



(10) **DE 10 2019 114 698 B3** 2020.09.17

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 114 698.4**  
(22) Anmeldetag: **31.05.2019**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **17.09.2020**

(51) Int Cl.: **G01N 21/00 (2006.01)**  
**G01L 11/02 (2006.01)**  
**G01N 9/24 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch  
das Bundesministerium für Wirtschaft und  
Energie, dieses vertreten durch den Präsidenten  
der Physikalischen Bundesanstalt, 38116  
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:  
**Rubin, Tom, 12163 Berlin, DE**

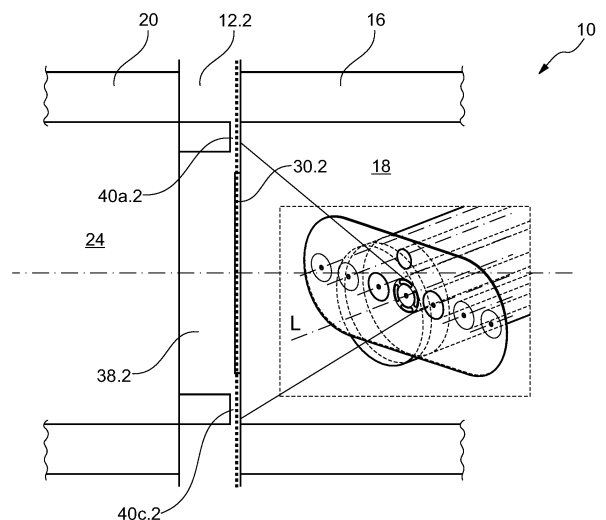
(74) Vertreter:  
**Gramm, Lins & Partner Patent- und  
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,  
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>GB</b>	<b>2 568 524</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>2017 / 0 082 514</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 218 428</b>	<b>A</b>
<b>CN</b>	<b>105 971 582</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Gaseigenschaftsmessgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Gaseigenschaftsmessgerät (10) mit (a) einem ersten Spiegelträger (12.1), der eine erste Spiegelfläche (14.1) hat, (b) einem zweiten Spiegelträger (12.2), der eine zweite Spiegelfläche (14.2) hat, und (c) zumindest einem Abstandshalter (16), der den ersten Spiegelträger (12.1) mit dem zweiten Spiegelträger (12.2) so verbindet, dass zwischen den Spiegelträgern (12) ein Messraum (18) gebildet ist, wobei der Abstandshalter (16) den Messraum (18) gasdicht begrenzt. Erfindungsgemäß vorgesehen sind (d) eine erste Druckausgleichskammer, wobei der erste Spiegelträger (12.1) zwischen der ersten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter (16) angeordnet ist, und (e) eine zweite Druckausgleichskammer, wobei der zweite Spiegelträger (12.2) zwischen der zweiten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter (16) angeordnet ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Gaseigenschaftsmessgerät mit (a) einem ersten Spiegelträger, der eine erste Spiegelfläche hat, (b) einen zweiten Spiegelträger, der eine zweite Spiegelfläche hat, und (c) zumindest einem Abstandshalter, der den ersten Spiegelträger mit dem zweiten Spiegelträger so verbindet, dass zwischen den Spiegelträgern ein Messraum gebildet ist. Der Abstandshalter begrenzt den Messraum vorzugsweise gasdicht, wobei hierunter verstanden wird, dass der Abstandshalter eine Wand um den Messraum bildet, die gasdicht ist. Selbstverständlich kann der Abstandshalter Zuströmöffnungen aufweisen, damit Gas in den Messraum ein- und ausströmen kann.

**[0002]** Gaseigenschaftsmessgeräte werden beispielsweise verwendet, um den Gasdruck, die Gas-temperatur, die Dichte des Gases und/oder dessen Refraktivität zu messen. Ein wichtiges Einsatzgebiet derartiger Gaseigenschaftsmessgeräte ist die rückgeführte Messung zumindest einer der oben genannten Eigenschaften. Ein Ziel für das Gaseigenschaftsmessgerät ist eine möglichst geringe Messunsicherheit.

**[0003]** Eine geringe Messunsicherheit ist insbesondere dann schwer zu erreichen, wenn die Gaseigenschaft der Druck ist. Der Grund dafür ist, dass das unter Druck stehende Gas stets das Gaseigenschaftsmessgerät zumindest in Teilen deformiert. Diese Deformation führt in aller Regel zu einer Beeinflussung des Messergebnisses, weil das Kompensieren dieses Effektes schwierig ist. Der Grund dafür ist, dass die Deformation vom Gasdruck abhängt, der selbst gemessen werden soll.

**[0004]** Aus der US 5 218 428 A ist ein Eigenschaftsmessgerät für Flüssigkeiten, insbesondere Benzin, bekannt, bei dem der Messstrahl aufgespalten wird in einen Strahl, der durch ein Referenzmedium verläuft, und einen Strahl, der durch die zu untersuchende Flüssigkeit verläuft.

**[0005]** Aus der CN105971582A sind ein Messverfahren und eine Vorrichtung für ein LWD-Spektrometer zur Messung der Öl- und Gaszusammensetzung bekannt. Es enthält einen Parabolspiegel, der die Lichtquelle kollimiert, und verfügt über folgende Besonderheiten: eine Messgaskammer und eine Referenzgaskammer, einen Detektor mit vier unabhängigen thermoelektrischen Einheiten und einem Temperatursensor sowie eine Referenzgaskammer, die automatisch unter dem Spiegel abgeglichen werden kann. Gleichgewichtsluftkammer mit Probeluftkammerdruck, mit verschiebbarem Kolben in der Gleichgewichtsluftkammer. So wird eine hohe Analysegeschwindigkeit erreicht und es werden keine Proben im Analyseprozess verbraucht. Das Gerät wird bei-

spielsweise zur Verbesserung der Effizienz der Öl- und Gasfelddetektion eingesetzt.

**[0006]** In der US 2017 / 0082514 A1 wird ein optischer Drucksensor beschrieben, der aus einem Sensorgehäuse und einer optischen Druckzelle besteht, die innerhalb des Sensorgehäuses montiert ist und das Sensorgehäuse in einen ersten Fluidraum und einen zweiten Fluidraum unterteilt. Die optische Druckzelle umfasst eine Vorderseite, die einem Druck im ersten Fluidraum ausgesetzt ist, und eine Rückseite, die einem Druck im zweiten Fluidraum ausgesetzt ist. Der optische Drucksensor umfasst ferner eine Fluid-Kommunikationsanordnung, die einen Druckausgleich zwischen dem Druck in dem ersten Fluidraum auf der Vorderseite und dem Druck in dem zweiten Fluidraum auf der Rückseite der optischen Druckzelle ermöglicht.

**[0007]** Die GB 2 568 524 A beschreibt einen Drucksensor, der aus einem Gehäuse mit einer Kammer und einem Druckübertragungselement, wie z.B. einer flexiblen Membran oder Blende, zum Druckausgleich zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Kammer besteht. Die Kammer enthält ein nicht komprimierbares Fluid, eine optische Faser, von der ein Teil in der Kammer eingeschlossen ist, mit einem Kern, einen optischen Sensor entlang des Kerns und eine Ummantelung um den Kern herum. Die Ummantelung ist so geformt, dass ein äußerer Druck, der durch das nicht komprimierbare Fluid innerhalb der Kammer erzeugt wird, in eine anisotrope Spannung im optischen Sensor umgewandelt wird.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die Messung von Gaseigenschaften, insbesondere die Messung des Gasdrucks, zu verbessern.

**[0009]** Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Gaseigenschaftsmessgerät, das eine erste Druckausgleichskammer und eine zweite Druckausgleichskammer aufweist, wobei der erste Spiegelträger zwischen der ersten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter angeordnet ist und wobei der zweite Spiegelträger zwischen der zweiten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter angeordnet ist.

