

Offenlegungsschrift

G01N 1/24 (2006.01)

F04F 5/54 (2006.01)

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 3 593 023

US 5 147 426

US 6 058 789

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie**

[illegible]

Um dies zu verhindern wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass in einer zu einem Treibgasanschluss (44) der Saugstrahlpumpe (30) führenden Treibgasleitung (48) ein Regelventil (60) angeordnet ist, über das der Druck in der Treibgasleitung (48) einstellbar ist, so dass der Treibdruck in der Treibgasleitung (48) und der Treibdüse (52) der Saugstrahlpumpe (30) in direkter Abhängigkeit des Förderdrucks in der Analysezeile (16) oder der Förderleitung (34) geregelt wird.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie mit einer Infrarotstrahlungsquelle, deren Strahlung durch eine Analysezelle führbar ist, einem Probengasstrom, welcher durch eine Förderleitung in die Analysezelle und aus der Analysezelle leitbar ist, einem Detektor, über den ein in der Analysezelle entstehendes Absorptionsspektrum messbar ist, einer Saugstrahlpumpe, die stromabwärts der Analysezelle angeordnet ist und über die Messgas durch die Analysezelle und die Förderleitung förderbar ist sowie ein Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie mittels einer derartigen Vorrichtung, bei dem eine Strahlung einer Infrarotstrahlungsquelle in eine Analysezelle geleitet wird, die von einem Probengasstrom, der mittels einer Saugstrahlpumpe über eine Förderleitung angesaugt wird, durchströmt wird, woraufhin mittels eines Detektors ein Absorptionsspektrum der aus der Analysezelle austretenden Strahlung ermittelt wird und in einer Recheneinheit aus dem Absorptionsspektrum die Konzentration eines Gases im Probengasstroms berechnet wird.

[0002] Die Infrarotspektroskopie ist zur Bestimmung der Konzentration von einzelnen Gaskomponenten bekannt. Die am weitesten verbreiteten Verfahren sind das Fourier Transform Infrarotspektrometer oder das nicht dispersive Infrarotspektrometer. Mit der Entwicklung von kompakten, leistungsstarken Halbleiterlasern etablieren sich zunehmend Gasanalysatoren auf Basis der Laserspektroskopie. Neue Lasertypen wie Quantenkaskadenlaser revolutionieren die Laserspektroskopie im mittleren Infrarotbereich.

[0003] Alle diese Analysemethoden beruhen darauf, dass bei Bestrahlung eines Probengases mit Infrarotstrahlen bestimmte Frequenzbereiche absorbiert werden. Die Infrarotstrahlung liegt dabei in dem Bereich des Schwingungsniveaus von Molekülbindungen, die durch die Absorption zum Schwingen angeregt werden. Voraussetzung hierfür ist ein vorhandenes oder im Molekül erzeugbares Dipolmoment. Die verschiedenen Schwingungszustände verursachen Absorptionsverluste der Infrarotstrahlung unterschiedlicher optischer Frequenzen. Das Spektrum in der Transmission enthält somit einzelne für das Gas charakteristische Absorptionslinien, so dass das Probengas auf das Vorhandensein konkreter Moleküle untersucht und deren Konzentration im Probengas bestimmt werden kann.

[0004] Mit einem Quantenkaskadenlaser können insbesondere im Abgas von Verbrennungsmotoren vorhandene Schadstoffmoleküle, wie Distickstoffmonoxid, Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Kohlen-

dioxid, Kohlenmonoxid und Ammoniak ermittelt und deren Konzentration bestimmt werden.

[0005] Übliche Laserspektroskopische Systeme weisen einen Laser als Strahlungsquelle auf, dessen Strahlung über einen optischen Pfad in eine Analysezelle geleitet wird. In dieser Analysezelle wird der Strahl über eine geeignete Spiegelkonfiguration mehrfach reflektiert. Gleichzeitig wird in diese Analysezelle ein Probengasstrom geleitet, durch den die Strahlung des Lasers dringt und dort für eine Anregung der zur optischen Frequenz korrespondierenden Moleküle sorgt. Durch diese Anregung wird Energie der jeweiligen Frequenz absorbiert. Die Intensität des transmittierten Strahls nimmt an dieser Stelle im Spektrum ab. Die Absorption selbst erfolgt nicht exakt scharf, sondern unterliegt einer Verbreiterung aufgrund von Temperatur- und Druckänderungen. Der auf diese Weise in seinem Spektrum veränderte Strahl verlässt die Messzelle und trifft auf einen Detektor, über den das veränderte Frequenzband ausgewertet wird und so auf das Vorhandensein bestimmter Stoffe und deren Konzentrationen geschlossen werden kann. Die Förderung des Probengasstroms erfolgt üblicherweise über eine nachgeschaltete Vakuumpumpe.

