstandsweite (g) entspricht.
10. Verfahren zur Regelung eines Brenners (3) einer Brennkammer (1) mit einer Brennerachse (M), die orthogonal zu einer Brennerkopfplatte durch einen Mittelpunkt der Brennerkopfplatte verläuft, mit folgenden Schritten:
 - Ermitteln von räumlich aufgelösten Ultraviolett-Daten einer Flammzone des Brenners (3) aus einer Richtung parallel zu der Brennerachse (M) oder einer Richtung in einem spitzen Winkel, vorzugsweise kleiner 45°, zu der Brennerachse (M),
 - Ermitteln von räumlich aufgelösten Infrarot-Daten des Brenners (3), von Teilen des Brenners (3) und/oder einer den Brenner (3) umgebenden Wand aus einer Richtung parallel zu der Brennerachse (M) oder einer Richtung in einem spitzen Winkel, vorzugsweise kleiner 45°, zu der Brennerachse (M),
 - Verwenden der ermittelten Daten als Systemantwort auf die Regelung von Stellgrößen des

Brenners (3).

11. Verfahren nach Anspruch 10 **gekennzeichnet durch** folgende Schritte
- 5
- Ermitteln von räumlich aufgelösten Daten der axialen Lage der Flammzone (10) aus einer Richtung quer zu der Brennerachse (M),
 - Ermitteln von räumlich aufgelösten Infrarot-Daten einer seitlichen Brennkammerwand (4),
- 10
- wobei die ermittelten Daten zusätzlich als Systemantwort auf die Regelung von Stellgrößen des Brenners (3) verwendet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellgrößen des Brenners (3) zumindest Massenstrom von Brennstoff in den Brenner (3), Massenstrom von Luft in den Brenner (3), Brennkammerdrücke, Vorheiztemperatur von dem Brenner (3) zugeführten Brennstoff, Vorheiztemperatur von dem Brenner (3) zugeführter Luft, Strömungsrichtung von Brennstoff in dem Brenner und/oder Strömungsrichtung von Luft in dem Brenner (3) umfassen.
- 15
- 20
- 25
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **gekennzeichnet durch**
- Ermitteln räumlich aufgelösten Temperaturdaten von Abgas in der Brennkammer (1) und/oder von räumlich aufgelösten Emissionswertdaten von Abgas in der Brennkammer (1),
- 30
- wobei die Temperaturdaten und/oder die Emissionswertdaten zusätzlich als Systemantwort auf die Regelung der Stellgrößen des Brenners (3) verwendet werden.
- 35
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung des Brenners (3) unter Nutzung eines Prozessmodells durchgeführt wird, das zuvor anhand experimenteller Daten trainiert wurde, wobei eine Minimierung oder Maximierung eines zuvor festgelegtem Gütekriteriums oder von zuvor festgelegten Gütekriterien erfolgt, wobei vorzugsweise das Prozessmodell aus einem zuvor trainierten ersten neuronalen Netzes erstellt wird.
- 40
- 45
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Regelung des Brenners (3) eine Minimierung oder Maximierung eines zuvor festgelegtem weiteren Gütekriteriums oder zuvor festgelegter weiterer Gütekriterien über ein zweites neuronales Netz erfolgt.
- 50
- 55

