



**SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 702 387 B1**

(51) Int. Cl.: **F23D 14/72** (2006.01)  
**F23D 11/36** (2006.01)  
**G01N 21/00** (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

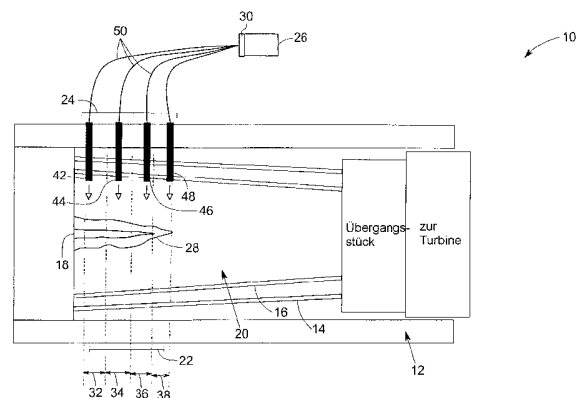
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	02046/10	(73) Inhaber:	General Electric Company, 1 River Road Schenectady, New York 12345 (US)
(22) Anmeldedatum:	07.12.2010	(72) Erfinder:	Peter Micah Sandvik, Niskayuna, New York 12309 (US) Richard Dale Slates, Minden, Nevada 89423-4119 (US) Alexey Vasily Vert, Niskayuna, New York 12309 (US) Samer Aljabari, Amman 11181 (JO)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	15.06.2011	(74) Vertreter:	R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4 8008 Zürich (CH)
(30) Priorität:	11.12.2009 US 12/635,742		
(24) Patent erteilt:	15.04.2015		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	15.04.2015		

(54) **Brennersystem mit einem Verunreinigungsdetektionssystem.**

(57) Die vorliegende Erfindung offenbart ein Brennersystem (10) und ein Verfahren zum Messen von Verunreinigungen in dem Brennersystem (10). Das Brennersystem (10) enthält eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle (18), einen stromabwärtigen Turbinenbrenner (20), eine Flammenzone (22) in dem Turbinenbrenner (20), die mehrere axiale Unterzonen (32, 34, 36, 38) aufweist, eine optische Anschlussanordnung (24), die eingerichtet ist, um eine nichtaxiale, direkte, optische Sicht auf wenigstens eine der mehreren axialen Unterzonen (32, 34, 36, 38) zu erhalten, und ein Verunreinigungsdetektionssystem (26) in optischer Kommunikationsverbindung mit der optischen Anschlussanordnung (24).



## Beschreibung

### Hintergrund zu der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein optische Flammenerfassung und insbesondere die Feststellung von Spurenelementen in Flüssigbrennstoffflammen von Brennersystemen durch thermische Atomemission.

[0002] Gasturbinen und Brenner können konfiguriert sein, um mit unterschiedlichen Brennstoffarten, einschliesslich gasförmiger und flüssiger Brennstoffe, zu arbeiten. Während Gasbrennstoffe, wie beispielsweise Erdgas und Synthesegas, die meisten Anlagen ausmachen, stellt die Fähigkeit, mit destillierten oder Asche hervorbringenden Brennstoffen betrieben zu werden, einen wichtigen Faktor für die Gasturbinen-Produktpalette dar. Eine betriebliche Hauptschwierigkeit bei dem Einsatz von minderwertigen Flüssigbrennstoffen liegt in dem Vorhandensein von Metallelementen im Spurenbereich in dem Brennstoff, die schädliche Auswirkungen auf Turbinenmaterialien, wie beispielsweise Heissgaspfadkorrosion und Barrierschutzabbau, hervorrufen können. Diese Schad- bzw. Verunreinigungsstoffe können, wenn sie vorhanden sind, verbrennen und Reaktionsmittel bilden, die in nachteiliger Weise die Innenseite der Wände der Kammer (des Brenners) belegen und in einigen Fällen Luftflüsse hemmen und das System daran hindern können, optimal zu laufen. Es ist bekannt, dass Konzentrationen von einigen metallischen Elementen im Flüssigbrennstoff in der Grösse von sogar 1 Masseanteil pro Million in dieser Hinsicht schädlich sind. Ferner unterscheidet sich die Brennstoffqualität stark in verschiedenen Teilen der Welt, in denen Brennersysteme vorzufinden sind. Demgemäss ist es sehr erwünscht zu detektieren und festzustellen, welche Verunreinigungsstoffe (wenn überhaupt) in einer bestimmten Umgebung vorhanden sein können.

[0003] Die übliche Abwehrmassnahme gegen Heisskorrosion aufgrund des Vorhandenseins einiger der Metallelemente, beispielsweise Vanadium, besteht in der Zugabe von Korrosionsinhibitoren zu dem Brennstoff. Die Konzentration der Korrosionsinhibitoren wird allgemein in Abhängigkeit von dem Grad der Metallverunreinigungen in dem Brennstoff eingestellt. Eine Überkompensation der korrosiven Metallelemente durch einen Inhibitor kann die Bildung zusätzlicher Ascheablagerungen an den Turbinenkomponenten zur Folge haben. Folglich ist es erwünscht, die Anteile der korrosiven Metallelemente sowie der Korrosionsinhibitoren in dem Brennstoff an der Einsatzstelle fortdauernd zu überwachen.

[0004] Obwohl es einige derzeit bekannte Verfahren und Systeme gibt, um eine Verunreinigungs- oder Schadstoffdetektion in Flüssigbrennstoffen zu bewerkstelligen, bestehen Nachteile hinsichtlich der Komplexität und der Kosten mehrerer Detektorsysteme.

[0005] Demgemäss bleibt ein Bedarf in der Technik nach Systemen und Verfahren zur Messung von Verunreinigungen, die genaue Messwerte auf eine effizientere Weise ergeben.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

[0006] Gemäss einem ersten Gedanken der Erfindung wird ein Brennersystem bereitgestellt, das eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle, einen stromabwärtigen Turbinenbrenner, eine Flammenzone in dem Turbinenbrenner, die mehrere axiale Unterzonen aufweist, eine optische Anschlussanordnung, die konfiguriert ist, um eine nichtaxiale, direkte, optische Sicht auf wenigstens eine der mehreren axialen Unterzonen zu erhalten, und ein Verunreinigungsdetektionssystem in optischer Kommunikationsverbindung mit der optischen Anschlussanordnung aufweist.

[0007] Gemäss einem weiteren Gedanken der Erfindung wird ein Brennersystem bereitgestellt, das eine Brennstoffleitung, eine Nebenstrom-Brennstoffleitung, eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle an der Brennstoffleitung, einen stromabwärtigen Turbinenbrenner an der Brennstoffleitung und einen induktiv gekoppelten Plasmaanalysator (ICP-Analysator, Inductively Coupled Plasma) mit einer Brennzonenzone aufweist, der an der Nebenstrom-Brennstoffleitung angeordnet ist, um die Verunreinigungen von zu dem Turbinenbrenner strömenden Brennstoffen zu analysieren.

[0008] Gemäss eines noch weiteren Gedankens der Erfindung wird ein Verfahren zum Analysieren und Messen spezifischer Verunreinigungen in einem Brennstoff für ein Brennersystem bereitgestellt. Das Verfahren weist ein Injizieren eines Flüssigbrennstoffs in eine Flammenzone oder Brennzonenzone des Brennersystems hinein, Erzeugen einer Flamme in der Flammenzone oder der Brennzonenzone des Brennersystems, Ankoppeln eines direkten Emissionssignals der Flamme von der Brennzonenzone oder von mehreren axialen Unterzonen der Flammenzone durch eine optische Anschlussanordnung an ein Detektorsystem und Analysieren des Emissionssignals von den mehreren axialen Unterzonen, um eine in dem Flüssigbrennstoff vorhandene Verunreinigungsspezies zu detektieren, auf.

### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0009] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser verstanden, wenn die folgende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in denen gleiche Bezugszeichen überall in den Zeichnungsfiguren gleiche Teile bezeichnen, worin:

[0010] Fig. 1 zeigt eine schematisierte Darstellung eines Brennersystems gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

[0011] Fig. 2 zeigt eine schematisierte Darstellung eines Brennersystems mit einer Anregungsanordnung gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0012]** Fig. 3 zeigt eine schematisierte Darstellung eines Brennersystems mit einem ICP-Analysator in einem Nebenstrom gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0013]** Fig. 4 zeigt Flammenemissionsspektren von Natrium gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0014]** Fig. 5 zeigt einen Versuchsaufbau gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0015]** Fig. 6 zeigt Flammenemissionsvergleichsspektren von Magnesium und Vanadium an der «Düsenendzone» der Flamme gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0016]** Fig. 7 zeigt Flammenemissionsvergleichsspektren von Magnesium und Vanadium an der «mittleren Flammenzone» gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0017]** Fig. 8 zeigt Flammenemissionsvergleichsspektren von Magnesium und Vanadium an der «Spitze der Endzone» der Flamme gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0018]** Fig. 9 zeigt Flammenemissionsvergleichsspektren von Magnesium und Vanadium an der «stromabwärtigen Zone» der Flamme gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

### **Detaillierte Beschreibung der Erfindung**

**[0019]** Die hierin beschriebenen Systeme und Verfahren umfassen Ausführungsformen, die die Verunreinigungsdetektion in einem Brennersystem betreffen. Geeignete Verbrennungsvorrichtungen können z.B. Öfen, Industrieöfen und Motoren, wie beispielsweise Gasturbinenmotoren bzw. -triebwerke, enthalten.