[0006] Bei der Bestimmung der Konzentration wird die Absorptionscharakteristik im Spektrum ausgewertet bzw. analysiert. Diese Charakteristik wird im Allgemeinen als Linienspektrum der absorbierenden Gase bezeichnet. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Linienform in diesem Spektrum vom Druck und von der Temperatur abhängig ist. Diese Parameter müssen daher für eine Auswertung entweder konstant gehalten oder müssen kontinuierlich messtechnisch erfasst und verrechnet werden. Daher wird zur Erhöhung der Messgenauigkeit das Gas konditioniert sowie Druck und Temperatur möglichst konstant gehalten.

[0007] Des Weiteren hat es sich gezeigt, dass insbesondere bei der Messung von heißen und feuchten Gasen, wie beispielsweise von Abgasen von Verbrennungsmotoren, eine Kondensatbildung in der Analysezelle dringend verhindert werden muss, da dies zu einer deutlichen Verfälschung der Messergebnisse führt, weswegen die Messtemperaturen häufig angehoben werden. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass Querempfindlichkeiten mit sinkendem Druck vermieden werden können, da das Absorptionsspektrum in Unterdruck sehr schmal und hoch wird, wodurch die Spektren der einzelnen Komponenten keine Überlappung mehr aufweisen. Aus diesem Grund werden die Analysezellen bei Unterdruck betrieben, der beispielsweise ca. 200 hPa Absolutdruck beträgt.

[0008] Entsprechend ist es bekannt, die Förderung des Messgases mittels Vakuumpumpen durchzuführen.

ren. Dies erfolgt bei Analysatoren mit Quantenkaskadenlasern als Strahlungsquelle üblicherweise mittels Membran- oder Drehschieberpumpen.

[0009] Nachteilig an diesen Pumpen ist es jedoch, dass sie einen stoßweisen Druck erzeugen, der zu Pulsationen in der Förderleitung führt, was wiederum die Qualität der Messergebnisse negativ beeinflusst, wenn diese Pulsationen nicht durch zusätzliche Bauteile ausgeglichen werden. Hinzu kommt, dass Membranpumpen üblicherweise nur bis etwa 40°C Umgebungstemperatur betrieben werden können und auch bezüglich der Temperatur des Fördergases eingeschränkt sind beziehungsweise hohe Kosten entstehen, wenn eine höhere Temperaturbeständigkeit gefordert wird. Drehschieberpumpen weisen ein relativ hohes Gewicht auf, so dass eine Integration in das Gehäuse des Analysators schwer möglich ist. Beide Pumpenarten benötigen regelmäßige Wartung und unterliegen einem erhöhten Verschleiß.

[0010] Aus diesem Grund wird in der DE 10 2006 005 901 ein Analysator vorgeschlagen, bei dem die Förderung des Gases mittels einer Saugstrahlpumpe durchgeführt wird, die weitestgehend wartungsfrei arbeitet, da sie keine beweglichen Teile aufweist. Die Regelung des Förderdrucks erfolgt über in der Förderleitung angeordnete Regelventile.

[0011] Nachteilig an einer solchen Regelung ist jedoch der erhöhte Treibgasverbrauch, da gegen den Widerstand der Drossel in der Förderleitung gefördert werden muss, so dass immer ein hoher Treibgasdruck anliegen muss.

[0012] Daher stellt sich die Aufgabe, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorption zu schaffen, mit der die Messergebnisse im Vergleich zu bekannten Ausführungen weiter verbessert werden, indem Druckschwankungen in der Analysezelle minimiert werden. Die Vorrichtung soll möglichst einfach aufgebaut und wartungsarm sein. Gleichzeitig sollen der Verbrauch an benötigtem Treibgas und damit die vorhandenen Betriebskosten möglichst gering gehalten werden.

[0013] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie mit den Merkmalen des Hauptanspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit einer derartigen Vorrichtung gemäß Hauptanspruch 10 gelöst.

[0014] Dadurch, dass in einer zu einem Treibgasanschluss der Saugstrahlpumpe führenden Treibgasleitung ein Regelventil angeordnet ist, über das der Druck in der Treibgasleitung einstellbar ist, wird der Druck in der Analysezelle durch Änderung des Treib-

gefälles des Treibgases an der Düse eingestellt. Bezüglich des Verfahrens bedeutet dies, dass der Treibdruck in der Treibgasleitung und der Treibdüse der Saugstrahlpumpe in direkter Abhängigkeit des Förderdrucks in der Analysezelle oder der Förderleitung geregelt wird. Daraus folgt, dass das Fördergas nicht gegen einen Widerstand gefördert werden muss, wodurch der Druckluftverbrauch gesenkt wird, da immer nur die Menge an Druckluft entnommen wird, die tatsächlich zur Erzeugung des geforderten Druckgefälles benötigt wird.