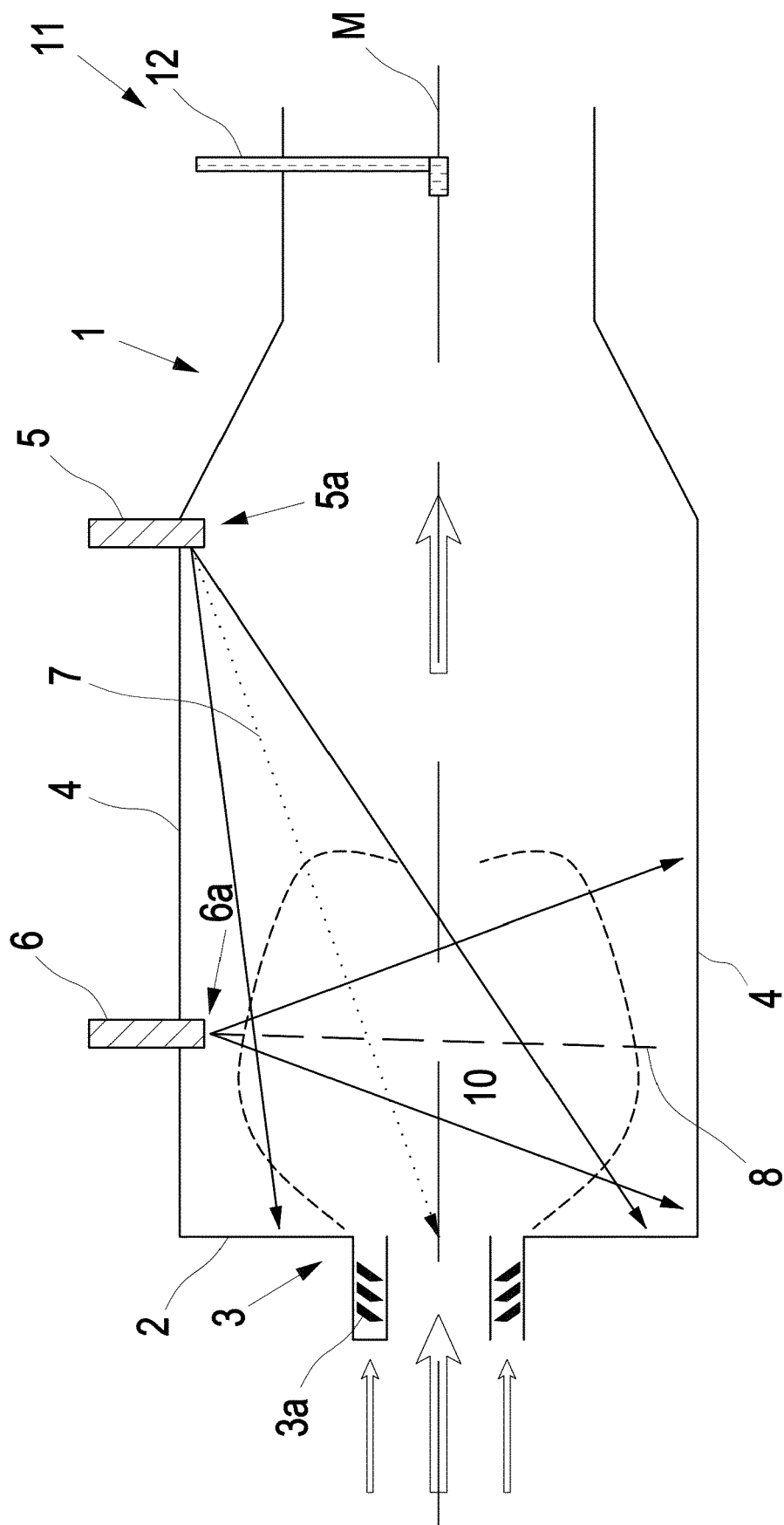
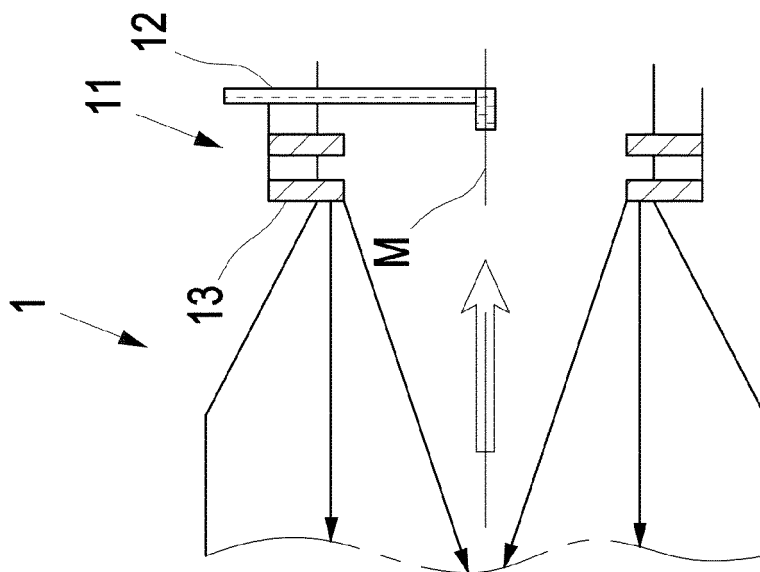