**[0020]** In der folgenden Beschreibung und den nachfolgenden Ansprüchen umfassen die Singularformen «ein», «eine» sowie «der», «die» und «das» mehrere in Bezug genommene Elemente, sofern der Kontext nicht deutlich das Gegenteil aussagt.

**[0021]** Die Feststellung von Spurenelementen in Flüssigbrennstoff flammen durch thermische Atomemission (Flammenfotometrie) ist ein attraktives Konzept für die Überwachung der Brennstoffqualität für Gasturbinenanwendungen. Flammenfotometrie ist passiv und erfordert nur einen optischen Zugang zu der Verbrennungszone, und sie benötigt keine eintreffende Strahlung und keinen Energieeintrag von aussen, indem sie auf Verbrennungsprozessen beruht, um die zur Anregung von Analyten benötigte Energie bereitzustellen.

**[0022]** Eine Überwachung der Verbrennungsflammenzone mittels eines optischen Spektrofotometers kann die Überwachung möglicherweise schädlicher Verunreinigungsstoffe, die in den Verbrennungszellen verbrennen, ermöglichen. Die Verwendung von Kohlenwasserstoffbrennstoffen, beispielsweise Diesel, sowohl als der Brennstoff als auch als die Analytmatrix und der Einsatz der Flammenfotometrie zur Identifikation und Quantifizierung von Übergangsmetallen sind weitgehend unerforscht. Für die Identifizierung von Verunreinigungen geben Übergangsmetallelemente charakteristisches Licht mit spektralen Emissionslinien bekannter Wellenlänge ab. Diese Emission rührt hauptsächlich von Energieniveauübergängen von Elektronen ab, die durch die atomaren Eigenschaften der jeweiligen Elemente bestimmt sind. Diese spektralen Emissionslinien können, wenn sie mit dem Spektrofotometer überwacht werden, gegebenenfalls eine Warnbedingung ermöglichen, so dass zu diesem Zeitpunkt die Brennstoffquelle geeignet behandelt werden könnte.

**[0023]** Die Verunreinigungen, die in einer Brenneranlage überwacht werden können, enthalten z.B. Natrium (Na), Kalium (K), Lithium (Li), Vanadium (V), Blei (Pb), Kalzium (Ca), Wasserstoff (H) und Kohlenstoff (C). In einer Ausführungsform beträgt die maximale Konzentration, die für jedes dieser Elemente zugelassen ist, etwa 0,2 Teile pro Million (ppm). In bestimmten Ausführungsformen beträgt diese maximale Konzentration etwa 0,1 ppm.

**[0024]** Einige der Verunreinigungen haben auch zugehörige spektroskopische Absorptionslinien, die für zugehörige Moleküle charakteristisch sind. Diese können aufgrund der Komplexität der Integration des Messaufbaus bei der Verbrennungsanlage über optische Absorption schwierig zu detektieren sein. Folglich stellt die Erfassung von Emissionsspektren unmittelbar aus dem Verbrennungsprozess im Vergleich zu einer absorptionsbasierten Detektion eine einfachere Methode zur Detektion der Verunreinigungen dar.

**[0025]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ergeben ein Brennersystem und ein Verfahren zum Analysieren und Messen spezifischer Verunreinigungen in einem Brennersystem. Das Brennersystem kann mit Gasbrennstoff oder mit Flüssigbrennstoff betrieben sein. Fig. 1 zeigt ein Brennersystem gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Brennersystem 10 weist eine Druckbegrenzung 12, eine Gegenstromhülse 14, eine innere Auskleidung 16, eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle 18, einen stromabwärtigen Turbinenbrenner 20, eine Flammenzone 22, eine optische Anschlussanordnung 24 und ein Verunreinigungsdetektionssystem 26 auf. Eine Flammenzone 22, wie hierin verwendet, ist ein Teil des Brennersystems 20, in dem eine Flamme 28 annahmegemäss existiert, wenn sich das System im Betrieb befindet. Die Flammenzone 22 in dem Brennersystem 10 kann in mehrere axiale Unterzonen unterteilt sein. Axiale Unterzonen, wie hierin verwendet, sind die unterschiedlichen Zonen, die durch ihre variierenden Temperaturprofile definiert sind. In einer Ausführungsform weist die Flammenzone während des Betriebs des Brennersystems eine Flamme mit einer von der Brennstoffinjektionsstelle in dem Düsenende entlang der Achse der Flammenzone 22 ansteigenden Temperatur auf.

**[0026]** Falls zum Beispiel die Flamme von dem Düsenende ausgeht und sich zu der Turbine hin erstreckt, wie in Fig. 1 veranschaulicht, ist die Flammenzone 22 dann die Zone, in der erwartet wird, dass die Flamme zur Zeit des Betriebs vorhanden sein wird. Die Düsenrandzone 32, die mittlere Flammenzone 34, die Spitze der Flammenzone 36 und eine stromabwärtige Zone 38 stellen unterschiedliche axiale Unterzonen der Flammenzone 22 dar. In einer Ausführungsform weist die Düsenrandzone 32 eine geringere Temperatur im Verhältnis zu der mittleren Flammenzone 34 auf, und die Temperatur steigt weiterhin in der Spitze der Flammenzone 36 und nimmt anschliessend in der stromabwärtigen Zone 38 sogar weiter zu.

**[0027]** Eine optische Anschlussanordnung 24, wie hierin verwendet, kann mehrere optische Anschlüsse 42, 44, 46, 48 aufweisen, die auf einen oder mehrere Teile der Verbrennungszone gerichtet sind. In einer Ausführungsform ist die optische Anschlussanordnung 24 konfiguriert, um eine nichtaxiale, direkte optische Sicht auf wenigstens eine der mehreren axialen Unterzonen zu erhalten. Eine nichtaxiale Sicht, wie hierin verwendet, bedeutet, dass der Blick auf die Flamme nicht durch die Düse des Brenners verläuft. Eine direkte optische Sicht, wie hierin verwendet, ist eine Sicht auf die Flamme ohne irgendein dazwischen liegendes festes Material. Um dies zu erreichen, durchdringen die optischen Anschlüsse 42, 44, 46, 48 in einer Ausführungsform die Druckbegrenzung 12 des Brennersystems, um eine direkte optische Sicht der Flamme 28 zu erhalten.

**[0028]** In einer Ausführungsform sind die mehreren optischen Anschlüsse 42, 44, 46, 48 ausgerichtet, um unterschiedliche Ansichten der Flamme 28 in der Flammenzone 22 zu erhalten. In einer anderen Ausführungsform sind die mehreren optischen Anschlüsse konfiguriert, um eine direkte Sicht auf wenigstens zwei der mehreren axialen Unterzonen zu erhalten. Zum Beispiel können ein oder mehrere optische Anschlüsse vorhanden sein, die einen senkrechten oder radialen Blick auf irgendeine oder jede der axialen Unterzonen der Flammenzone 22 aufweisen, wodurch eine radiale Betrachtung unterschiedlicher Teile der Flamme während eines Betriebs des Brennersystems 10 ermöglicht wird. Die thermischen Atomspektren, die von unterschiedlichen axialen Unterzonen erhalten werden, können sich für eine bestimmte Verunreinigung einer Brennstoffquelle voneinander unterscheiden. Dieser Unterschied kann von verschiedenen Faktoren abhängen, die die Emissionsspektren jeder der Verunreinigungen einzeln oder in Gegenwart anderer vorhandener Verunreinigungen beeinflussen. Zum Beispiel kann eine Temperaturdifferenz in den zwei unterschiedlichen axialen Unterzonen unterschiedliche Erscheinungsgrade unterschiedlicher Spitzen der Verunreinigung zulassen. In einem weiteren Beispiel kann eine Dämpfung einer Emissionsspitze einer Verunreinigung von der Stärke der Emissionsspitzen anderer Verunreinigungen in und um die Wellenlänge der anfänglichen Verunreinigungsspitze herum abhängen, und die Stärke der Emissionsspitzen kann von der Temperatur der Flamme an der Messstelle abhängen.

**[0029]** Es können ferner ein oder mehrere optische Anschlüsse vorhanden sein, die eine schräge Sicht auf die Flamme aufweisen, was einen besseren Sichtwinkel von der Flamme ermöglicht, wodurch die Grösse der betrachteten Region maximiert wird. In einer Ausführungsform vermeidet das Überwachungssystem eine Behinderung der Gasströmung aus den Gaseinlässen durch geeignete Auslegung der Positionierung der optischen Anschlüsse in Bezug auf die Gaseinlässe und -auslässe.

**[0030]** In einer Ausführungsform steht die optische Anschlussanordnung 24 in optischer Kommunikationsverbindung mit dem Verunreinigungsdetektionssystem 26. Die optische Kommunikation zwischen der optischen Anschlussanordnung 24 und dem Verunreinigungsdetektionssystem 26 kann entweder direkt oder über einen Satz von optischen Fasern bzw. Lichtwellenleitern 50 erfolgen. In einer Ausführungsform ist das Verunreinigungsdetektionssystem konfiguriert, um Verunreinigungsspezies zu detektieren, die wenigstens ein Element aufweisen, das aus der Gruppe ausgewählt ist, zu der Natrium, Kalium, Kalzium, Lithium, Magnesium, Blei und Vanadium gehören. In einer anderen Ausführungsform ist das Verunreinigungsdetektionssystem konfiguriert, um Verunreinigungsspezies zu detektieren, die wenigstens ein Oxid des Elementes aufweisen, das aus der Gruppe ausgewählt ist, zu der Natrium, Kalium, Kalzium, Lithium, Magnesium, Blei und Vanadium gehören.