**[0010]** Vorteilhaft an diesem Gaseigenschaftsmessgerät ist, dass die Druckausgleichskammern dazu führen, dass auf die Spiegelfläche bei einer Gasdruckänderung auf Vorderseite und Rückseite die gleiche Kraft wirkt. Auf diese Weise kommt es zu keiner Verbiegung des Spiegelträgers bzw. Spiegels. Wird die Gaseigenschaft durch Bestimmen des optischen Weges, den ein Laserstrahl durch den Messraum zurücklegt, bestimmt, was eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung darstellt, so führt eine Verbiegung der Spiegelträger bzw. der Spiegel zu einer signifikanten Änderung des optischen We-

ges und damit zu einer systematischen Messabweichung. Dadurch, dass die Verbiegung der Spiegelträger weitgehend ausgeschlossen werden kann, ergibt sich eine geringere Messunsicherheit.

**[0011]** Bei zunehmendem Druck im Messraum, werden die Spiegelträger zwar komprimiert, der Einfluss dieses Effekts auf das Messergebnis ist jedoch in der Regel um mehr als eine Größenordnung kleiner als der Effekt einer Verbiegung der Spiegelträger bzw. der Spiegel. Die Messunsicherheit kann damit deutlich reduziert werden.

**[0012]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Spiegelträger, der eine erste Spiegelfläche hat, insbesondere verstanden, dass diese Spiegelfläche so ausgebildet ist, dass sie Reflektivitäten für Licht aus vorgegebenen Wellenlängenintervallen von zumindest 99,3 % aufweist.

**[0013]** Unter dem Merkmal, dass der Abstandshalter den Messraum gasdicht begrenzt, wird insbesondere verstanden, dass bei einer Druckdifferenz von 1 bar zur Umgebung während einer Messdauer von einer Minute höchstens 1 ppm des verwendeten Gases durch Ausgasung oder Permeation durch den Abstandshalter den Messraum des Gaseigenschaftsmessgerätes verlässt. Besonders bevorzugt ist der Abstandshalter heliumdicht und/oder wasserstoffdicht. Das bedeutet, dass auch für das entsprechende Gas die oben angegebenen Grenzen für das Ausgasen und/oder die Permeation während der Messzeit gilt. Unter dem Merkmal, dass der erste Spiegelträger zwischen der ersten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter angeordnet ist, wird insbesondere verstanden, dass eine Fluidverbindung zwischen dem Messraum und der Druckausgleichskammer besteht, sodass in der Druckausgleichskammer und im Messraum stets der gleiche Druck herrscht. Zusätzlich ist der Spiegelträger so zwischen der ersten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter angeordnet, dass eine Druckerhöhung im Messraum dazu führt, dass eine Kraft auf eine dem Messraum zugewandte Seite des Spiegelträgers stets genauso groß ist wie eine Kraft, die auf die dem Messraum abgewandte Seite des Spiegelträgers wirkt. In anderen Worten ist der erste Spiegelträger so zwischen der ersten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter angeordnet, dass eine Druckerhöhung im Messraum zu keiner durch eine Druckdifferenz bewirkten Verbiegung des Spiegelträgers führt. Die gleichen Eigenschaften gelten für den zweiten Spiegelträger in Bezug auf die zweite Druckausgleichskammer und den Abstandshalter.

**[0014]** Besonders günstig ist es, wenn der Abstandshalter zylindermantelförmig ist. Alternativ oder zusätzlich kann der Abstandshalter quaderförmig oder kegelförmig sein. Vorzugsweise ist der Messraum zylinderrförmig. Zu dem Merkmal, dass der Abstand-

shalter zylindermantelförmig ist, wird insbesondere verstanden, dass er sich entlang eines gedachten Zylindermantels erstreckt. Es ist dabei möglich, dass die Form des Abstandshalters, insbesondere auf einer dem Messraum abgewandten Seite, von der Zylindermantelform abweicht. Maßgeblich für das Vorliegen des Merkmals, dass der Abstandshalter zylindermantelförmig ist bzw. dass der Messraum zylinderrförmig ist, ist lediglich, dass etwaige Abweichungen von der jeweiligen Idealform so klein sind, dass sie die Messunsicherheit um höchstens den Faktor 2 verringern.

**[0015]** Vorzugsweise sind die erste Spiegelfläche und die zweite Spiegelfläche so zueinander ausgerichtet, dass sie einen Resonanzraum für einen Laser bilden.

**[0016]** Vorzugsweise besteht der Abstandshalter aus einem Glas, das bei 20°C einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von höchstens  $5,5 \times 10^{-6}$  pro Kelvin, vorzugsweise höchstens  $0,5 \times 10^{-6}$  pro Kelvin, hat. Beispielsweise ist der Abstandshalter aus ULE-Glas oder Zerodur aufgebaut. Diese Materialien verfügen allerdings über keine gute Wärmeleitung und keine hohe Materialfestigkeit, weshalb eine weitere bevorzugte Ausführungsform aus kristallinen Materialien, wie Saphir, Invar oder Silizium aufgebaut ist.

**[0017]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird die erste Druckausgleichskammer, die auch als Druckkammer bezeichnet werden könnte, von einem ersten Distanzelement mit einem ersten Deckel begrenzt. Das erste Distanzelement und/oder der erste Deckel bestehen vorzugsweise aus dem gleichen Material wie der Abstandshalter. Auf diese Weise werden temperaturbedingte Spannungen und damit Deformationen vermieden.

**[0018]** Alternativ oder zusätzlich wird die zweite Druckausgleichskammer von einem zweiten Distanzelement und einem zweiten Deckel begrenzt. Vorzugsweise bestehen das zweite Distanzelement und/oder der zweite Deckel aus dem gleichen Material wie der Abstandshalter und Spiegelträger. Handelt es sich bei dem Material, aus dem Abstandshalter, Spiegelträger, Spiegel, Distanzelemente und Deckel bestehen, um kein isotropes Material, so hat das Material bei einer bevorzugten Ausführungsform beim Abstandshalter, Spiegelträger, Spiegel, Distanzelemente und Deckel jeweils die gleiche Orientierung hinsichtlich der Kristallachsen. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass die außerordentlichen Achsen der Bauteile keinen Winkel aufspannen, der mehr als 10°, insbesondere 2° beträgt. Dies hat den Vorteil, dass beispielsweise bei einer Temperaturänderung der Bauteile keine Verspannungen aufgrund orientierungsabhängig unterschiedlicher Temperaturendehnungen entstehen.

**[0019]** Die Druckkammern und der Abstandshalter bilden vorzugsweise einen gasdichten Behälter. Der Behälter kann mittels zumindest einer Zuströmöffnung be- und entlüftet werden.

**[0020]** Günstig ist es, wenn die zumindest eine Zuströmöffnung quer, insbesondere senkrecht, zur Längsachse des Abstandshalters verläuft. Vorzugsweise verläuft die zumindest eine Zuströmöffnung spiegelsymmetrisch zur Ebene, über welche der Abstandshalter bezüglich der Längsachse halbiert wird.

**[0021]** Vorzugsweise sind die Spiegelträger und der Abstandshalter in einem evakuierbaren Gehäuse angeordnet. In diesem Fall herrscht im Messraum vorzugsweise der zu messende Druck. Um den Abstandshalter herum herrscht Vakuum. Alternativ herrscht im Messraum Vakuum und um den Abstandshalter herum der zu messende Druck.

**[0022]** Beim Vergleich zweier Gaseigenschaften, beispielsweise Refraktivitäten unterschiedlicher Gase oder Gasgemische, befindet sich ein Gas oder Gasgemisch im Messraum und das andere Gas oder Gasgemisch um den Abstandshalter herum. In gleicher Weise lässt sich bei Verwendung von Gasen oder Gasgemischen mit bekannten Refraktivitäten der Differenzdruck zwischen, dem Messraum und dem Raum um den Abstandshalter bestimmen.

**[0023]** Vorzugsweise weist der Spiegelträger ein Substrat auf, auf dem der zumindest eine Spiegel befestigt ist. Unter dem Merkmal, dass der Spiegel an dem Substrat befestigt ist, wird insbesondere verstanden, dass der Spiegel optisch kontaktiert ist, beispielsweise angesprengt wird oder durch einen chemischen Prozess kontaktiert ist, beispielsweise angeschmolzen oder angeklebt, in der Weise, dass die für die Messung durch das Substrat zu transmittierenden Laserstrahlen beim Passieren der Kontaktfläche nicht um jeweils mehr als die Hälfte abgeschwächt werden.