[0015] Vorzugsweise ist das Regelventil ein Proportionalventil, welches den Treibdruck in der Treibgasleitung in direkter Abhängigkeit vom Förderdruck in der Förderleitung stromabwärts der Analysezelle oder vom Druck in der Analysezelle regelt. Dies bedeutet, dass mit sich verringerndem Unterdruck in der Förderleitung ein höherer Treibdruck in der Treibgasleitung erzeugt wird. Bei einer derartigen Ausführung sind keine zusätzlichen Bauteile oder Messapparaturen erforderlich. Nach einmaliger Kalibrierung stellt sich bei unveränderten Randbedingungen ein stationärer Zustand ein. Auf zusätzliche Messungen kann verzichtet werden, da durch die proportionale Regelung unmittelbar auf eine Änderung des Drucks in der Förderleitung mit einer entsprechenden Änderung des Drucks in der Treibgasleitung reagiert wird, der zur gewünschten Druckänderung auf den Nenn- druck in der Förderleitung führt.

[0016] Eine besonders einfache und vorteilhafte Anbindung ergibt sich, wenn das Proportionalventil ein pneumatisches Ventil ist, welches eine Steuerkammer aufweist, die mit der Förderleitung fluidisch verbunden ist. Entsprechend wird der Förderdruck in der Förderleitung in die Steuerkammer des Proportionalventils in der Treibgasleitung geleitet. Durch entsprechende Auslegung des Ventils kann dann beispielsweise eine Erhöhung des absoluten Drucks in der Förderleitung zur Folge haben, dass das Regelventil die Treibgasleitung weiter öffnet, so dass der entstehende Unterdruck an der Saugstrahlpumpe größer wird, wodurch der Absolutdruck in der Förderleitung wieder fällt beziehungsweise der Unterdruck steigt. Zusätzliche Bauteile zur Messung und Regelung sind nicht erforderlich.

[0017] Auch wäre es vorteilhaft, stromabwärts der Analysezelle in der Förderleitung oder in der Analysezelle einen Drucksensor anzuordnen. Ein solcher Sensor kann entweder direkt zur Regelung eines anders gearteten Regelventils oder zur Überwachung oder Kalibrierung des Proportionalventils genutzt werden. Eine solche Anordnung erhöht die Sicherheit der Messungen und vermeidet Fehler.

[0018] In einer hierzu weiterführenden Ausführungsform ist der Drucksensor mit einer Steuereinheit des Regelventils verbunden, welche eine Stellung

des Regelventils in Abhängigkeit der Messwerte des Drucksensors regelt. Somit wird der Förderdruck in der Förderleitung gemessen und die Messwerte werden einer Steuereinheit eines in der Treibgasleitung angeordneten Regelventils zugeführt, wobei das Regelventil in Abhängigkeit dieser Druckwerte angesteuert wird. Bei einer solchen Ausführung kann der Druck in der Förderleitung auf einen beliebigen Sollwert geregelt werden und entsprechend je nach verwendetem Probengas ein optimierter Druck eingestellt werden. Des Weiteren ist eine sehr genaue Regelung möglich, welche vollständig unabhängig von allen Randbedingungen ist.

[0019] Vorzugsweise weist die Vorrichtung einen Probengasanschluss und einen Referenz- oder Spülgasanschluss auf, die wahlweise mit der Förderleitung stromaufwärts der Analysezelle verbindbar sind. Durch eine solche Ausführung kann eine einzelne Saugstrahlpumpe sowohl zur Förderung eines Referenzgasstroms als auch zur Förderung des Proben-gasstromes verwendet werden, so dass Bauteile eingespart werden.

[0020] In einer hierzu weiterführenden vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist in der Förderleitung eine Verzweigung ausgebildet, in der ein Umschaltventil angeordnet ist, über das die Förderleitung wahlweise mit dem Probengasanschluss oder dem Referenz- oder Spülgasanschluss fluidisch verbindbar ist. So kann über ein einzelnes Ventil zwischen den beiden Anschlüssen umgeschaltet werden, wodurch erneut die Anzahl der Bauteile minimiert wird und so Kosten eingespart werden.

[0021] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn in der Förderleitung stromaufwärts der Analysezelle eine Düse angeordnet ist. Diese dient zur Begrenzung eines maximalen Volumenstroms.

[0022] Vorzugsweise ist die Infrarotstrahlungsquelle ein Quantenkaskadenlaser, mit dem besonders genaue Messungen von Stoffen wie Sickoxiden oder Ammoniak möglich.

[0023] Es wird somit eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Konzentration eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie geschaffen, mit der die Konzentration und Anwesenheit eines Gases mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit festgestellt werden kann, indem Druckschwankungen und Pulsationen zuverlässig vermieden werden. Der Aufbau ist einfach und wartungsarm.

[0024] Ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie ist in den Figuren anhand eines Quantenkaskadenlasers

dargestellt und wird nachfolgend in Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben. Die Betriebskosten sind durch die Reduzierung des Treibgasverbrauchs gering.