**[0031]** In einer Ausführungsform weist das Verunreinigungsdetektionssystem 26 eine Sensoranordnung auf. Die Sensoranordnung unterstützt die Erfassung der thermischen Atomemissionsspektren der Flamme. Die Konzentration der Verunreinigungen in dem Verbrennungssystem kann sehr niedrig sein, z.B. in den ppm-Niveaus liegen. Bei diesem geringen Grad der Verunreinigung sind die erfassten Spektren sehr schwach und schwierig zu detektieren. Folglich ist eine Vorrichtung mit einer sehr hohen Verstärkung erforderlich, um die thermische Atomemission zu detektieren. Die Sensoranordnung der vorliegenden Ausführungsform kann jedes beliebige einzelne oder mehrere Instrumente aufweisen, die die thermische Atomemission erfassen und für eine weitere Analyse übertragen können. Zu Beispielen gehören ein Fotospektrometer, eine Fotodiode, eine Lawinenfotodiode und eine Fotovervielfacherröhre. In einer Ausführungsform weist die Sensoranordnung eine Lawinenfotodiode (APD, avalanche photodiode) auf. In einer weiteren Ausführungsform weist die Lawinenfotodiode einen Quantenwirkungsgrad von mehr als 10% bei etwa 500 nm auf. In einer Ausführungsform weist die Sensoranordnung eine Fotovervielfacherröhre (PMT, photomultiplier tube) mit einem Quantenwirkungsgrad auf, der bei einer einfallenden Wellenlänge im Bereich von 300 bis 700 nm grösser ist als 10%. In einigen Ausführungsformen wird die PMT mit Verstärkungswerten von 1000 oder mehr betrieben.

**[0032]** In einer Ausführungsform weist das Verunreinigungsdetektionssystem 26 ferner eine Analysatoranordnung auf, die konfiguriert ist, um ein Ausgangssignal von der Sensoranordnung zu analysieren. Die Analysatoranordnung kann einen

elektronischen Signalprozessor enthalten, der eingerichtet und konfiguriert ist, um Echtzeitdaten, die von der Sensoranordnung empfangen oder in sonstiger Weise übertragen werden, zu analysieren und zu verarbeiten.

**[0033]** Die erfassten thermischen Spektren können auch Hintergrundrauschen enthalten, das die Klarheit der thermischen Spektren der gedachten Verunreinigungen reduziert. Ein optisches Filter, wie z.B. ein Kerbfilter, kann Hintergrundstrahlung oder Strahlung von anderen Materialien daran hindern, die zu der gewählten Verunreinigung zugehörigen Signale zu verschleiern. Demgemäss weist das Verunreinigungsdetektorsystem 26 in einer Ausführungsform ferner eine Filteranordnung auf, die konfiguriert ist, um wahlweise einen Durchlass einer charakteristischen thermischen Atomemission einer in einem Brennstoff in dem Turbinenbrenner vorhandenen Verunreinigung zu ermöglichen.

**[0034]** Eine optische Filterung kann unter Verwendung verschiedener Methoden, einschliesslich unter Verwendung einer Filteranordnung, die dielektrische Materialien in Dünnschicht-, Dickschicht- oder Blockform, mit seltenen Erden dotierte Gläser oder Dickschichtpolymere aufweist, durchgeführt werden. Die Dünnschichtfilter mit dielektrischen Materialien bieten insofern eine Flexibilität, als sie optisch angepasst werden können, um die Anforderungen eines Benutzers zu erfüllen. Zum Beispiel kann ein Filter derart ausgelegt werden, dass er nur einer Strahlung von 580 bis 600 nm ermöglicht hindurchzutreten, während es den Grossteil der sichtbaren und/oder ultravioletten (UV) Strahlung blockiert. Dies kann im Prinzip einem Detektor mit einem grossen Wellenlängenbereich ermöglichen, eine spezielle Emissionslinie, wie beispielsweise von Natrium (bei 590 nm), zu beobachten. Die Filteranordnung kann auf unterschiedliche Weise in das Brennersystem eingeführt werden. In einer Ausführungsform sind die optischen Filter 30 an der Verunreinigungsdetektorsanordnung 26 auf der Oberfläche, die das Signal von der Flammenzone 22 empfängt, unmittelbar angebracht oder in die optischen Anschlüsse integriert.

**[0035]** In einer Ausführungsform kann die Filteranordnung eingestellt sein, um unterschiedliche Durchlassbandbreiten zu haben, die auf die Wellenlängenbereiche unterschiedlicher Verunreinigungen angewandt werden können. In einer Ausführungsform beträgt die Durchlassbandbreite der Filteranordnung weniger als 30 nm. In einer anderen Ausführungsform beträgt die Durchlassbandbreite der Filteranordnung weniger als 10 nm.

**[0036]** Während die Emissionswellenlänge einer Verunreinigung hilft, das Verunreinigungselement zu identifizieren, kann die Intensität der emittierten Strahlung verwendet werden, um die Konzentration der Verunreinigung zu quantifizieren. In einigen Fällen, wie z.B. bei Vanadium, ist eine typische Gasturbinenflammentemperatur nicht hinreichend hoch, um eine effiziente Anregung der Atome herbeizuführen. Die Anzahl von Atomen, die in dem angeregten Zustand vorliegen, kann durch Erhöhung der Flammentemperatur, beispielsweise durch die Erzeugung eines Plasmas in der Flamme, erhöht werden. Ein Durchgang von Strom durch die Strecke zwischen Elektroden, die quer durch die Flamme angeordnet ist, kann die erforderliche Energie liefern, um die Probe zu atomisieren und die resultierenden Atome auf höhere elektronische Zustände anzuregen.

**[0037]** Das Brennersystem 10 weist gemäss einer Ausführungsform eine Anregungsanordnung auf, die angeordnet ist, um die Temperatur der Flammenzone 22 zu erhöhen, wie in Fig. 2 veranschaulicht. Die Anregungsanordnung nach Fig. 2 weist eine Elektrodenanordnung 60 auf, die konfiguriert ist, um eine elektrische Entladung durch die Flamme 28 hindurch herbeizuführen, wodurch eine erhöhte Verbrennungstemperatur erzeugt und ein Plasma generiert wird. Die Elektrodenanordnung 60 regt, wenn sie im Betrieb ist, die Flamme an. Die Elektrodenanordnung 60 kann ein Paar Elektroden 62, 64 aufweisen oder kann mehrere nicht verbundene Elektrodenpaare aufweisen. Eine Plasmaanregung der Flamme 28, die durch Einführen von Elektroden in die Nähe der Flamme 28 und Herbeiführung einer elektrischen Entladung oder durch elektromagnetische Induktion erreicht wird, ermöglicht eine effizientere Atomanregung bei höheren Temperaturen.

**[0038]** In einer Ausführungsform weist die Elektrodenanordnung 60 ein schnell schwingendes elektromagnetisches Feld auf, um ein Plasma 66 in der Flammenzone 22 zu erzeugen. In einer weiteren Ausführungsform wird das Plasma 66 durch eine HF-Spule erzeugt. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform wird ein induktiv gekoppelter Plasma-Analysator (ICP-Analysator) für die Analyse der Verunreinigungen von zu dem Turbinenbrenner strömenden Brennstoffen verwendet. In einer noch weiteren Ausführungsform sind mehrere HF-Spulen und Elektroden rings um die Flamme 28 angeordnet, um die Verteilung des elektromagnetischen Feldes für eine verbesserte Überlappung der elektromagnetischen Energie mit der Flamme 28 zu formen.

**[0039]** Die Analyse der Verunreinigungen in dem Brennstoff kann entweder in einer Brennkammer des Systems oder in einer Kammer erfolgen, der ein Seiten- bzw. Nebenstrom des Brennstoffs zugeführt wird, wie in Fig. 3 veranschaulicht. Der Nebenstrom 72 kann von der Hauptbrennstoffleitung 70, die in die Flammenzone 22 eintritt, entnommen werden. Die thermische Atomemission der Flamme, die in der Brennstoffleitung oder dem Nebenstrom auftritt, kann analysiert werden, um die Identifikation und Quantifizierung der Verunreinigungen in dem Brennstoff zu erhalten. In einer Ausführungsform ist ein ICP-Analysator 74 an der Nebenstrom-Brennstoffleitung angeordnet, um die Verunreinigungen von zu dem Turbinenbrenner passierenden Brennstoffen zu analysieren.