**[0024]** Alternativ ist am Spiegelträger eine spiegelnde Oberfläche ausgebildet. Das kann beispielsweise dadurch realisiert sein, dass der Spiegelträger selbst an der Spiegelfläche spiegelnd poliert ist. Außerdem oder alternativ kann der Spiegelträger eine spiegelnde Beschichtung aufweisen.

**[0025]** Günstig ist es, wenn der Spiegel und das Spiegelträgersubstrat Wärmeausdehnungskoeffizienten haben, die sich voneinander um höchstens 20 % unterscheiden.

**[0026]** Besonders günstig ist es, wenn das Substrat und der Spiegel aus dem gleichen Material bestehen. Sollte das Material nicht isotrop sein, ist es günstig, wenn die ausgezeichnete Achse bei beiden Materialien gleich orientiert ist und somit der Winkel zwi-

schen beiden Achsen dabei  $10^\circ$ , insbesondere  $2^\circ$ , nicht überschreitet. Vorzugsweise hat das Substrat eine Reflektivität von zumindest 99,3 %. Alternativ oder zusätzlich hat der Spiegel eine Reflektivität von 99,3 %.

**[0027]** Günstig ist es, wenn (a) der erste Spiegelträger (i) einen ersten Schlitz, der sich entlang einer geschlossenen Kurve, insbesondere einer Ellipse, eines Kreises oder eines Mehrecks, erstreckt, (ii) einen ersten Spiegelhalterabschnitt, der vom ersten Schlitz begrenzt wird, und (iii) zumindest drei erste Spiegelträger-Stege, die den ersten Spiegelhalterabschnitt mit dessen Umgebung verbinden, aufweist.

**[0028]** Alternativ oder zusätzlich besitzt der zweite Spiegelträger (i) einen zweiten Schlitz, der sich entlang einer geschlossenen Kurve, insbesondere einer Ellipse, insbesondere eines Kreises, oder eines Mehrecks, erstreckt, (ii) einen zweiten Spiegelhalterabschnitt, der vom zweiten Schlitz begrenzt wird, und (iii) zumindest drei Zweitspiegelträger-Stege, die den zweiten Spiegelhalterabschnitt mit dessen Umgebung verbindet.

**[0029]** Das hat den Vorteil, dass eine Biegung des Spiegelträgers nicht zu einer signifikanten Biegung des jeweiligen Spiegelhalterabschnitts führt. Auf die Spiegelhalterfläche wirkt kein Gasdifferenzdruck, weil die Druckausgleichskammern vorhanden sind. Dennoch kann es zu einer kleinen Verbiegung des Spiegelträgers kommen, da sich Kräfte teilweise auf den Spiegelträger übertragen, welche auf den Abstandshalter und/oder die Distanzelemente wirken und beispielsweise durch Temperaturänderungen, Druckänderungen des zu messenden Gases und/oder Vibrationen verursacht werden. Durch die genannte Form des Spiegelträgers ist der Bereich der Spiegelhalterfläche vom restlichen Spiegelträger mechanisch derart entkoppelt, dass von einem Biegemoment, welches auf den Spiegelträger wirkt nur ein Bruchteil auf die Spiegelhalterfläche übertragen wird. Insbesondere ist das resultierende Biegemoment auf die Spiegelhalterfläche so klein, dass sein Einfluss auf das Längenverhältnis zwischen Messkavität und Referenzkavität nicht größer ist, als der Einfluss durch die Kompression von Spiegelhalter und Spiegel.

**[0030]** Günstig ist es, wenn die Stege in axialer Richtung, also in Richtung der Längsachse des Abstandshalters, gedünnt sind. Das hat zwei Vorteile: Ein mögliches Biegemoment auf die Spiegelhalterfläche verursacht durch Abstandshalter oder Distanzelement wird weiter vermindert. Ferner gibt es bei einer Druckzunahme in der Messkammer noch den Einfluss der Kompression der Spiegelträger bzw. Spiegel auf den Abstand zwischen den Spiegelflächen. Die Kompression des Materials ist proportional zur Dicke des Materials. Der Anteil der Kompress-

sion von Spiegelträger und Spiegel, welcher zur Abstandsänderung zwischen den Spiegeloberflächen eingeht, ist proportional zur Distanz in axialer Richtung zwischen der Spiegeloberfläche und der Mitte der Spiegelträger-Stege. Diese Distanz lässt sich durch ein entsprechendes Ausdünnen der Stege in axialer Richtung minimieren, was einer optimierten Anordnung der Stegmitten bezüglich der Spiegeloberflächen entspricht.

**[0031]** Im Fall einer konkaven Spiegeloberfläche, was eine bevorzugte Ausführungsform darstellt, ist die Position der Spiegeloberfläche in axialer Richtung nicht eindeutig, lässt sich aber durch die effektive Spiegeloberfläche angeben, welche durch den mit der Intensitätsverteilung der Resonatormode gewichteten Mittelwert aller Punkte der Spiegeloberfläche bestimmt wird. Es ist möglich, dass die Schlitze durch aneinander angrenzende Bohrungen gebildet sind. Das hat den Vorteil, dass die Schlitze vergleichsweise einfach herzustellen sind, was insbesondere der Fall ist, wenn das Material, in das die Schlitze eingebracht werden sollen, spröde und/oder zäh ist. In diesem Fall ist ein Bohren in der Regel einfacher als Fräsen oder Schleifen.

**[0032]** Vorzugsweise ist der Spiegelträger, bzw. der Spiegel aus einem Material aufgebaut, dessen Elastizitätsmodul zumindest 60 GPa beträgt, da eine Druckänderung im Messraum oder der Umgebung zu kleineren Deformation des Spiegelträgers führt, je größer der Modul ist.

**[0033]** Günstig ist es, wenn ein Abstandshalterdickenquotient aus einem Abstandshalter-Außendurchmesser eines Abstandshalter-Umzylinders um den Abstandshalter als Zähler und einem Innendurchmesser des Messraum-Umzylinders des Messraums zumindest 3 beträgt. Der Umzylinder ist derjenige Zylinder minimalen Volumens, der eine vorgegebene Struktur umgibt. Der Umzylinder könnte daher auch als Hüllzylinder bezeichnet werden. Durch den großen Abstandshalterdickenquotienten ist gewährleistet, dass eine Wandstärke des Abstandshalters so groß ist, dass Druckänderungen eines Gases im Messraum den Abstandshalter nur sehr wenig deformieren. Dadurch sinkt die Messunsicherheit.

**[0034]** Günstig ist es, wenn der Abstandshalter über umliegende Anti-Druckkammern verfügt, welche symmetrisch zur Messkammer angeordnet sind und in axialer Richtung, also in Richtung der Längsachse des Abstandshalters, parallel zur Messkammer verlaufen. Wird der Druck in der Messkammer verringert, so ist der Druck in den umliegenden Anti-Druckkammern entsprechend zu erhöhen, sodass die Summe aller Kräfte in axialer Richtung auf die Spiegelträger verursacht durch das Gas im Messraum und durch das Gas in den umliegenden Anti-Druckkammern konstant bleibt, unabhängig von dem Druck im

Messraum. Sind beispielsweise die Querschnittsfläche des Messraums und die addierten Querschnittsflächen der umliegenden Anti-Druckkammern gleich, so muss lediglich die Summe aus Druck im Messraum und Druck in den umliegenden Anti-Druckkammern konstant gehalten werden, damit sich die Länge des Abstandshalters möglichst nicht mit dem Druck in der Messkammer ändert.

**[0035]** Günstig ist es, wenn der erste Spiegelträger eine dritte Spiegelfläche hat und der zweite Spiegelträger eine vierte Spiegelfläche hat, die mit der dritten Spiegelfläche einen ersten Kontroll-Resonator für einen Kontroll-Laserstrahl bilden.

**[0036]** Vorzugsweise hat der erste Spiegelträger eine fünfte Spiegelfläche und/oder der zweite Spiegelträger eine sechste Spiegelfläche. Die sechste Spiegelfläche bildet vorzugsweise mit der fünften Spiegelfläche einen zweiten Kontroll-Resonator für einen zweiten Kontroll-Laserstrahl bilden. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass dieser Kontroll-Resonator mit Gas befüllbar ist.