[0025] Die Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration eines Gases in einem Probengasstrom in Draufsicht.

[0026] Die Fig. 2 zeigt eine Prinzipdarstellung des Probengasstroms mit einer Saugstrahlpumpe in vergrößerter Darstellung.

[0027] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Quantenkaskadenlaserabsorptionsspektrometer ausgeführt. Dieser besteht aus einem Gehäuse **10**, in dem ein aus Halbleiterschichten aufgebauter Quantenkaskadenlaser **12** als Infrarotstrahlungsquelle angeordnet ist, der entweder kontinuierlich oder gepulst betrieben werden kann und insbesondere im mittleren Infrarotbereich Strahlung emittiert. Dieser wird über einen Stromtreiber **14** angesteuert und mittels eines in dieser Ansicht nicht erkennbaren Peltier-Elementes gekühlt.

[0028] Der Strahl des Lasers **12** wird über mehrere Spiegel **18** in einen Raum **20** einer Analysezelle **16** oder alternativ über die Spiegel **18** direkt zu einem Detektor **22** geleitet, welcher beispielsweise ein MCT (Quecksilber-Cadmium-Tellurid)-Detektor sein kann, der besonders für die photovoltaische Detektion im mittleren Infrarotbereich geeignet ist und bei dem ein auftreffender Lichtquant direkt in einen messbaren Photostrom umgesetzt wird. Im Raum **20** wird dieser Strahl mehrfach an Objekt- oder Feldspiegeln **24** reflektiert und durchdringt dabei ein in den Raum **20** gefördertes Probengas. Dies führt in bestimmten Frequenzbereichen des gesendeten Lichtbandes zu einer Absorption des Strahls, welche charakteristisch für die Anwesenheit und Konzentration bestimmter Moleküle ist. Nachdem der Strahl mehrfach an den Objekt- oder Feldspiegeln **24** reflektiert wurde, verlässt er die Analysezelle **16** wieder und wird erneut über folgende Spiegel **26** dem Detektor **22** zugeführt.

[0029] Das vom Detektor **22** gemessene optische Frequenzband weist durch die absorbierte Strahlung Lücken auf, deren Größe und Tiefe ein Maß für die Konzentration des diesen Frequenzbereich absorbierenden Gases ist. Die entsprechende Umrechnung erfolgt in bekannter Weise in einer Recheneinheit **28** über das Lambert-Beer-Gesetz. Die ausgesendete Wellenlänge des Lasers **12** kann dabei so eingestellt werden, dass selektiv der Absorptionsbereich einer bestimmten Absorptionslinie der Gaskomponente abgefahren werden kann, wodurch Querempfindlichkeit

ten zu anderen Gaskomponenten vermieden werden. So treten bei der Anwesenheit von Ammoniak beispielsweise Lücken im Wellenlängenbereich von etwa 10 µm auf.

[0030] Zu beachten ist jedoch, dass eine zuverlässige Messung nur bei einer korrekten Abstimmung zwischen der Weglänge des Strahls und der zu erwartenden Konzentration des zu messenden Moleküls im Probengasstrom möglich ist, so dass entweder mit einem unverdünnten oder einem verdünnten Probengasstrom gearbeitet werden muss.

[0031] Insbesondere ist es erforderlich, die Messbedingungen konstant zu halten. Dabei ist neben einer konstanten Temperatur vor allem darauf zu achten, dass der Druck in der Analysezelle **16** konstant gehalten wird und möglichst während der Messung keine Druckschwankungen auftreten. Um dies sicher zu stellen, erfolgt erfindungsgemäß die Probengasförderung mittels einer Saugstrahlpumpe **30**, durch die der Probengasstrom in den Raum **20** gesaugt wird. Hierzu weist die Vorrichtung einen Probengasanschluss **32** auf, der beispielsweise mit einer Abgasquelle verbunden wird. Das Abgas gelangt entweder unverdünnt oder in einem festen Verhältnis mit einem bekannten Stoff verdünnt in eine Förderleitung **34**. Diese Förderleitung **34** führt über eine Düse **36**, mittels derer ein maximal möglicher Volumenstrom von beispielsweise 1 l/min festgelegt wird, zu einem Einlass **38** der Analysezelle **16** und so in den Raum **20** der Analysezelle **16**. Der Probengasstrom verlässt den Raum **20** wieder über einen Auslass **40**, der mit einem zweiten Abschnitt der Förderleitung **34** verbunden ist. Das Ende dieser Förderleitung **34** ist mit einem Sauganschluss **42** der Saugstrahlpumpe **30** verbunden, wie sie in **Fig. 2** dargestellt ist.