**[0040]** Eine Ausführungsform enthält ein Verfahren zum Messen und Analysieren der Verunreinigungen im Brennstoff. In einer Ausführungsform werden die speziellen Verunreinigungen in einem Brennstoff durch Verbrennen des Brennstoffs in einem Brennersystem 10 gemessen und analysiert. In einer anderen Ausführungsform wird der Brennstoff in einer für den Nebenstrom der Brennstoffleitung erzeugten Brennzona verbrannt. In einer beispielhaften Ausführungsform wird der Brennstoff im Inneren eines ICP-Analysators 74 verbrannt. Flüssigbrennstoff wird zum Beispiel in eine Flammenzone 22 des Brennersystems 10 durch eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle injiziert. Direkte Emissionssignale der Flamme, die in mehreren axialen Unterzonen der Flammenzone 22 erzeugt werden, werden an ein Verunreinigungsdetek-

tionssystem 26 über eine optische Anschlussanordnung 24 angekoppelt. Die Emissionssignale von den mehreren axialen Unterzonen werden analysiert, um eine in dem Flüssigbrennstoff vorhandene Verunreinigungsspezies zu detektieren. Wie in den vorstehenden Absätzen offenbart, kann die Temperatur der Flamme durch Bereitstellung einer externen Anregung erhöht werden, um die Genauigkeit der Messung zu steigern. Die unter Verwendung dieses Verfahrens detektierte Verunreinigungsspezies weist wenigstens ein Element und/oder Oxide des Elementes auf, das aus der Gruppe ausgewählt ist, zu der Natrium, Kalium, Kalzium, Lithium, Magnesium, Blei und Vanadium gehören. In einer Ausführungsform enthält das Verfahren zum Detektieren von Verunreinigungsspezies einen Vergleich der unterschiedlichen Spitzenintensitätsbandbreiten der Verunreinigungsspezies.

### Beispiel 1

**[0041]** Ein Brennstoffsprühstrahl-Flammen-Verbrennungsaufbau wurde verwendet, um die optische Emission eines brennenden Düsentreibstoffs zu charakterisieren. Reiner Düsentreibstoff wurde mit Spritzenpumpen mit verunreinigtem Treibstoff vermischt, um unterschiedliche Konzentrationen von Verunreinigungen zu schaffen. Fig. 4 zeigt die relative Intensität einer Natrium-Emissionslinie in der Flamme bei unterschiedlichen Natriumkonzentrationen. Die Emissionsintensität war zu der Natriumkonzentration in dem Treibstoff ungefähr proportional. Die prozentuale Konzentration von Natrium wurde in Bezug auf die maximale Konzentration, die während des Tests erreicht wurde, bestimmt.

### Beispiel 2

**[0042]** Es wurde ein Versuchssystem 80, wie in Fig. 5 veranschaulicht, aufgebaut, um die Umsetzbarkeit der Flüssigbrennstoffverunreinigungsdetektion durch optische Flammenspektroskopie zu bewerten. Es wurden Verbrennungsversuche bei atmosphärischem Druck mit vorerhitzter Luft unter Verwendung von Flüssigbrennstoffen mit unterschiedlichen Anteilen der Verunreinigung durchgeführt. Ein Luftverdichter 82 lieferte vorerhitzte Verbrennungsluft, und ein Erdgasverdichter 84 lieferte Erdgas. Flüssigbrennstoff wurde von einem unter Druck stehenden Flüssigkeitsabgabebehälter 86 geliefert. Der Abgabebehälter wurde mit Stickstoff aus einer (in der Figur nicht veranschaulichten) Gasflasche unter Druck gesetzt.

**[0043]** Der Prüfstand wurde vertikal angeordnet, wie in Fig. 5 veranschaulicht, wobei die Gase von dem Auslass der Prüfapparatur stromabwärts flossen. Der Verbrennungsabschnitt 90 wurde aus einem Quarzrohr 92 gebildet, das einen visuellen Zugang zu der Brennstoffdüse 94 und dem Verbrennungsprozess ermöglicht. Die Quarzrohre hatten eine Länge in dem Bereich von 38,1 cm, d.h. 15 Zoll, bis 50,8 cm, d.h. 20 Zoll, und einen Durchmesser von 12,497 cm, d.h. 4,92 Zoll. Emissionsmessungen wurden unter Verwendung einer Abgassonde 96 mit acht Anschlüssen (8-Port-Abgassonde) vorgenommen. Die Sonde 96 mass bereichsgemittelte Emissionen, ohne irgendeine radiale Durchquerung quer durch die Brennkammerauskleidung zu vollziehen. Ein Zünden der Flamme wurde durch Verwendung eines durch einen Funken gezündeten Wasserstoffbrenners 98 erreicht. Die Systemtemperaturen, Durchflussmesserdrücke, Durchflüsse, Düsendruckabfälle, Flammentemperaturen und Emissionen wurden mittels einer Datenakquisitionsoftware gemeinsam mit einer Datenerfassungsvorrichtung überwacht (in der Figur nicht veranschaulicht).

**[0044]** Für den Verbrennungsversuch wurde Diesel als der Brennstoff verwendet, und es wurden Testläufe mit reinem Diesel, Diesel mit Magnesium (Mg) sowie Diesel mit Magnesium und Vanadium (V) bei Temperaturen von 1648,9 °C (3000 °F) und 1815,6 °C (3300 °F) erhalten. Eine unabhängige Analyse des eingesetzten reinen Diesels durch ein externes Labor zeigte, dass die Anteile von Natrium, Nickel und Vanadium unterhalb detektierbarer Grenzwerte lagen. Insbesondere betrug der Anteil von Vanadium und Nickel weniger als 3 Teile pro Million Meter (ppmm), und der Anteil von Natrium lag unter 5 ppmm. Die Brennstoffe wurden in Polyethylenbehälter umgefüllt, die im Inneren eines Druckbehälters aus Stahl montiert waren, um zu dem System geliefert zu werden.

**[0045]** Um einen Brennstoff mit dem gewünschten Verunreinigungsanteil zu erhalten, wurden öllösbare organometallische Standards abgewogen und in 20-Milliliter-Fläschchen in Mengen von Hunderten von Teilen pro Milliarde (ppb, Parts per Billion) oder mehr unter Verwendung einer Analysenwaage gefüllt und mengenmässig mittels einer Pipette zu einer bekannten Masse eines Dieselmotortreibstoffs übertragen, der in einem gereinigten 2-Liter-Glasbehälter enthalten war. Der Brennstoff wurde bis zur homogenen Mischung geschüttelt. In dem Fall des vanadiumhaltigen Brennstoffs wurde nach ein paar Tagen eine Abscheidung beobachtet, wobei jedoch ein Umrühren von Hand das Gemisch schnell wieder homogenisierte.

**[0046]** Ein (in der Figur nicht veranschaulichter) Aufbau zur Akquisition des optischen Flammenspektrums, der mehrere optische Kollimatoranschlüsse, USB-Spektrometer und einen Computer aufweist, wurde verwendet, um die optischen Spektren der in dem Prüfstand 80 zur Verbrennung unter atmosphärischem Druck erzeugten Flamme zu akquirieren. Optische Kollimatoren wurden an dem Prüfstand montiert und eingestellt, um von unterschiedlichen Teilen der Flamme emittiertes Licht zu erfassen. Glasfaserkabel wurden verwendet, um erfasstes Licht zu sammeln und zu den kompakten USB-Spektrometern zu übertragen. Computergesteuerte Glasfaser-Spektrometer speicherten die aufgenommenen optischen Spektren. Ein zusätzliches hochauflösendes Spektrometer (mit einer Auflösung von 0,02 nm) wurde hinzugefügt, um ein hochauflösendes Spektrum von dem Düsenrandteil der Flamme zu akquirieren. Ein 518 nm schmales Bandpassfilter, das insbesondere auf die breiteste Mg-Emissionslinie abgestimmt war, wurde als ein optisches Filter eingeführt.

**[0047]** Für jede Flamme wurden vier unterschiedliche Spektren, jeweils von unterschiedlichen Teilen der Flamme, erfasst. Die Flammenemissionsspektren 112, 114, 116, 118, die von der Düsenrandzone 102, der mittleren Flammenzone 104, der

Spitze der Flammenzone 106 bzw. der stromabwärtigen Zone 108 erhalten wurden, sind jeweils in den Fig. 6–9 gemeinsam mit ihren jeweiligen hochauflösenden Spektren 122, 124, 126, 128 veranschaulicht. Für alle vier Teile der Flamme wurden zusätzliche Mg-bezogene Emissionsspitzen detektiert, wenn die Spektren 132 in Bezug auf sowohl 100 ppm Mg als auch 100 ppm V sowie die Spektren 134 in Bezug auf nur 100 ppm Mg mit den Emissionsspektren 136 verglichen wurden, die von der Flamme des reinen Dieselbrennstoffs erhalten wurden. Diese Spitzen wurden als eine atomare Emissionslinie von Mg bei 384 nm und eine Emissionslinie von Magnesiumoxid (MgO) bei 372 nm identifiziert. Eine schwache Spitze bei 518 nm wurde in der «Düsenrandzone» 112 beobachtet. Diese Spitze wurde für andere Orte nicht detektiert. Die Emissionsspektren 132 des verunreinigten Brennstoffs sowohl mit 100 ppm Mg als auch mit 100 ppm V sahen sehr ähnlich aus wie ein Emissionsspektrum 134 der Flamme, die durch verunreinigten Brennstoff mit nur 100 ppm Mg an allen Orten ausser der «stromabwärtigen Zone» 116 erzeugt wurde. An dieser Stelle zeigte das optische Spektrum von mit Vanadium verunreinigtem Brennstoff ein Fehlen der Mg-bezogenen Spitzen. Dieses Phänomen wird dem Verschwinden des atomaren Mg und MgO aus den Flammenspezies durch Reaktion mit V zugeordnet. In dieser Hinsicht kann die Mg-Emission verwendet werden, um indirekt das Vorhandensein von V zu detektieren, wenn die Flammenemissionen von unterschiedlichen Teilen der Flamme erfasst und miteinander verglichen werden. Folglich kann mit der Detektion von Mg und MgO ein Verfahren, um das Vorhandensein von Vanadium abzuleiten, ohne eine direkte Detektion von Vanadium ermöglicht werden.