**[0037]** Der erste Kontroll-Resonator und/oder der zweite Kontroll-Resonator können dazu dienen, die relative Position der Spiegelträger zu einander sowie mögliche Verformungen der Spiegelträger zu detektieren und somit den Abstand zwischen den beiden Spiegeloberflächen im Messraum zu bestimmen.

**[0038]** Vorzugsweise umfasst das Gaseigenschaftsmessgerät ein Lasersystem, das ausgebildet ist zum Abgeben eines Mess-Laserstrahls in den Messraum. Insbesondere wird der Mess-Laserstrahl so abgegeben, dass sich im Messraum eine stehende Mode ausbildet. Besonders günstig ist es, wenn das Lasersystem ausgebildet ist zum Messen einer optischen Weglänge. Eine Strecke, die durch den Messraum verläuft. Die optische Weglänge ist das Produkt aus tatsächlicher Weglänge und dem Brechungsindex.

**[0039]** Besonders günstig ist es, wenn das Lasersystem ausgebildet ist zum Abgeben zumindest eines ersten Kontroll-Laserstrahls in den ersten Kontroll-Resonator, sodass sich eine stehende Mode ausbildet und zum Erfassen eines Schwebungsfrequenz-Signals dass einer Schwebungsfrequenz zwischen einer Messlaserstrahl-Frequenz des Mess-Laserstrahls und einer Kontrolllaserstrahl-Frequenz des Kontroll-Laserstrahls entspricht. Der Kontroll-Resonator ist dann vorzugsweise evakuiert, sodass hier optische und tatsächliche Weglänge möglichst gleich sind ( $n=1$ ).

**[0040]** Aus dieser Schwebungsfrequenz kann eine vorzugsweise vorhandene Auswerteeinheit den Druck, die Dichte, die Refraktivität und/oder die Temperatur eines Gases im Gasmessraum bestimmen.

**[0041]** Günstig ist es, wenn das Lasersystem ausgebildet ist zum Abgeben eines zweiten Kontroll-Laserstrahls in den zweiten Kontroll-Resonator, so dass sich eine stehende Mode ausbildet, und (b) zum Erfassen eines zweiten Schwebungsfrequenz-Signals, das einer zweiten Schwebungsfrequenz zwischen der Messlaserstrahl-Frequenz und einer zweiten Kontrolllaserstrahl-Frequenz des zweiten Kontroll-Laserstrahls entspricht und/oder zum Erfassen eines dritten Schwebungsfrequenz-Signals, das einer dritten Schwebungsfrequenz zwischen der ersten Kontrolllaserstrahl-Frequenz und der zweiten Kontrolllaserstrahl-Frequenz entspricht.

**[0042]** Vorteilhaft ist es, wenn das Lasersystem ausgebildet ist zum Abgeben eines zweiten Messlaserstrahls, welcher im Messraum mit dem ersten Messlaserstrahl räumlich überlappt, jedoch eine Messlaserstrahl-Frequenz besitzt, die verschieden ist zu der Messlaserstrahl-Frequenz vom ersten Messlaserstrahl sowie mit einem weiteren Kontroll-Laserstrahl, welcher von der Frequenz so dicht an dem zweiten Messlaserstrahl liegt, dass ein Schwebungsfrequenz-Signals zwischen diesen zu messen ist und in einem der Kontroll-Resonatoren mit einem der Kontrolllaserstrahlen räumlich überlappt. Mit anderen Worten kann auf diese Weise zeitgleich für zwei stark unterschiedliche Spektralbereiche jeweils mindestens eine Schwebungsfrequenz für dieselben Resonatoren gemessen werden. Diese redundant erscheinende Methode ermöglicht es, aufgrund der starken spektralen Abhängigkeit der Refraktivität mehrere Gaseigenschaften gleichzeitig zu bestimmen oder die relative Längenänderung zwischen Messresonator und Kontrollresonator aufgrund von Deformation direkt zu messen, bzw. aus den für die Berechnung der Gaseigenschaften nötigen Gleichungen zu terminieren. Ferner ermöglicht diese Methode eine höchstpräzise Messung der Dispersionsrelation indem die Refraktivität in dem einen Spektralbereich mit der Refraktivität im anderen Spektralbereich verglichen wird.

**[0043]** Die Vorzugsweise vorhandene Auswerteeinheit ist ausgebildet zum automatischen Berechnen des Drucks, der Dichte, der Reflektivität und/oder Temperatur eines Gases oder Gasgemisches im Messraum aus zumindest einem der Schwebungsfrequenz-Signale, insbesondere aus allen Schwebungsfrequenz-Signalen.  $\Delta f / f$  ist in erster Näherung gleich  $(n - 1)$

Mit:  $\Delta f$ : Schwebungsfrequenz,  $f$ : Frequenz des Referenzlasers,  $(n - 1)$ : Refraktivität. Wie hängt die Refraktivität mit den Gaseigenschaften zusammen: Der Zusammenhang zur Dichte ist gegeben durch die Lorentz-Lorenz Gleichung:

$$\rho_n = \frac{3\varepsilon_0}{\alpha} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \approx \frac{3\varepsilon_0}{\alpha} (n - 1)$$

Mit:  $\varepsilon_0$ : Elektrische Feldkonstante,  $\alpha$ : Polarisierbarkeit der Gasmoleküle. Der Zusammenhang zwischen Dichte und den weiteren Größen: Druck und Temperatur sind dann durch die Thermische Zustandsgleichung gegeben:

$$p = \rho_n k_B T \left( 1 + \rho_n B(T) + \rho_n^2 C(T) + \dots \right)$$

Mit:  $p$ : Druck,  $k_B$  Boltzmann-Konstante,  $T$  Temperatur und  $B(T)$ ,  $C(T)$ : Virialkoeffizienten.

**[0044]** Vorzugsweise erlaubt das Gaseigenschaftsmessgerät die Rückführung auf ein Frequenznormal, wobei die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Berechnen der Messlaserstrahl-Frequenz aus der gemessenen Messlaserstrahl-Frequenz durch Abgleichen mit dem Frequenznormal. Das Frequenznormal ist Teil des Gaseigenschaftsmessgeräts und beispielsweise ein Jod stabilisierter Helium-Neon-Laser oder ein Frequenzkamm oder eine Atomuhr. Die Gaseigenschaft kann umso genauer berechnet werden, je genauer die Messlaserstrahl-Frequenz bekannt ist.

**[0045]** Besonders günstig ist es, wenn die Auswerteeinheit zudem ausgebildet ist zum automatischen Berechnen der Kontrolllaserstrahl-Frequenzen aus den gemessenen Kontrolllaserstrahl-Frequenzen durch Abgleichen mit dem Frequenznormal.

**[0046]** Um aus der Dichte des Gases den Druck des Gases zu bestimmen benötigt man die Gastemperatur. Würde diese beispielsweise über die Widerstandsänderung eines Drahtes gemessen werden, welcher sich im Messraum befindet, so würde die Erwärmung des Drahtes einen zu großen Wärmeeintrag verursachen. Der Ansatz ist daher, dass man eine Methode der Gastemperaturbestimmung wählt, welche keinen oder zumindest nur einen möglichst geringen Wärmeeintrag liefert. Beispielsweise kann die Schallgeschwindigkeit im Gas zur Messung der Gastemperatur verwendet werden. Besonders vorteilhaft ist es hierbei, wenn sich der Schall möglichst entlang der gleichen Strecke im Messraum bewegt, wie der Laserstrahl, wobei der Laser weder vom Schallsender noch Empfänger geblockt werden darf.

**[0047]** Der Vorteil dieser Methode ist, dass kein Temperatenausgleich zwischen dem Gas, bzw. Gasgemisch und einem etwaigen Temperatursensor stattfinden braucht, weshalb eine zeitliche Verzögerung für diesen Temperatenausgleich ausbleibt, was diese Methode schnell macht.