[0032] Die Saugstrahlpumpe **30** weist neben dem Sauganschluss **42** einen Treibgasanschluss **44** und einen Auslass **46** auf. Der Treibgasanschluss **44** ist über eine Treibgasleitung **48** mit einer Druckluftanlage **50** verbunden, die Druckluft mit einem Druck von beispielsweise 7 bar zur Verfügung stellt. Alternativ können selbstverständlich auch Druckluftbehälter verwendet werden. Das Treibgas tritt mit entsprechend hoher Geschwindigkeit durch den Treibgasanschluss **44** in die Saugstrahlpumpe **30** und durch eine Treibdüse **52**, die zur Maximierung der Geschwindigkeit des Treibgases häufig als Lavalldüse ausgeführt wird, so dass ein hoher dynamischer Druck am Austritt der Treibdüse **52** entsteht. Durch diesen Austritt aus der Treibdüse **52** entsteht in der stromabwärtigen Mischkammer **54**, in die auch der Sauganschluss **42** der Förderleitung **34** mündet, in der Grenzschicht zwischen dem schnellen Treibgas und dem Probengas durch Reibung und Turbulenzen eine Impulsübertragung vom Treibgas auf das Probengas, welches entsprechend vom Treibgas mitgerissen wird. In der Mischkammer **54** entspannt sich das

Treibgas und mischt sich mit dem Probengasstrom, so dass der Strahl abgebremst wird. Der hohe dynamische Druck wird in statischen Druck umgewandelt. Der Probengasstrom wird durch den Treibgasstrom in der Mischkammer **54** beschleunigt. Es entsteht am Sauganschluss ein Unterdruck, durch den Probengas weiter gefördert wird. Stromabwärts der Mischkammer **54** weist die Saugstrahlpumpe **30** einen Diffusor **56** auf, durch den die Saugwirkung verstärkt wird. Das Gemisch aus Probengasstrom und Treibmittelstrom tritt anschließend über den Auslass **46** der Saugstrahlpumpe **30** aus. Dieses Mischgas wird aus der Vorrichtung abgeführt.

[0033] Die Saugwirkung und somit der Sollwert des Unterdrucks am Sauganschluss **42**, der im vorliegenden Fall beispielsweise etwa 200 hPa betragen soll, wird erfindungsgemäß dadurch geregelt, dass die Geschwindigkeit des Treibgases und somit der auf den Probengasstrom wirkende Treibdruck durch Drosselung der Treibgasleitung **48** eingestellt wird. Dies erfolgt mittels eines in der Treibgasleitung **48** angeordneten Regelventils **60**, welches im Ausführungsbeispiel als Proportionalventil ausgeführt ist. Ein Proportionalventil ist ein elektropneumatisches Ventil, dessen Stellung einerseits von der Bestromung einer Spule **62** des Elektromagneten und andererseits von einem in einer Steuerkammer **64** anliegenden Druck abhängt. Die Steuerkammer **64** ist mit der Förderleitung **34** stromabwärts der Analysezelle **16** verbunden, so dass der Druck des Treibgasstroms direkt vom Druck des Probengasstroms in der Förderleitung **34** abhängt. Ist nun ein Solldruckwert von 200 hPa in der Förderleitung **34** eingestellt, ist es durch Auslegung des Proportionalventils **60** möglich, dessen Bestromung so zu wählen, dass bei einem geringeren Absolutdruck in der Förderleitung **34** das Proportionalventil **60** den freien Querschnitt weiter schließt, so dass der Treibdruck geringer wird und somit der Druck in der Förderleitung **34** steigt und umgekehrt. Hierzu ist das Regelventil **60** entsprechend zu kalibrieren, so dass sich als stationärer Zustand immer der Zustand des gewünschten Druckes in der Förderleitung **34** einstellt.

[0034] In der **Fig. 2** ist eine alternative Ausführung in gestrichelten Linien dargestellt. In dieser Ausführung ist in der Förderleitung **34** ein Drucksensor **66** angeordnet, der den Druck in der Förderleitung **34** misst und der mit einer Steuereinheit **68** des Regelventils **60**, das in diesem Fall beispielsweise als reines Elektromagnetventil ausgebildet ist, elektrisch verbunden ist, so dass die Bestromung entsprechend der Druckwerte des Drucksensors **66** eingestellt wird. So wird beispielsweise bei zu hohem Absolutdruck in der Förderleitung **34** und damit zu geringem Unterdruck die Bestromung zur weiteren Öffnung des Ventilquerschnitts des Regelventils **60** durch entsprechende Signale der Steuereinheit **68** verstärkt, wo-

durch der Treibgasstrom erhöht wird und damit der Unterdruck in der Förderleitung **34** verstärkt wird.

[0035] Bei beiden Ausführungen wird der Druck in der Förderleitung **34** und damit in der Analysezelle **16** durch Änderung des Treibgasdrucks geregelt. Hierdurch wird immer nur die zur gewünschten Fördermenge notwendige Menge an Treibgas benötigt. Entsprechend wird der Treibgasstrom und damit Treibdruck in der Treibgasleitung **48** der Saugstrahlpumpe **30** immer in direkter Abhängigkeit zum Proben-gasstrom beziehungsweise dem Förderdruck in der Analysezelle **16** beziehungsweise der Förderleitung **34** geregelt.