**[0048]** Die vorliegende Erfindung offenbart ein Brennersystem 10 und ein Verfahren zum Messen von Verunreinigungen in dem Brennersystem 10. Das Brennersystem 10 enthält eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle 18, einen stromabwärtigen Turbinenbrenner 20, eine Flammenzone 22 in dem Turbinenbrenner 20, die mehrere axiale Unterzonen 32, 34, 36, 38 aufweist, eine optische Anschlussanordnung 24, die eingerichtet ist, um eine nichtaxiale, direkte, optische Sicht auf wenigstens eine der mehreren axialen Unterzonen 32, 34, 36, 38 zu erhalten, und ein Verunreinigungsdetektionssystem 26 in optischer Kommunikationsverbindung mit der optischen Anschlussanordnung 24.

#### Bezugszeichenliste

##### [0049]

10	Brennersystem
12	Druckbegrenzung
14	Gegenstromhülse
16	Innere Auskleidung
18	Brennstoffinjektionsstelle
20	Turbinenbrenner
22	Flammenzone
24	Optische Anschlussanordnung
26	Verunreinigungsdetektionssystem
28	Flamme
30	Optische Filter
32	Düsenrandzone
34	Mittlere Flammenzone
36	Spitze der Flammenzone
38	Stromabwärtige Zone
42, 44, 46, 48	Optische Anschlüsse
50	Optische Faser, Lichtwellenleiter
60	Elektrodenanordnung
62, 64	Elektrodenpaar
66	Plasma
70	Hauptbrennstoffleitung

## CH 702 387 B1

72	Nebenstrom-Brennstoffleitung
74	ICP-Analysator
80	System
82	Luftverdichter
84	Gasverdichter
86	Flüssigkeitsabgabebehälter
90	Verbrennungsabschnitt
92	Quarzrohr
94	Brennstoffdüse
96	Abgassonde
98	Wasserstoffbrenner
102	Düsenrandzone
104	Mittlere Flammenzone
106	Spitze der Flammenzone
108	Stromabwärtige Zone
112	Flammenemissionsspektren der Düsenrandzone
114	Flammenemissionsspektren der mittleren Flammenzone
116	Flammenemissionsspektren der Spitze der Flammenzone
118	Flammenemissionsspektren der stromabwärtigen Zone
122	Hochauflösende Flammenspektren der Düsenrandzone
124	Hochauflösende Flammenspektren der mittleren Flammenzone
126	Hochauflösende Flammenspektren der Spitze der Flammenzone
128	Hochauflösende Flammenspektren der stromabwärtigen Zone
132	Spektren in Bezug auf 100 ppm Mg und 100 ppm V
134	Spektren in Bezug auf 100 ppm Mg
136	Spektren des reinen Dieselmotors

### Patentansprüche

1. Brennersystem (10), das aufweist:  
eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle (18);  
einen stromabwärtigen Turbinenbrenner (20);  
eine Flammenzone (22) in dem Turbinenbrenner (20), die mehrere axiale Unterzonen (32, 34, 36, 38) aufweist;  
eine optische Anschlussanordnung (24), die eingerichtet ist, um eine nichtaxiale, direkte optische Sicht auf wenigstens eine der mehreren axialen Unterzonen (32, 34, 36, 38) zu erhalten; und  
ein Verunreinigungsdetektionssystem (26) in optischer Kommunikationsverbindung mit der optischen Anschlussanordnung (24).
2. System nach Anspruch 1, wobei die optische Anschlussanordnung (24) mehrere optische Anschlüsse (42, 44, 46, 48) aufweist.
3. System nach Anspruch 2, wobei die mehreren optischen Anschlüsse (42, 44, 46, 48) eingerichtet sind, um eine direkte Sicht auf wenigstens zwei der mehreren axialen Unterzonen (32, 34, 36, 38) zu erhalten.

## CH 702 387 B1

4. System nach Anspruch 1, wobei das Verunreinigungsdetektionssystem (26) eingerichtet ist, um Verunreinigungsspezies zu detektieren, die wenigstens ein Element aufweisen, das aus der Gruppe ausgewählt ist, zu der Natrium, Kalium, Kalzium, Lithium, Magnesium, Blei und Vanadium gehören.
5. System nach Anspruch 1, wobei das Verunreinigungsdetektionssystem (26) eingerichtet ist, um Verunreinigungsspezies zu detektieren, die wenigstens ein Oxid des Elementes aufweisen, das aus der Gruppe ausgewählt ist, zu der Natrium, Kalium, Kalzium, Lithium, Magnesium, Blei und Vanadium gehören.
6. System nach Anspruch 1, das ferner eine Anregungsanordnung aufweist, die angeordnet ist, um die Temperatur der Flammenzone (22) zu erhöhen.
7. System nach Anspruch 6, wobei die Anregungsanordnung eine Elektrodenanordnung (60) aufweist, die eingerichtet ist, um aus Entladung ein Plasma (66) zu erzeugen.
8. Brennersystem (10), das aufweist: eine Brennstoffleitung (70); eine Nebenstrom-Brennstoffleitung (72); eine stromaufwärtige Brennstoffinjektionsstelle (18) an der Brennstoffleitung (70); einen stromabwärtigen Turbinenbrenner (20) an der Brennstoffleitung (70); und einen induktiv gekoppelten Plasma(ICP)-Analysator (74) mit einer Brennzona, der an der Nebenstrom-Brennstoffleitung (74) angeordnet ist, um die Verunreinigungen von zu dem Turbinenbrenner (20) strömenden Brennstoffen zu analysieren.
9. Verfahren zum Analysieren und Messen spezifischer Verunreinigungen in einem Brennstoff für ein Brennersystem (10), wobei das Verfahren aufweist:  
Injizieren eines Flüssigbrennstoffs in eine Flammenzone (22) eines Brennersystems (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder in eine Brennzona eines Brennersystems (10) nach Anspruch 8;  
Erzeugen einer Flamme (28) in der Flammenzone (22) oder der Brennzona des Brennersystems (10);  
Ankoppeln eines direkten Emissionssignals der Flamme (28) von der Brennzona oder von mehreren axialen Unterzonen (32, 34, 36, 38) der Flammenzone (22) durch eine optische Anschlussanordnung (24) an ein Detektorsystem; und  
Analysieren des Emissionssignals von der Brennzona oder von den mehreren axialen Unterzonen (32, 34, 36, 38), um eine in dem Flüssigbrennstoff vorhandene Verunreinigungsspezies zu detektieren.
10. Verfahren nach Anspruch 9, das ferner aufweist  
Erhöhen der Temperatur der Flamme (28) in einem Brennersystem nach Anspruch 6 oder 8 durch Bereitstellung einer externen Anregung;