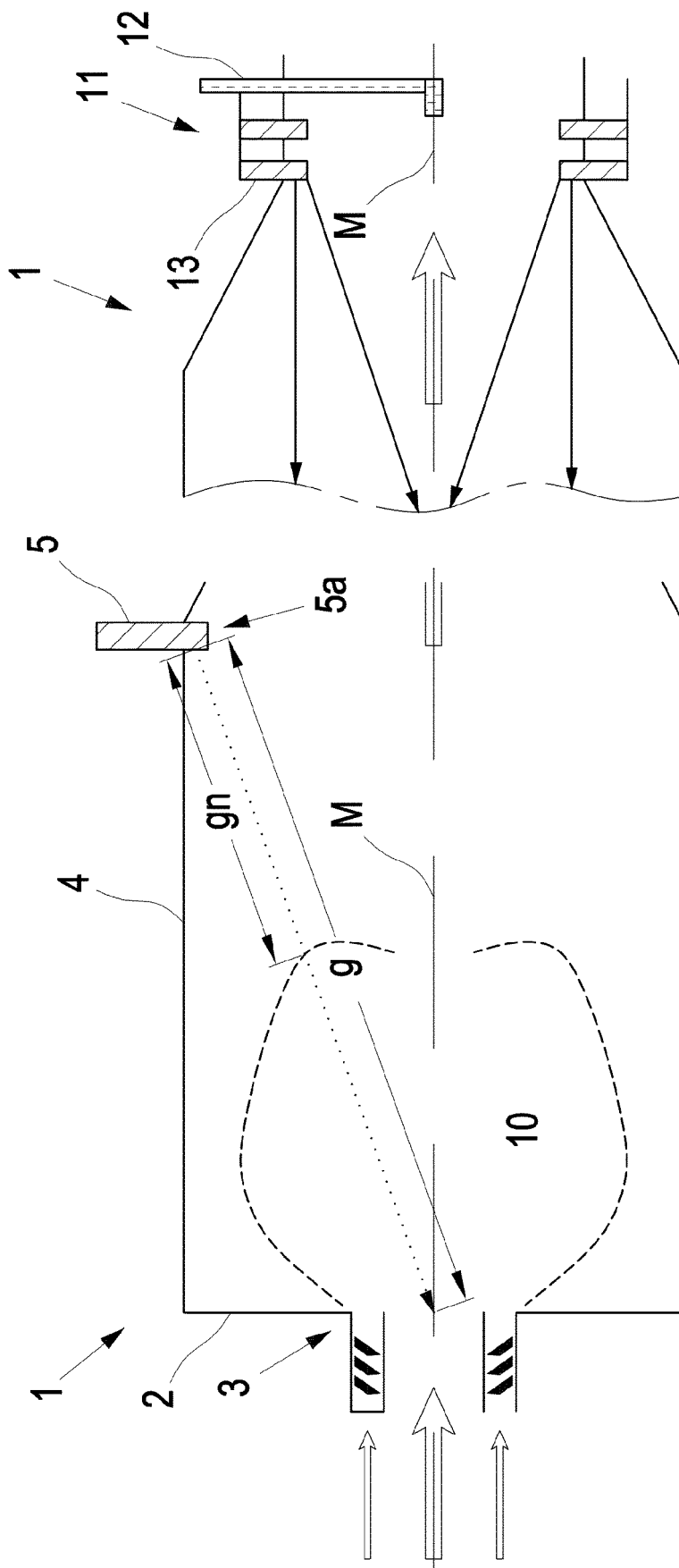