**[0048]** Der Nachteil ist, dass die Schallgeschwindigkeit im Gas, bzw. Gasgemisch nicht nur von der Temperatur abhängt, sondern auch noch von weiteren Gaseigenschaften. Alternativ kann sich eine Glasfaser zur Temperaturmessung in den Messraum derart

befinden, dass sie den Laserstrahl im Resonator nicht blockt. Beispielsweise besitzt das Gaseigenschaftsmessgerät eine spiralförmige Wicklung an Glasfasern entlang der Wand des Messraum-Umzylinders. Solche Glasfasern können beispielsweise mittels Faser-Bragg-Gittern versehen hochpräzise und gegebenenfalls orts aufgelöste Temperaturmessungen liefern.

**[0049]** Alternativ oder zusätzlich zu der Temperaturbestimmung mittels Schallgeschwindigkeitsmessung oder Gasfasern im Messraum wird gewartet, bis sich die Gastemperatur ausreichend der Temperatur des Abstandshalters angepasst hat, was eine bevorzugte Methode darstellt, da die Gastemperatur beispielsweise während der Druckmessung oder Refraktivitätsmessung möglichst konstant bleiben sollte. Die benötigte Zeit bis die Temperatur ausreichend ausgeglichen ist hängt hierbei von der Temperaturdifferenz, dem Druckbereich und der Gasart ab.

**[0050]** Es ist daher also notwendig die Temperatur des Abstandshalters möglichst konstant zu halten und mit möglichst hoher Genauigkeit zu kennen. Hierzu ist es vorteilhaft, wenn (a) der Abstandshalter zumindest teilweise aus einem doppelbrechenden Material besteht, das eine Hauptbrechachse hat, und das (b) das Lasersystem ausgebildet ist zum Abgeben eines Temperaturmess-Laserstrahls, der (i) einen Parallel-Lichtanteil mit einer Polarisations Ebene in Hauptbrechachsenrichtung hat und (ii) einen Senkrecht-Lichtanteil mit einer Polarisations Ebene senkrecht zur Brechachsenrichtung hat, in dem doppelt brechenden Teil des Abstandshalters, wobei (c) das Lasersystem ausgebildet ist zum Messen einer Frequenzverschiebung zwischen dem Parallel-Lichtanteil und dem Senkrecht-Lichtanteil. In doppelbrechenden Materialien hängt diese Frequenzverschiebung von der Temperatur des doppelbrechenden Materials ab.

**[0051]** Die Auswerteeinheit ist daher vorzugsweise eingerichtet zum automatischen Bestimmen einer Abstandshalter-Temperatur des Abstandshalters aus der Frequenzverschiebung. Ferner ist diese Frequenzverschiebung abhängig von dem Druck, der auf den Abstandshalter wirkt und zusätzlich von einer möglichen Verformung des Abstandshalters. Besagte Einflussgrößen werden allerdings bereits erfasst, sodass die Auswerteeinheit daher vorzugsweise eingerichtet ist, zur automatischen Bestimmung einer Abstandshalter-Temperatur des Abstandshalters unter Berücksichtigung des anliegenden Drucks am Abstandshalter und der Deformation des Abstandshalters.

**[0052]** Zum Ansteuern der gewünschten Gastemperatur sowie zur Minimierung des Einflusses von Umgebungstemperaturschwankungen auf das Messergebnis, besitzt das Gaseigenschaftsmessgerät vorzugsweise eine Temperier Vorrichtung zum Einstel-

len und Konstant-Halten der Abstandshalter-Temperatur, wobei die Temperier Vorrichtung mit der Auswerteeinheit zum Erfassen der Abstandshalter-Temperatur verbunden ist. Anhand dieser Abstandshalter-Temperatur kann beispielsweise eine Heiz-Kühl-Einheit so angesteuert werden, dass sie die Temperatur des Abstandshalters erhöht oder erniedrigt, je nachdem, wie die Temperatur des Abstandshalters von einer vorgegebenen Soll-Temperatur abweicht.

**[0053]** Erfindungsgemäß ist zudem ein Verfahren zum Bestimmen einer Gaseigenschaft, bei dem ein erfindungsgemäßes Gaseigenschaftsmessgerät eingesetzt wird.

**[0054]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

**Fig. 1** mit den **Fig. 1a** bis **Fig. 1f** eine Ansicht eines erfindungsgemäßen Gaseigenschaftsmessgeräts aus einem doppelbrechendem Material zur gleichzeitigen optischen Temperaturmessung dieses Materials,

**Fig. 2a** einen Querschnitt durch das Gaseigenschaftsmessgerät gemäß **Fig. 1** im Bereich des ersten Spiegelträgers,

**Fig. 2b** eine Schemadarstellung des Spiegelträgers in überzeichneter Deformation zum Erläutern der Wirkung des Aufbaus des Spiegelträgers und

**Fig. 3** eine Querschnittsansicht durch ein erfindungsgemäßes Gaseigenschaftsmessgerät und

**Fig. 4** mit den **Fig. 4a** bis **Fig. 4f** eine Ansicht eines erfindungsgemäßen Gaseigenschaftsmessgeräts mit zwei umliegenden Anti-Druckkammern.

**[0055]** **Fig. 1** zeigt ein erfindungsgemäßes Gaseigenschaftsmessgerät **10**, das einen ersten Spiegelträger **12.1** und einen zweiten Spiegelträger **12.2** aufweist. Der erste Spiegelträger **12.1** hat eine erste Spiegelfläche **14.1**, der zweite Spiegelträger **12.2** eine zweite Spiegelfläche **14.2**. Zwischen den beiden Spiegelträgern **12.i** ( $i = 1,2$ ) ist ein Abstandshalter **16** angeordnet, der einen Messraum **18** begrenzt.

**[0056]** Das Gaseigenschaftsmessgerät **10** umfasst zudem Distanzelemente **20.1**, **20.2** und Deckel **22.1**, **22.2**. Der Deckel **22.1** und das Distanzelement **20.1** umgeben eine Druckausgleichskammer **24.1**. Die Spiegelfläche **14.1** ist zwischen der Druckausgleichskammer **24.1** und dem Messraum **18** angeordnet. Zwischen der Druckausgleichskammer **24.2** und dem Messraum **18** ist die zweite Spiegelfläche **14.2** angeordnet.

**[0057]** Der Deckel **22.1** und das Distanzelement **20.1** begrenzen die Druckausgleichskammer **24.1** gasdicht. Der Abstandshalter **16** besitzt eine Zu-

möffnung **26** die sich von einer Außenseite **A** des Abstandshalters **16** bis in den Messraum **18** erstreckt. Über die Zuströmöffnung **26** kann ein Messgas **28** unter einem Gasdruck  $p_{28}$  in den Messraum **18** eingebracht werden. Der Innenraum des Gaseigenschaftsmessgerät **10**, bestehend aus Messraum **18** in Kombination mit den beiden Druckkammern **24.1** und **24.2** sind gasdicht, d. h., dass das Messgas **28** den Innenraum nur durch die Zuströmöffnung **26** verlassen kann. Selbstverständlich ist es möglich, dass der Abstandshalter **16** mehr als eine Zuströmöffnung **26** aufweist.

**[0058]** Der Abstandshalter **16**, die Distanzelemente **20.i** und die Deckel **22.i** sind aus dem gleichen Material hergestellt, bei dem es sich im vorliegenden Fall um einen glaskeramischen Werkstoff handelt, der durch kontrollierte Volumenkristallisation hergestellt ist.

**[0059]** In der **Fig. 1f** ist ein plan-konkav-Spiegel, der verwendet wird für die Spiegelflächen **14.1**, **14.2**, **14.3**, **14.3a**, **14.3b**, **14.3c**, **14.4**, **14.4a**, **14.4b**, **14.4c** (links). Ein Plan-konvex-Spiegel wird verwendet für die Spiegelflächen **14.5** und **14.6** (rechts). An den Plan-konkav-Spiegeln sind jeweils die Spiegelflächen **14.i** auf den konkaven Seiten ausgebildet und die planen Seiten sind an den jeweiligen Spiegelträgern **12.i** angesprengt. An den Plan-konvexen-Spiegeln sind jeweils konvexen Seiten verspiegelt mit einer optimierten Reflektivität im Innern des Spiegelsubstrates und die planen Seiten sind jeweils an den Abstandshalter **16** angesprengt.