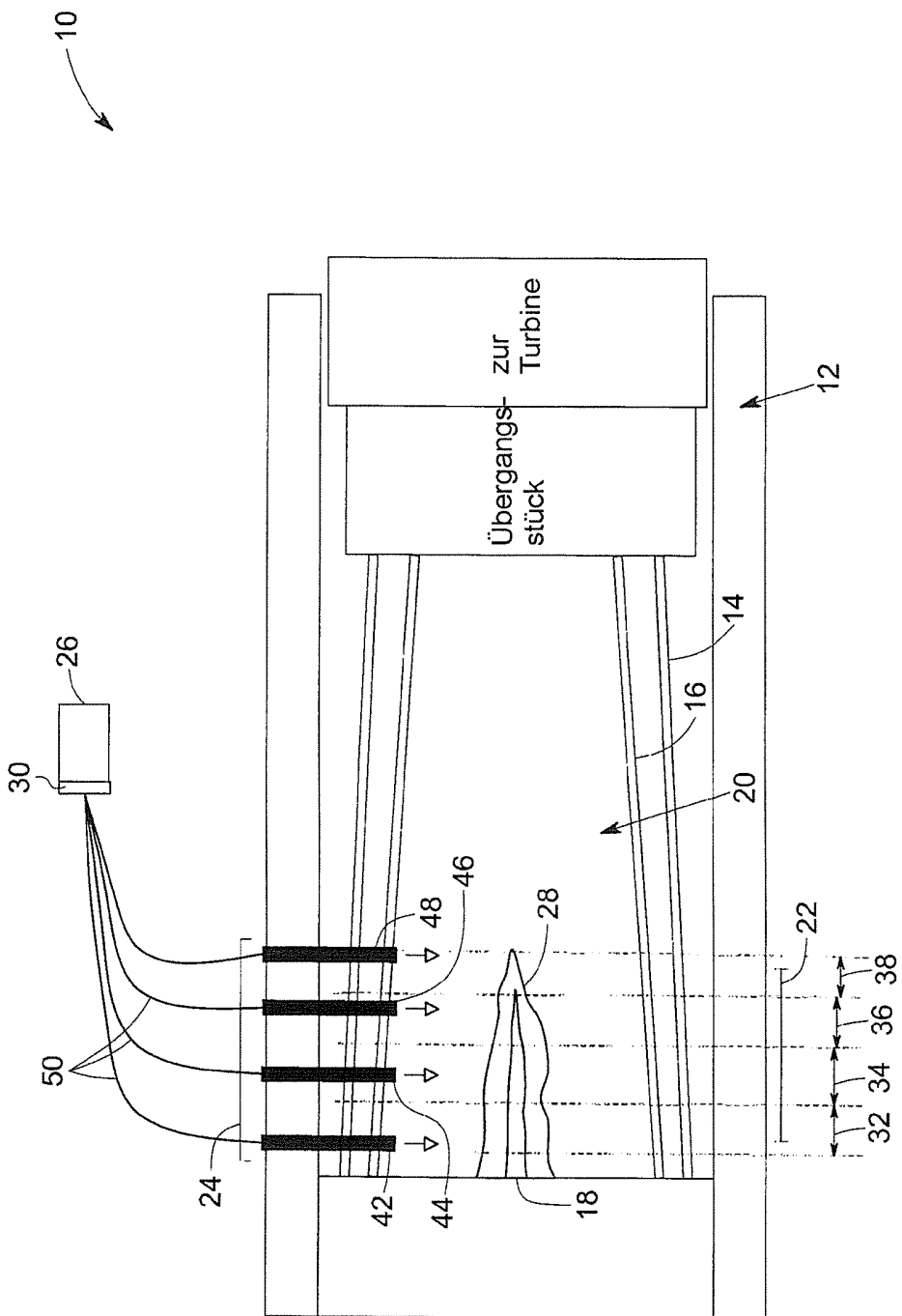


FIG. 1

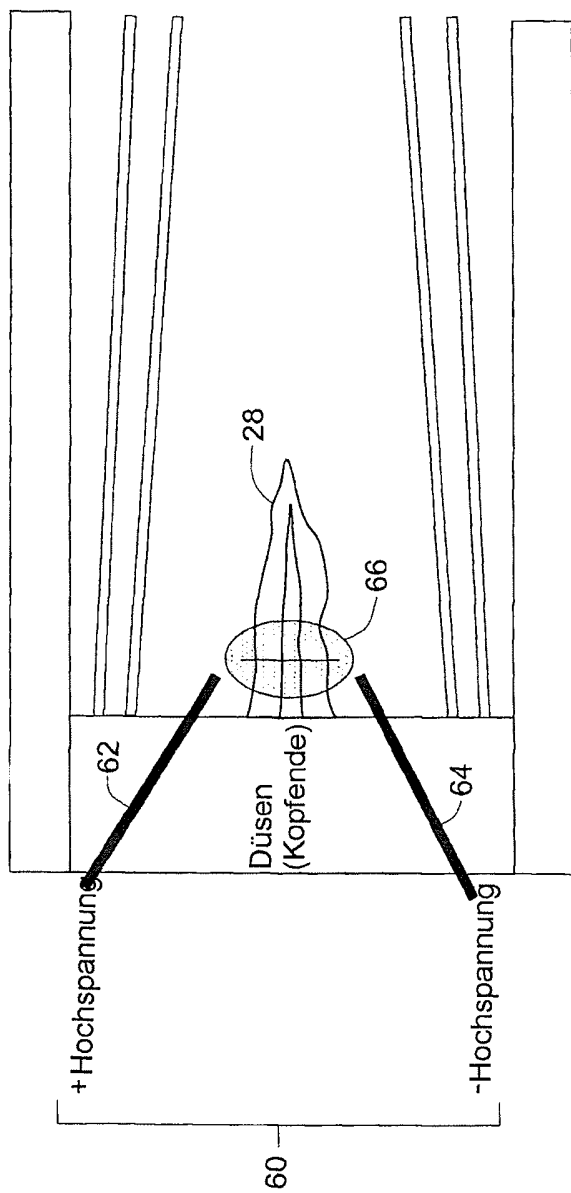


FIG. 2

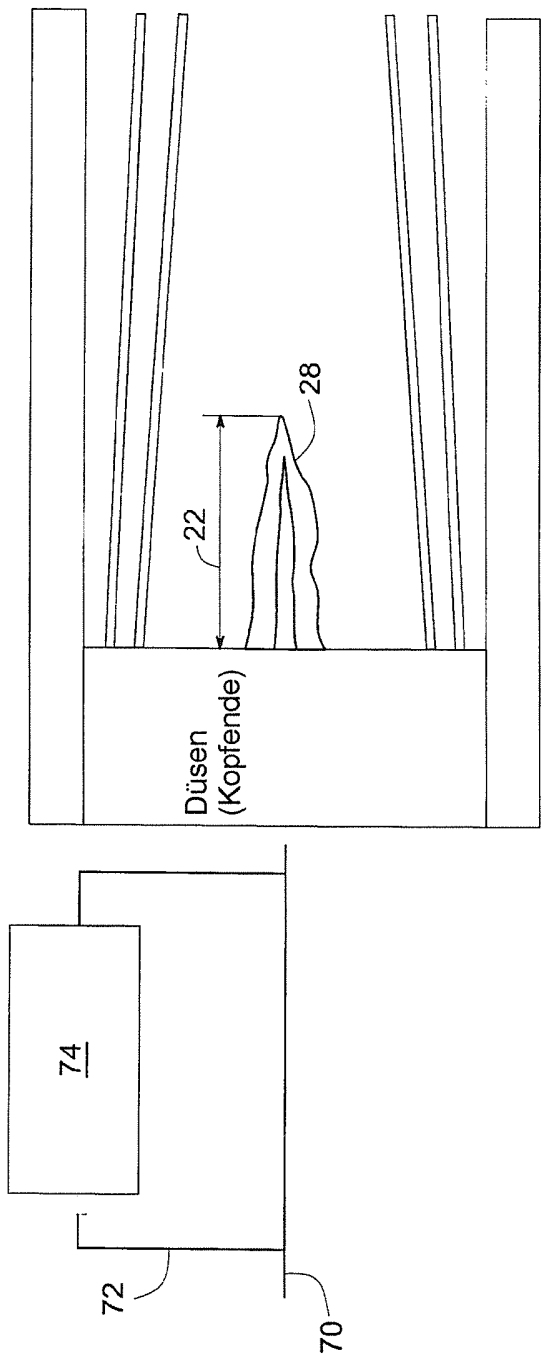


FIG. 3