[0036] Neben dieser Förderung eines Probengases über den Probengasanschluss **32** weist die Vorrichtung die Möglichkeit auf, über einen Referenz- oder Spülgasanschluss **70**, einen Spülgasstrom oder einen Referenzgasstrom anzusaugen. Hierzu ist in der Förderleitung **34** vor der Analysezelle **16** und vor der Düse **36** eine Verzweigung **72** ausgebildet, in der ein Umschaltventil **74** angeordnet ist, mit welchem der Probengasstrom unterbrochen werden kann und stattdessen eine Verbindung zum Referenz- oder Spülgasanschluss **70** hergestellt werden kann. Über diesen Anschluss kann entweder ein Referenzgas zur Kalibrierung des Detektors **22** in die Analysezelle **16** gesaugt werden oder ein Spülgas zur Entfernung von Verunreinigungen von vorherigen Messungen, so dass nach Durchführung der Spülung das Umschaltventil **74** betätigt wird, um den Spülgasanschluss **70** zu verschließen und im Folgenden die Förderleitung **34** für den Probengasstrom freizugeben. Dieses Spülgas sollte möglichst keine Moleküle enthalten, welche bei den nachfolgenden Messungen im Probengasstrom gemessen werden sollen, so dass eine Verfälschung der Messergebnisse durch Reste des Spülgases in der Analysezelle vermieden wird.

[0037] Eine derartige Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie ist kostengünstig herstellbar und weitgehend wartungsfrei zu betreiben. Die erreichbaren Messergebnisse sind sehr exakt und reproduzierbar, insbesondere durch die zuverlässige Vermeidung von Druckstößen. Des Weiteren wird der Verbrauch an Treibgas reduziert, so dass Kosten eingespart werden. Zusätzlich ist die Vorrichtung unempfindlich gegen Kondensatausfall und kann bei hohen Temperaturen von über 50°C Umgebungstemperatur betrieben werden. Das Probengas kann dabei auch Temperaturen von 200°C aufweisen. Zur Spannungsversorgung kann ein Breitbandnetzteil Verwendung finden. Der Stromverbrauch ist gering, da die Vakuumpumpe keine Spannungsversorgung benötigt.

[0038] Es sollte deutlich sein, dass die vorliegende Erfindung nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt ist, sondern verschiedene Modifikationen innerhalb des Schutzbereichs des vorliegenden Hauptanspruchs möglich sind.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102006005901 [0010]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie mit einer Infrarotstrahlungsquelle (12), deren Strahlung durch eine Analysezeile (16) führbar ist, einem Probengasstrom, welcher durch eine Förderleitung (34) in die Analysezeile (16) und aus der Analysezeile (16) leitbar ist, einem Detektor (22), über den ein in der Analysezeile (16) entstehendes Absorptionsspektrum messbar ist, einer Saugstrahlpumpe (30), die stromabwärts der Analysezeile (16) angeordnet ist und über die Messgas durch die Analysezeile (16) und die Förderleitung (34) förderbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer zu einem Treibgasanschluss (44) der Saugstrahlpumpe (30) führenden Treibgasleitung (48) ein Regelventil (60) angeordnet ist, über das der Druck in der Treibgasleitung (48) einstellbar ist.

2. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Regelventil (60) ein Proportionalventil ist, welches den Treibdruck in der Treibgasleitung (48) in direkter Abhängigkeit vom Förderdruck in der Förderleitung (34) stromabwärts der Analysezeile (16) oder vom Druck in der Analysezeile (16) regelt.

3. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Proportionalventil (60) ein pneumatisches Ventil ist, welches eine Steuerkammer (64) aufweist, die mit der Förderleitung (34) fluidisch verbunden ist.

4. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromabwärts der Analysezeile (16) in der Förderleitung (34) oder in der Analysezeile (16) ein Drucksensor (66) angeordnet ist.

5. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drucksensor (66) mit einer Steuereinheit (68) des Regelventils (60) verbunden ist, welche eine Öffnungstellung des Regelventils (60) in Abhängigkeit der Messwerte des Drucksensors (66) regelt.

6. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach einem

der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung einen Probengasanschluss (32) und einen Referenz- oder Spülgasanschluss (70) aufweist, die wahlweise mit der Förderleitung (34) stromaufwärts der Analysezeile (16) verbindbar sind.

7. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Förderleitung (34) eine Verzweigung (72) ausgebildet ist, in der ein Umschaltventil (74) angeordnet ist, über das die Förderleitung (34) wahlweise mit dem Probengasanschluss (32) oder dem Referenz- oder Spülgasanschluss (70) fluidisch verbindbar ist.

8. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Förderleitung (34) stromaufwärts der Analysezeile (16) eine Düse (36) angeordnet ist.

9. Vorrichtung zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Infrarotstrahlungsquelle (12) ein Quantenkaskadenlaser ist.

10. Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie mittels einer Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Strahlung einer Infrarotstrahlungsquelle (12) in eine Analysezeile (16) geleitet wird, die von einem Probengasstrom, der mittels einer Saugstrahlpumpe (30) über eine Förderleitung (34) angesaugt wird, durchströmt wird, woraufhin mittels eines Detektors (22) ein Absorptionsspektrum der aus der Analysezeile (16) austretenden Strahlung ermittelt wird und in einer Recheneinheit (28) aus dem Absorptionsspektrum die Konzentration eines Gases im Probengasstroms berechnet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Treibdruck in der Treibgasleitung (48) und der Treibdüse (52) der Saugstrahlpumpe (30) in direkter Abhängigkeit des Förderdrucks in der Analysezeile (16) oder der Förderleitung (34) geregelt wird.

11. Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit sich verringerndem Unterdruck in der Förderleitung (34) ein höherer Treibdruck in der Treibgasleitung (48) erzeugt wird.

12. Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Förderdruck in der Förderleitung (34) in eine Steuerkammer (64) eines Proportionalventils (60) in der Treibgasleitung (48) geleitet wird.

13. Verfahren zur Bestimmung der Konzentration zumindest eines Gases in einem Probengasstrom mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie nach einem der Ansprüche 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Förderdruck in der Förderleitung (34) gemessen wird und die Messwerte einer Steuereinheit (68) eines in der Treibgasleitung (48) angeordneten Regelventils (60) zugeführt werden, wobei das Regelventil (60) in Abhängigkeit dieser Druckwerte angesteuert wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