**[0060]** Die **Fig. 1d** zeigt den Abstandshalter **16**. Es ist zu erkennen, dass der Abstandshalter **16** einen ersten Kontroll-Messraum **32.1** hat. Dieser Kontroll-Messraum **32.1** ist gasdicht vom Messraum **18** getrennt. Der erste Spiegelträger **12.1** besitzt eine dritte Spiegelfläche **14.3** und der zweite Spiegelträger **14.2** hat eine vierte Spiegelfläche **14.4**. Die dritte Spiegelfläche **14.3** und die vierte Spiegelfläche **14.4** bilden zusammen einen ersten Kontroll-Resonator **34.1**, in den sich eine stehende Mode eines Laserstrahls ausbilden kann.

**[0061]** **Fig. 1a** zeigt, dass das Gaseigenschaftsmessgerät **10** zudem einen zweiten, dritten und vierten Kontroll-Resonator **32.1a**, **32.1b** und **32.1c** aufweisen kann, zwischen den Spiegelflächen **14.3a**, **14.3b**, **14.3c** und den Spiegelflächen **14.4a**, **14.4b**, **14.4c**.

**[0062]** Der Abstandshalter **16** verfügt zur optischen Temperaturbestimmung über mindestens einen zylindrischen Bereich **34.1**, bzw. **34.2** welcher sich parallel zum Messraum **18** erstreckt und zur Ausbildung eines Temperaturmess-Resonators an den Stirnflächen verspiegelt ist. Zur Realisierung dieser Verspiegelung und damit der Temperaturmess-Re-

sonator jeweils optisch möglichst stabil ist, werden hierfür auf einer Stirnflächen ein Plan-konvex-Spiegel **14.5** und auf der gegenüberliegenden Stirnfläche Plan-Spiegel **14.6** an den Abstandshalter **16** angebracht, insbesondere angesprengt, derart dass an den Kontaktflächen das Laserlicht zur Temperaturbestimmung möglichst weder gebrochen, gestreut, reflektiert oder absorbiert wird.

**[0063]** **Fig. 1e** zeigt, dass der erste Spiegelträger **12.1** einen ersten Schlitz **36.1** aufweist, der sich entlang einer geschlossenen Kurve **K** erstreckt. Im vorliegenden Fall ist die geschlossene Kurve **K** ein Kreis. Der Schlitz **36.1** umgibt einen Spiegelhalterabschnitt **38.1**, an dem die Spiegelfläche **14.1** ausgebildet ist. Im vorliegenden Fall ist am Spiegelhalterabschnitt **38.1** der Spiegel **30.1**, der aber aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet ist, befestigt. Der Spiegel **30.1** ist ein plan-konvexer Spiegel, Der Spiegel **30.2** ist plan-konkav. Der erste Spiegelhalterabschnitt **38.1** ist über Stege **40a.1**, **40b.1**, **40c.1** und **40d.1** mit dessen Umgebung einstückig verbunden.

**[0064]** Der Messraum **18** ist der Raum zwischen den Spiegelträgern **12.i**. Der Messraum **18**, der Raum zwischen den Stegen **40** (Bezugszeichen ohne Zählsuffix bezeichnen alle entsprechenden Objekte) und dem Raum in den Zuleitungen bilden einen Innen-Druckbereich. Der Raum außerhalb des Innen-Druckbereichs bildet einen Außen-Druckbereich.

**[0065]** **Fig. 2a** zeigt einen Querschnitt durch das Gaseigenschaftsmessgerät **10** gemäß **Fig. 1**, wobei die Schnittebene durch eine Längsachse **L** des Messraums **18** verläuft. Es ist zu erkennen, dass die Stege, im vorliegenden Fall die Stege **40a.2** und **40c.2** durch ausdünnen eines Substratmaterials des Spiegelträgers **12.2** erzeugt wurden. Der Spiegelträger **12.1** ist gleich aufgebaut.

**[0066]** **Fig. 2b** zeigt schematisch die Wirkung der Stege **40** (also der Stege **40a.1**, **40b.1**, **40c.1**, **40d.1**). Verbiegt sich der Spiegelträger **12** (Bezugszeichen ohne Zählsuffix beziehen sich auf jeweils alle entsprechenden Objekte), so verbiegt sich der Spiegelhalterabschnitt **38** nur auf vernachlässigbar kleine Weise.

**[0067]** **Fig. 3** zeigt einen vergrößerten Querschnitt durch das Gaseigenschaftsmessgerät **10**, das eine Auswerteeinheit **42** aufweist, die mit einem Lasersystem **48** verbunden ist. Das Lasersystem **48** gibt einen Mess-Laserstrahl **46{18}**, vier Kontroll-Laserstrahlen **46 {32.1, 32.1a, 32.1b, 32.1c}** und vier Temperaturmess-Laserstrahlen **46 {34.1<sub>parallel</sub>, 34.1<sub>senkrecht</sub>, 34.2<sub>parallel</sub>, 34.2<sub>senkrecht</sub>}** sowie einen weiteren Mess-Laserstrahl **46 {18<sub>alternativer\_Spektralbereich</sub>}** und einen weiteren Kontroll-Laserstrahlen **46{32.1<sub>alternativ-ver\_Spektralbereich</sub>}** in die entsprechenden Resona-



toren ab. Mess-Laserstrahl 46{18} gibt beispielsweise einen Laserstrahl in Messraum 18 ab. Die Angabe in geschweiften Klammern gibt an, an welcher Stelle sich der Laserstrahl befindet.

**[0068]** Die Detektionseinheiten 44 messen die entsprechenden Schwebungsfrequenzen zwischen jeweils zwei der Laserstrahlen 46 mittels ultraschneller Detektoren. Beispielsweise eine erste Schwebungsfrequenz  $f_{S1}$  aus einer Frequenz des Mess-Laserstrahls 46{18} und eines ersten Kontroll-Laserstrahls 46{32.1} des ersten Kontroll-Resonators 32.1. Ferner versorgen die Detektionseinheiten 44 das Lasersystem 48 mit einem Feedback zur Steuerung der Laseremissionsfrequenzen zum Locken der jeweiligen Laser auf die entsprechenden Resonatoren, unter Verwendung schneller Detektoren beispielsweise in Reflektion mittels Pound-Drever-Hall-Verfahren oder in Transmission mittels Dither-, bzw. Lock-In-Verfahren.

**[0069]** In optischen Strahlmanipulationseinheiten 62.1, 62.2 befinden sich optische Komponenten zum Manipulieren von Laserfreistrahlen und Laserlicht geführt in Fasern, wie beispielsweise Kollimatoren, Strahlteiler, Spiegel, elektro-optische bzw. akusto-optische Modulatoren, optische Dioden und Polarisationsfilter.

**[0070]** Mit Strichpunktlinien sind Freistrahllaserstrahlen im Abstandshaltermaterial eingezeichnet, also solche Laserstrahlen, die nicht in Glasfasern geführt sind. Gestrichelt sind Freistrahllaserstrahlen in Gas oder in Vakuum eingezeichnet. Die übrigen Laserstrahlen sind in Glasfasern 64 geführt.

**[0071]** Auf gleiche Weise zur Bestimmung der ersten Schwebungsfrequenz  $f_{S1}$  wird eine zweite Schwebungsfrequenz  $f_{S2}$  zwischen dem Mess-Laserstrahl 46{18} und einem zweiten Kontroll-Laserstrahl 46{32.1a} des zweiten Kontroll-Resonators 32.1a bestimmt. Die genaue Frequenz  $f_{46}$  des Mess-Laserstrahls 46{18} oder 46{18<sub>alternativ-ver\_Spektralbereich</sub>} wird durch Abgleich mit einem Frequenznormal 52 ermittelt. Bei dem Frequenznormal 52 handelt es sich beispielsweise um einen Jod stabilisierten Helium-Neon-Laser.

**[0072]** Der Abstandshalter 16 besteht aus einem doppelbrechenden Material. Das Lasersystem 48 gibt Temperaturmess-Laserstrahlen 46{34.1<sub>parallel</sub>, 34.1<sub>senkrecht</sub>} in den Resonator 34.1 welcher aus dem Abstandshalter 16 sowie auf den Stirnflächen angesprengten Plan-konvex-Linsen 14.5 und 14.6 besteht. Die Linsen sind auf den konvexen Seiten derart verspiegelt, dass der Temperaturmess-Resonator eine möglichst hohe Finesse von beispielsweise 100, vorzugsweise 500 oder mehr aufweist.