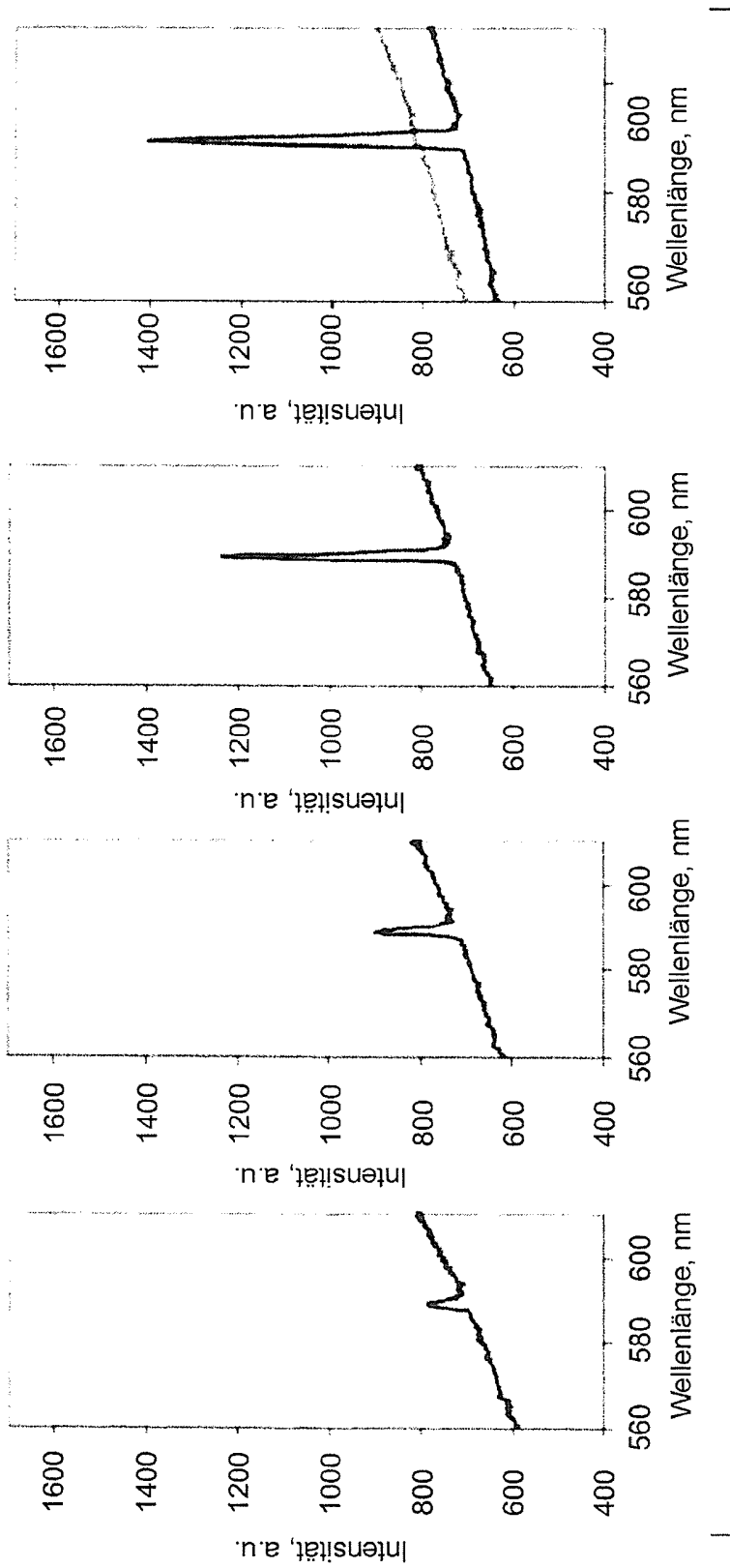


FIG. 4

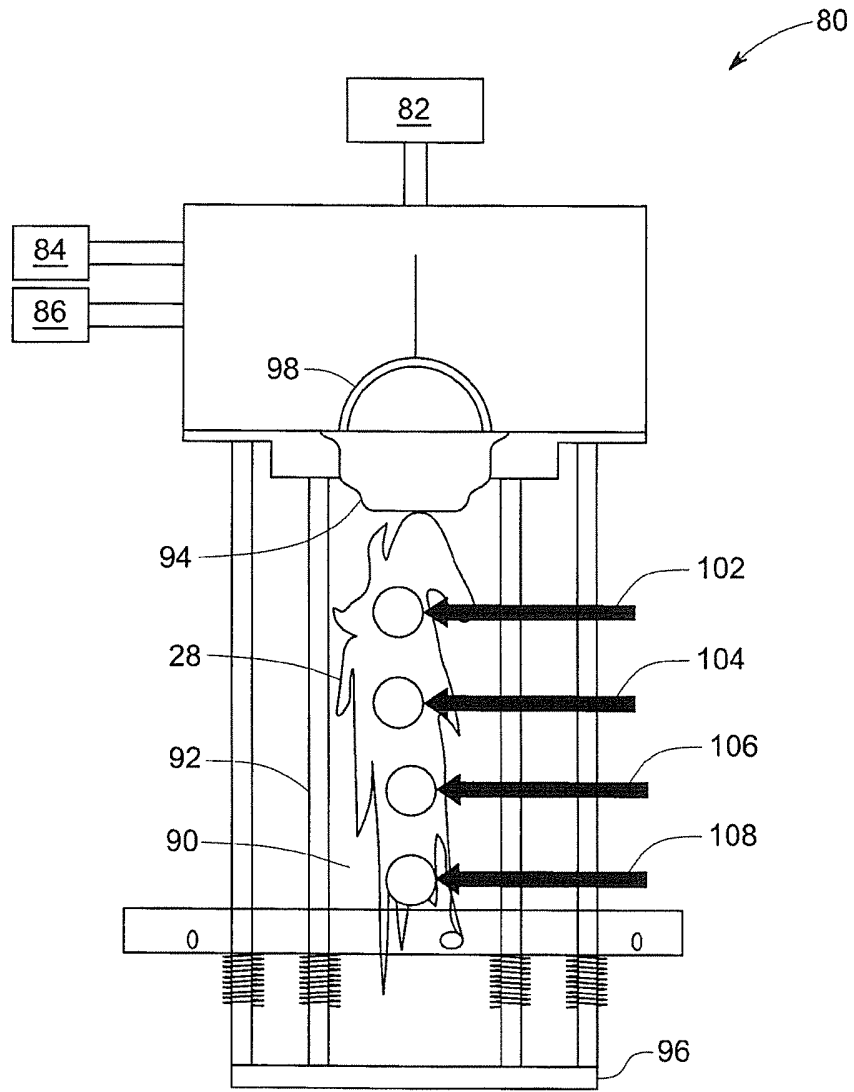


FIG. 5

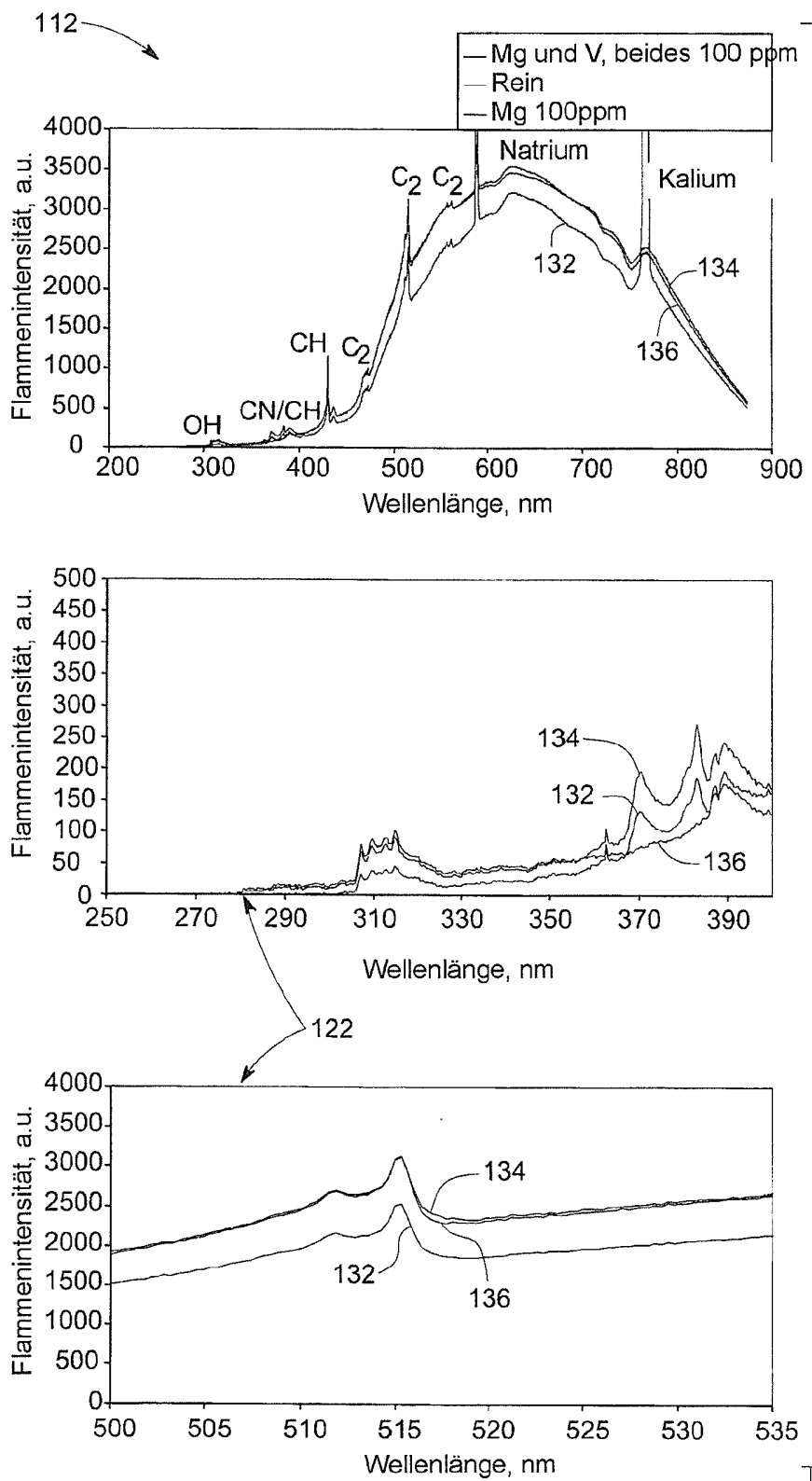


FIG. 6