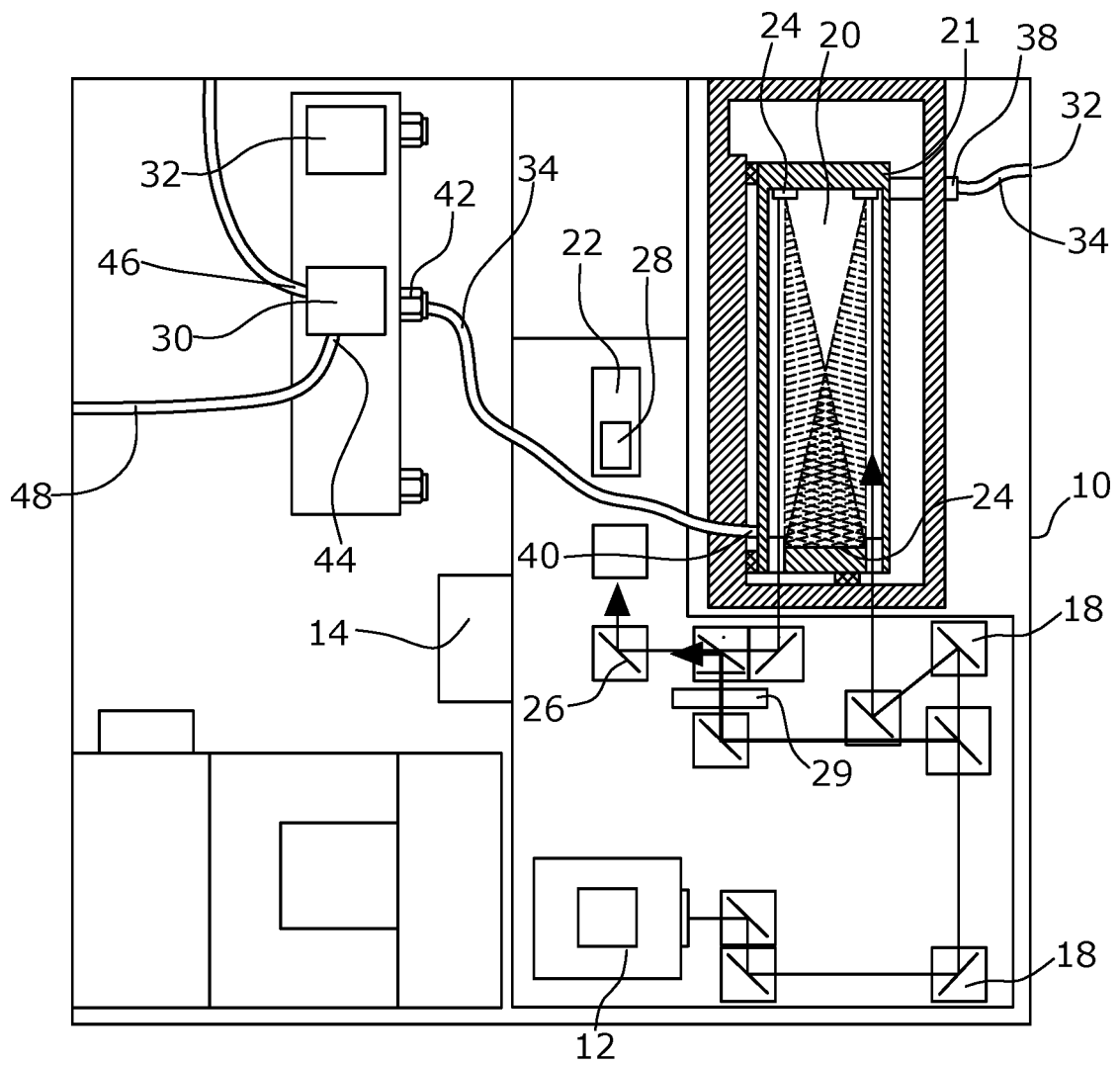


Fig.1

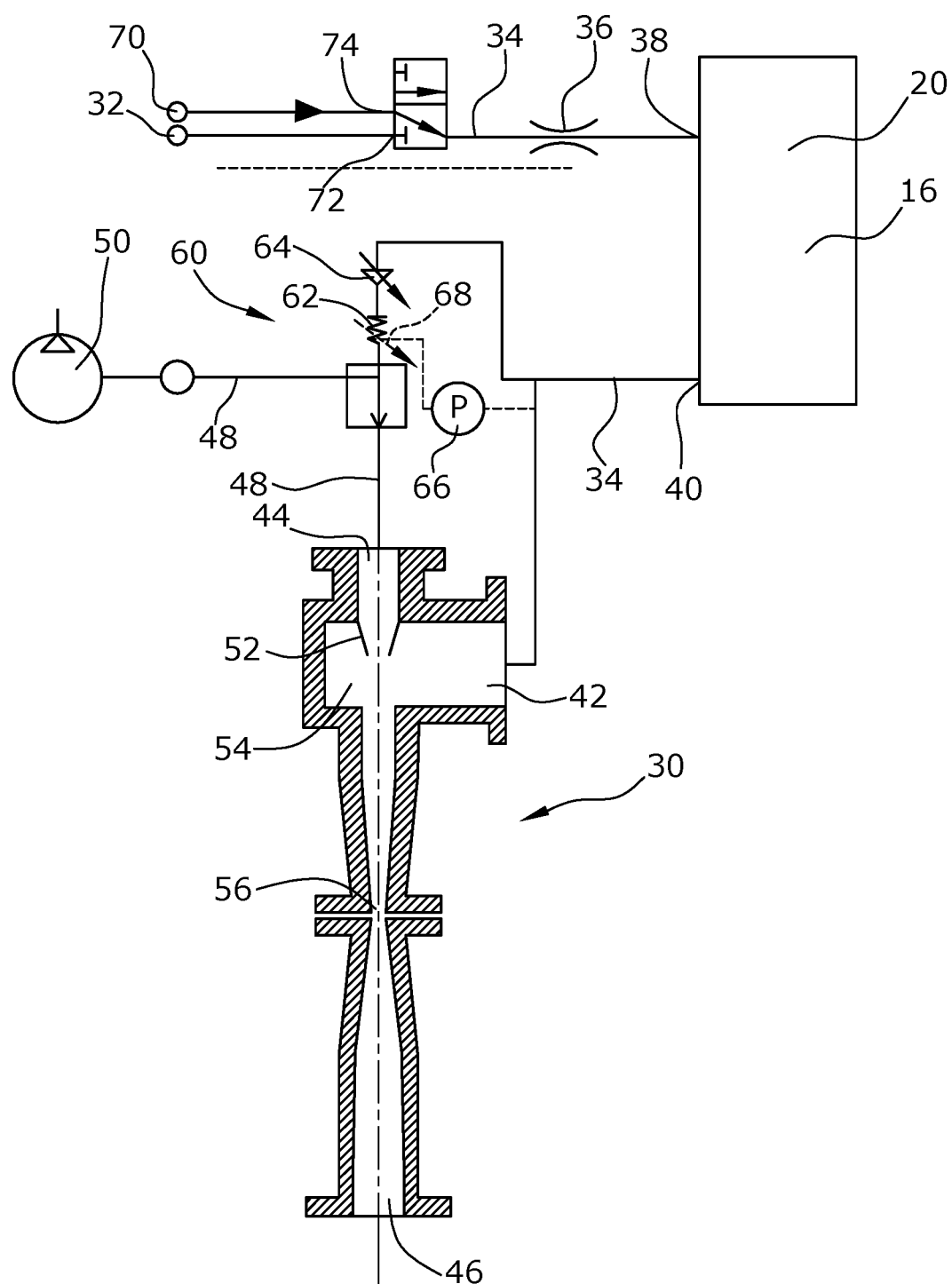


Fig.2