Fig. 1



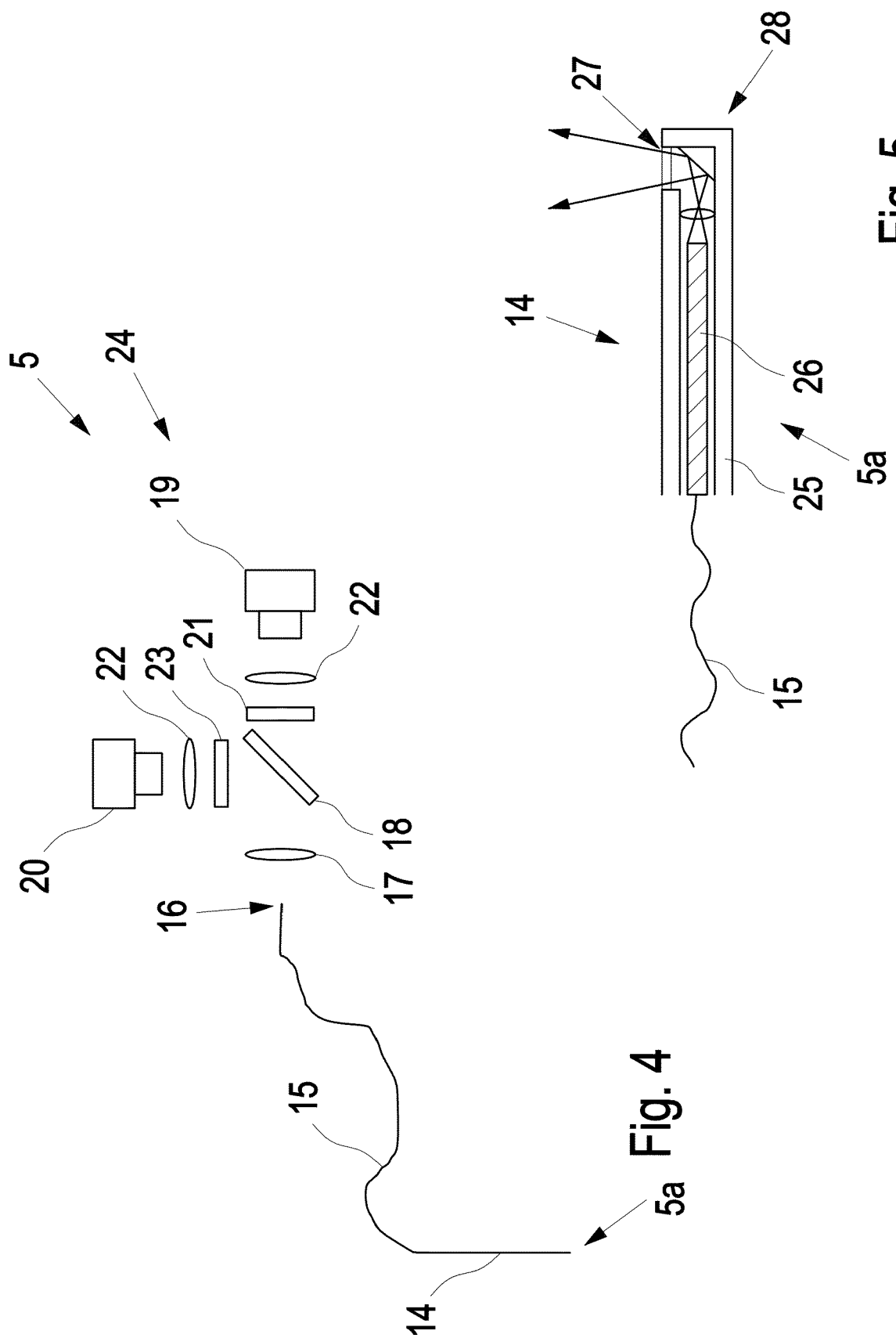


Fig. 5

Fig. 4

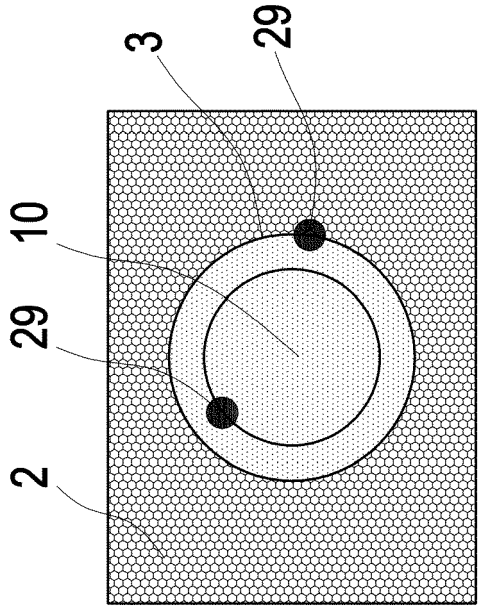


Fig. 6a

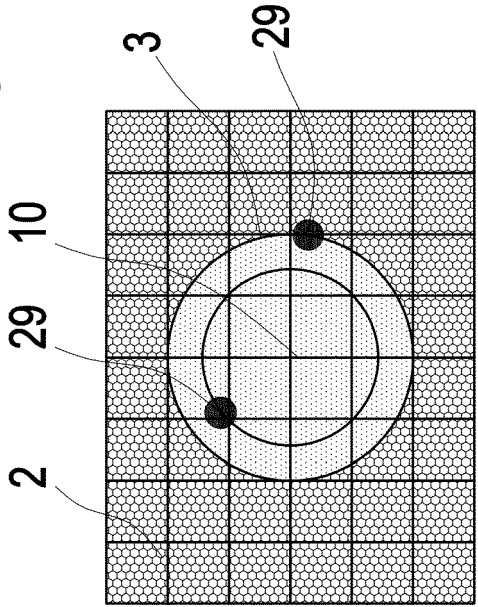


Fig. 6b

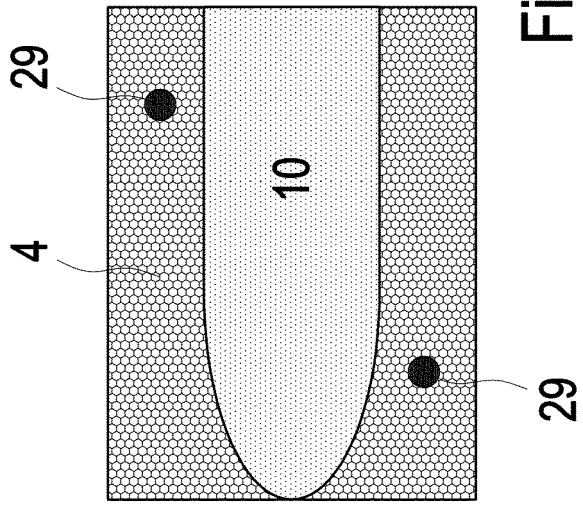


Fig. 6c

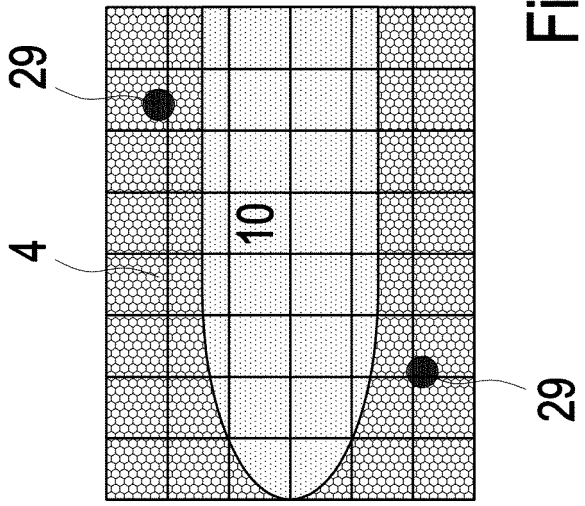


Fig. 6d



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 5214

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 224 173 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 1. September 2010 (2010-09-01)	1, 3-10, 12-15	INV. F23N5/08
A	* Absatz [0011] - Absatz [0053]; Abbildungen 1-11 *	2, 11	

A	JP H03 207912 A (HITACHI LTD) 11. September 1991 (1991-09-11) * das ganze Dokument *	1-15	

A	US 2012/078579 A1 (BUNCE RICHARD H [US] ET AL) 29. März 2012 (2012-03-29) * das ganze Dokument *	1-15	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F23N
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. September 2023	Prüfer Theis, Gilbert
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 : nichtschriftliche 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	

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

EP 23 16 5214

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

15-09-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2224173 A2	01-09-2010	CN 101832184 A	15-09-2010
		EP 2224173 A2	01-09-2010
		JP 2010203434 A	16-09-2010
		US 2010220182 A1	02-09-2010
JP H03207912 A	11-09-1991	KEINE	
US 2012078579 A1	29-03-2012	EP 2619505 A2	31-07-2013
		US 2012078579 A1	29-03-2012
		WO 2012039888 A2	29-03-2012

EPO FORM P0461

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