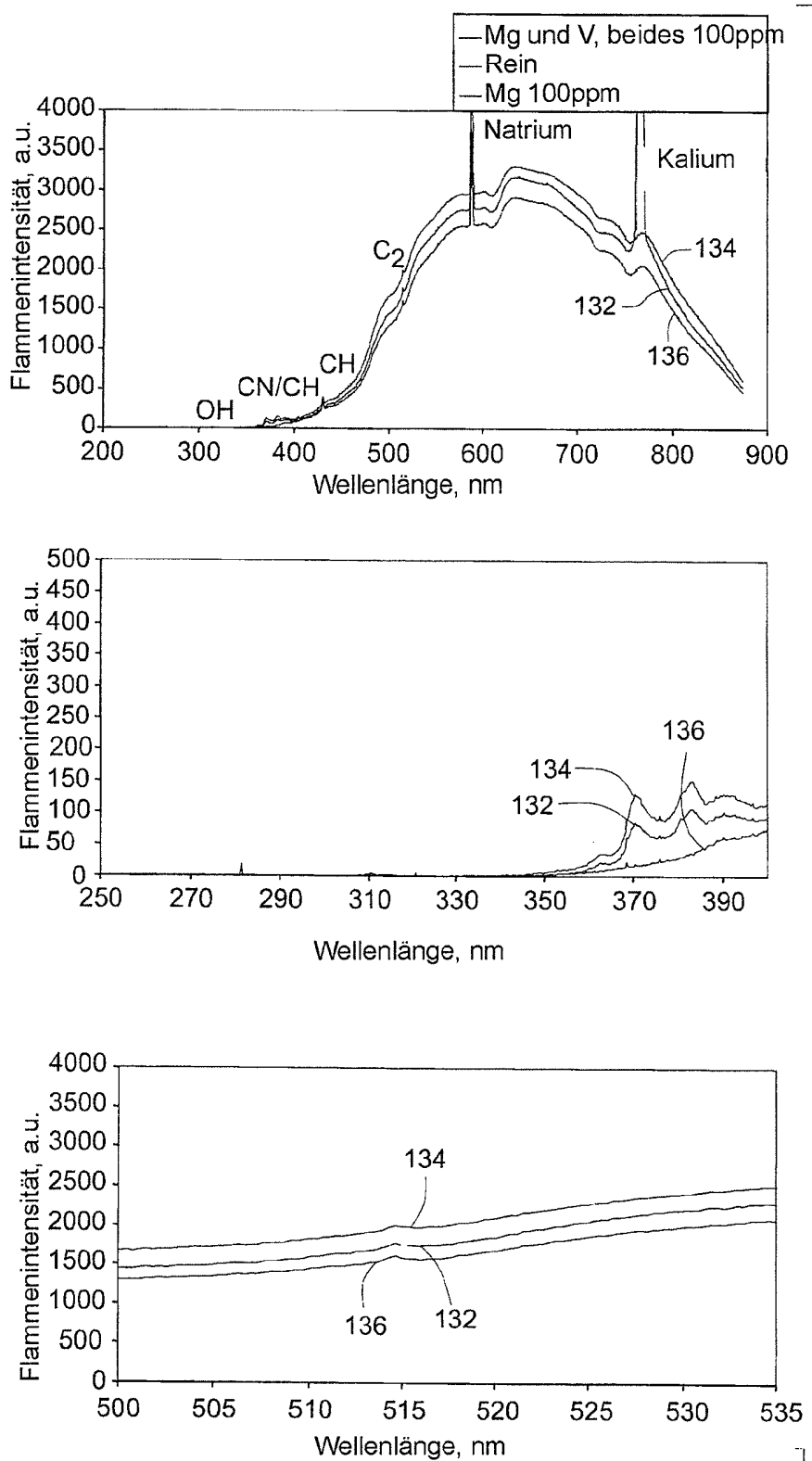


FIG. 7

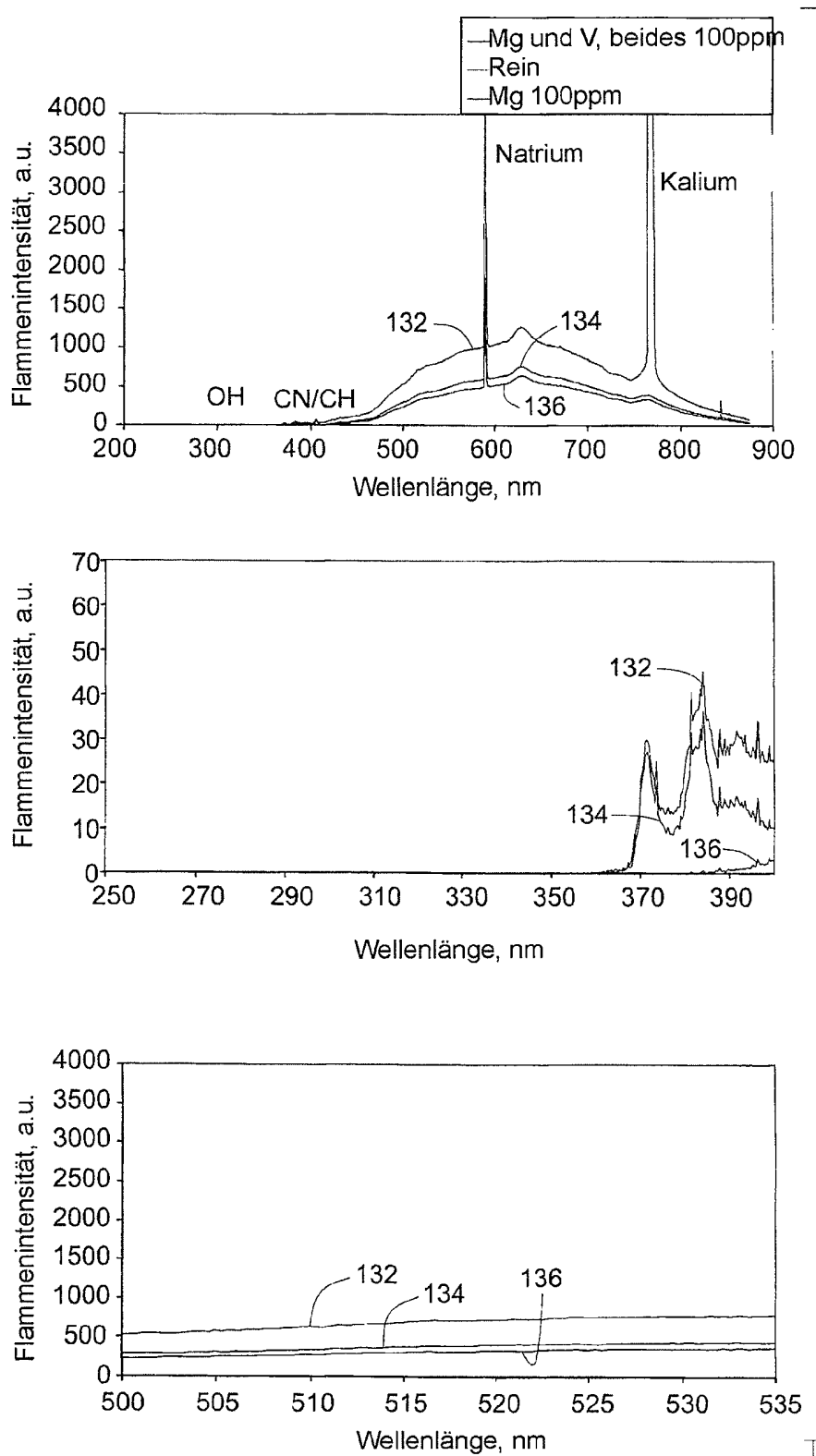


FIG. 8

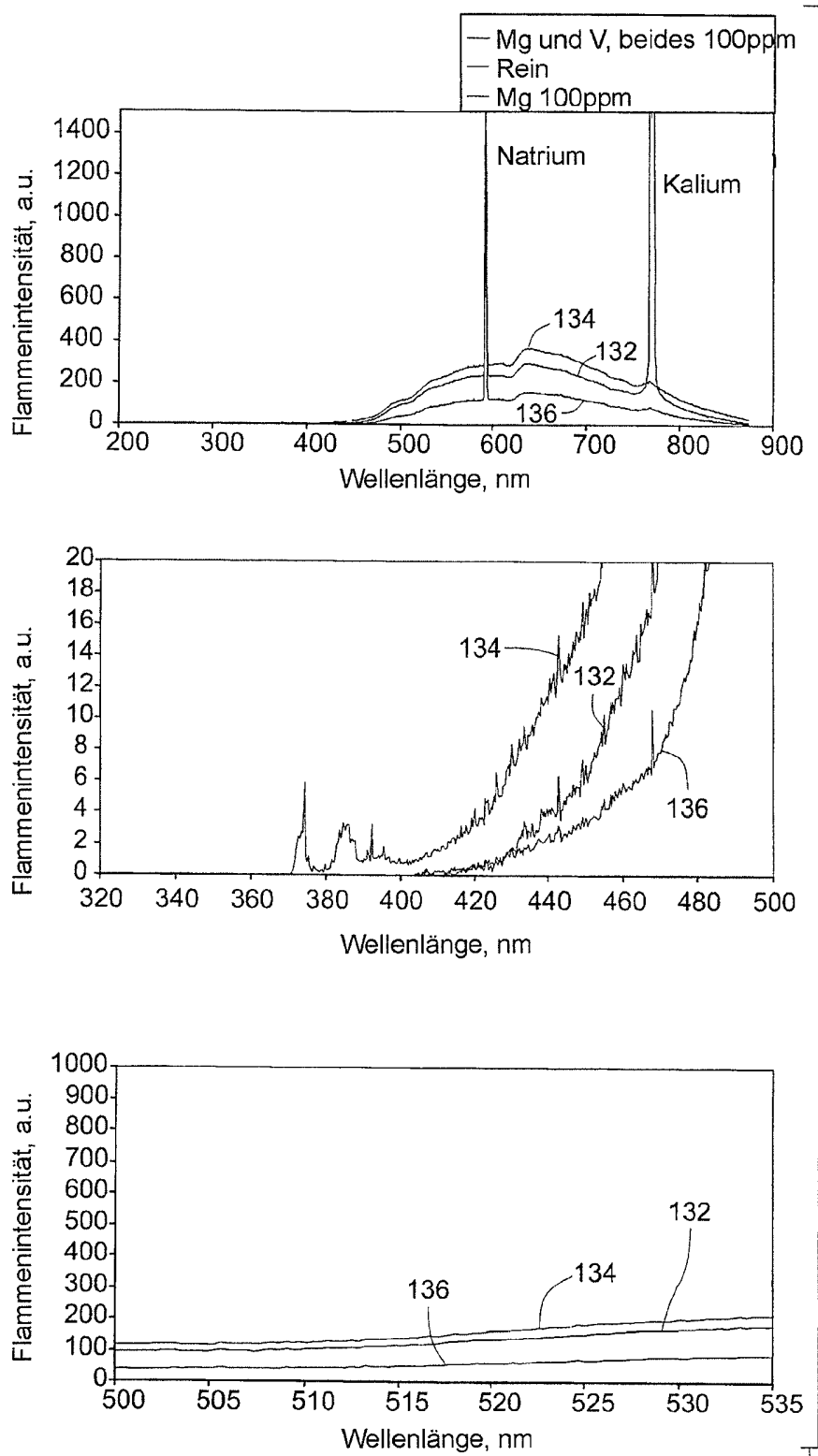


FIG. 9