**[0073]** Die Temperaturmess-Laserstrahlen 46{34.1<sub>parallel</sub>, 34.1<sub>senkrecht</sub>} welche parallel, bzw.

senkrecht zur außerordentlichen Achse des doppelbrechenden Materials des Abstandshalters 16 polarisiert sind, werden jeweils mittels des Feedbacks durch die Detektionseinheiten 44 auf den Temperaturmess-Resonator 34.1 gelockt. Aus der Frequenzverschiebung zwischen dem Temperaturmess-Laserstrahl 46{34.1<sub>parallel</sub>} und dem Temperaturmess-Laserstrahl 46{34.1<sub>senkrecht</sub>} berechnet die Auswerteeinheit unter Berücksichtigung möglicher Resonatorlängenänderungen aus den Frequenzen der Kontroll-Laserstrahlen 46{32.1, 32.1a, 32.1b, 32.1c} die Temperatur  $T_{16.1}$  des Abstandshalters im Material des Resonators 34.1. Gleiches gilt für die Temperatur  $T_{16.2}$  des Abstandshalters im Material des Resonators 34.2 gemessen mittels der Temperaturmess-Laserstrahlen 46{34.2<sub>parallel</sub>, 34.2<sub>senkrecht</sub>}. Aus beiden Temperaturwerten kann ein Mittelwert sowie ein Gradient für die Temperatur des Abstandshalters 16 berechnet werden.

**[0074]** Mittels einer Temperiervorrichtung kann eine Temperatur des Abstandshalters 16 auf eine vorgegebene Temperatur  $T_{soll}$  geregelt werden, in dem sowohl der Abstandshalter 16 als auch das Messgas 28 auf die vorgegebene Temperatur  $T_{soll}$  geregelt wird. Die Temperiervorrichtung 54 ist mit der Auswerteeinheit 42 zum Erfassen der Abstandshalter-Temperatur verbunden, um die Temperatur des Abstandshalters 16 als auch des Messgases 28 zu regeln.

**[0075]** Fig. 4 zeigt ein erfindungsgemäßes Gaseigenschaftsmessgerät 10 in Analogie zu Fig. 1, wobei auf die optische Temperaturbestimmung des Abstandshalters verzichtet wird. An der Stelle der sich im Vollmaterial befindenden Temperaturmess-Resonatoren 34.1 und 34.2 befinden sich nun Durchgangsbohrungen in axialer Richtung des Abstandshalters, welche die umliegenden Anti-Druckkammern 60.1 und 60.2 bilden. Entsprechend werden keine Temperaturmess-Laserstrahlen 46{34.1<sub>parallel</sub>, 34.1<sub>senkrecht</sub>, 34.2<sub>parallel</sub>, 34.2<sub>senkrecht</sub>} und keine Plan-konvex-Spiegel 14.5 und 14.6 benötigt. Ferner verfügt der Deckel 22 in Fig. 4b nicht mehr über die beiden größeren Durchgangsbohrungen, welche ausschließlich für die Temperaturmess-Laserstrahlen 46{34.1<sub>parallel</sub>, 34.1<sub>senkrecht</sub>, 34.2<sub>parallel</sub>, 34.2<sub>senkrecht</sub>} gedacht sind.

#### Bezugszeichenliste

10	Gaseigenschaftsmessgerät
12	Spiegelträger
14	Spiegelfläche
16	Abstandshalter
18	Messraum
20	Distanzelement
22	Deckel

24	Druckkammer
26	Zuströmöffnung
28	Messgas
30	Spiegel
32	Kontroll-Messraum
34	Kontroll-Resonator
36	Schlitz
38	Spiegelhalterabschnitt
40	Steg
42	Auswerteeinheit
44	Detektionseinheiten
46	Mess-Laserstrahl
48	Lasersystem
50	Kontroll-Laserstrahl
52	Frequenznormal
54	Temperiervorrichtung
60	umliegende Anti-Druckkammer
62	optische Strahlmanipulationseinheit
64	Glasfaser
i	Laufindex
A	Außenseite
p <sub>28</sub>	Gasdruck
p <sub>34</sub>	Gasdruck
K	Kurve
L	Längsachse
f <sub>S1</sub>	Schwebungsfrequenz

### Patentansprüche

1. Gaseigenschaftsmessgerät (10) mit  
 (a) einem ersten Spiegelträger (12.1), der eine erste Spiegelfläche (14.1) hat,  
 (b) einem zweiten Spiegelträger (12.2), der eine zweite Spiegelfläche (14.2) hat, und  
 (c) zumindest einem Abstandshalter (16), der den ersten Spiegelträger (12.1) mit dem zweiten Spiegelträger (12.2) so verbindet, dass zwischen den Spiegelträgern (12) ein Messraum (18) gebildet ist, wobei der Abstandshalter (16) den Messraum (18) gasdicht begrenzt, **gekennzeichnet durch**  
 (d) eine erste Druckausgleichskammer (24.1), wobei der erste Spiegelträger (12.1) zwischen der ersten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter (16) angeordnet ist, und  
 (e) eine zweite Druckausgleichskammer (24.2), wobei der zweite Spiegelträger (12.2) zwischen der zweiten Druckausgleichskammer und dem Abstandshalter (16) angeordnet ist.

2. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
 (a) die erste Druckausgleichskammer (24.1) von einem ersten Distanzelement (20.1) und einem ersten Deckel (22.1) begrenzt wird, wobei das erste Distanzelement (20.1) aus dem gleichen Material besteht wie der Abstandshalter (16) und  
 (b) die zweite Druckausgleichskammer (24.2) von einem zweiten Distanzelement (20.2) und einem zweiten Deckel (22.2) begrenzt wird, wobei das zweite Distanzelement (20.2) aus dem gleichen Material besteht wie der Abstandshalter (16).

3. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spiegelträger (12) und der Abstandshalter (16) in einem evakuierbaren Gehäuse angeordnet sind.

4. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
 (a) der Spiegelträger (12) zumindest einen Spiegel (30) und ein Substrat aufweist, auf dem der zumindest eine Spiegel (30) befestigt ist, und/oder dass  
 (b) am Spiegelträger (12) eine spiegelnde Spiegelfläche (14) ausgebildet ist.

5. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
 (a) der erste Spiegelträger (12.1)  
 (i) einen ersten Schlitz (36.1), der sich entlang einer geschlossenen Kurve (K), insbesondere einer Ellipse oder eines Mehrecks, erstreckt,  
 (ii) einen ersten Spiegelhalterabschnitt (38.1), der von dem ersten Schlitz (36.1) begrenzt wird, und  
 (iii) zumindest drei Erstspiegelträger-Stege, die den ersten Spiegelhalterabschnitt (38.1) mit dessen Umgebung verbinden, aufweist und/oder  
 (b) der zweite Spiegelträger (12.2)  
 (i) einen zweiten Schlitz (36.2), der sich entlang einer geschlossenen Kurve (K), insbesondere einer Ellipse oder eines Mehrecks, erstreckt,  
 (ii) einen zweiten Spiegelhalterabschnitt (38.2), der von dem zweiten Schlitz (36.2) begrenzt wird, und  
 (iii) zumindest drei Zweitspiegelträger-Stege, die den zweiten Spiegelhalterabschnitt (38.2) mit dessen Umgebung verbinden, aufweist.

6. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
 (a) der Spiegelträger (12) aus einem Material mit einem Elastizitätsmodul von mindestens 60 GPa besteht und/oder dass  
 (b) ein Abstandshalterdickenquotient aus einem Abstandshalter-Außendurchmesser eines Abstandshalter-Umzylinders um den Abstandshalter (16) als Zähler und

einem Innendurchmesser eines Messraum-Umzylinders des Messraums (18) zumindest 3 beträgt.

7. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) der erste Spiegelträger (12.1) eine dritte Spiegel­fläche (14.3) hat und der zweite Spiegelträger (12.2) eine vierte Spiegel­fläche (14.4) hat, die mit der dritten Spiegel­fläche (14.3) einen ersten Kontroll-Resonator (34.1) für einen Kontroll-Laserstrahl (50) bildet und/oder dass

(b) der erste Spiegelträger (12.1) eine fünfte Spiegel­fläche (14.5) hat und der zweite Spiegelträger (12.2) eine sechste Spiegel­fläche (14.6) hat, die mit der fünften Spiegel­fläche (14.5) einen zweiten Kontroll-Resonator (34.2) für einen zweiten Kontroll-Laserstrahl (50) bildet.

8. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** ein Lasersystem (44), das ausgebildet ist zum

(a) Abgeben eines Mess-Laserstrahls (46) in den Messraum (18), sodass sich eine stehende Mode ausbildet,

(b) Abgeben zumindest eines ersten Kontroll-Laserstrahls (50) in den ersten Kontroll-Resonator (34.1), sodass sich eine stehende Mode ausbildet, und

(c) Erfassen eines Schwebungsfrequenz-Signals, das einer Schwebungsfrequenz ( $f_{S1}$ ) zwischen einer Messlaserstrahl-Frequenz des Mess-Laserstrahls (46) und einer Kontrolllaserstrahl-Frequenz des Kontroll-Laserstrahls (50) entspricht.

9. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lasersystem (44) ausgebildet ist zum

(a) zum Abgeben eines zweiten Kontroll-Laserstrahls (50) in den zweiten Kontroll-Resonator (34.2), sodass sich eine stehende Mode ausbildet,

(b) Erfassen eines zweiten Schwebungsfrequenz-Signals, das einer zweiten Schwebungsfrequenz ( $f_{S2}$ ) zwischen der Messlaserstrahl-Frequenz und einer zweiten Kontrolllaserstrahl-Frequenz des zweiten Kontroll-Laserstrahls (50) entspricht und/oder

Erfassen eines dritten Schwebungsfrequenz-Signals, das einer dritten Schwebungsfrequenz ( $f_{S3}$ ) zwischen der ersten Kontrolllaserstrahl-Frequenz und der zweiten Kontrolllaserstrahl-Frequenz entspricht, wobei

(c) eine Auswerteeinheit (42) ausgebildet ist zum automatischen Berechnen des Drucks, der Dichte, der Refraktivität und/oder der Temperatur eines Gases im Messraum (18) aus zumindest einem der Schwebungsfrequenz-Signale.

10. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der Ansprüche 8 bis 9, **gekennzeichnet durch**

(a) ein Frequenznormal (52),

(b) wobei eine Auswerteeinheit (42) ausgebildet ist zum automatischen Berechnen der Messlaser-

strahl-Frequenz aus der gemessenen Messlaserstrahl-Frequenz durch Abgleich mit dem Frequenznormal (52) und/oder zum automatischen Berechnen der Kontrolllaserstrahl-Frequenzen aus den gemessenen Kontrolllaserstrahl-Frequenzen durch Abgleich mit dem Frequenznormal (52).

11. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) der Abstandshalter (16) zumindest teilweise aus einem doppelbrechenden Material besteht, das eine Hauptbrechachse hat, und dass

(b) das Lasersystem (44) ausgebildet ist zum Abgeben eines Temperaturmess-Laserstrahls (46), der

(i) einen Parallel-Lichtanteil mit einer Polarisations­ebene in Hauptbrechachsenrichtung hat und

(ii) einen Senkrecht-Lichtanteil mit einer Polarisati­onsebene senkrecht zur Hauptbrechachsenrichtung hat, in den doppelbrechenden Teil des Abstandshalter (16),

(c) das Lasersystem (44) ausgebildet ist zum Messen einer Frequenzverschiebung zwischen dem Parallel-Lichtanteil und dem Senkrecht-Lichtanteil und dass

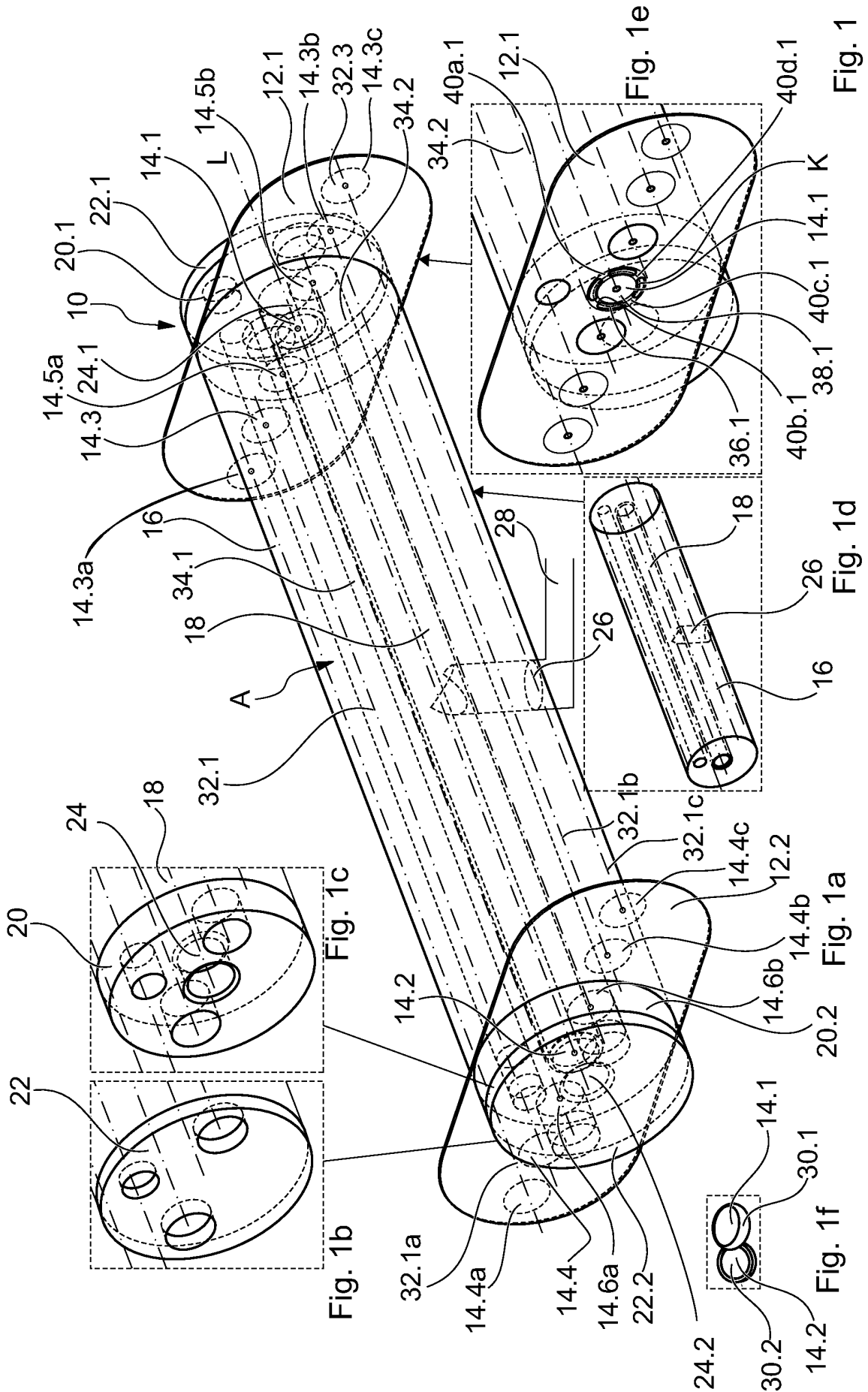
(d) eine Auswerteeinheit (42) eingerichtet ist zum automatischen Bestimmen einer Abstandshalter-Temperatur des Abstandshalters (16) aus der Frequenzverschiebung.

12. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach Anspruch 11, **gekennzeichnet durch** eine Temperier­vorrichtung (54) zum Konstant-Halten der Abstandshalter-Temperatur, wobei die Temperier­vorrichtung mit der Auswerteeinheit (42) zum Erfassen der Abstandshalter-Temperatur verbunden ist.

13. Gaseigenschaftsmessgerät (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (16) über umliegende Anti-Druckkammern (60.1, 60.2) verfügt, welche symmetrisch zur Messkammer angeordnet sind und entlang einer Längsachse (L) des Abstandshalters (16) verlaufen.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



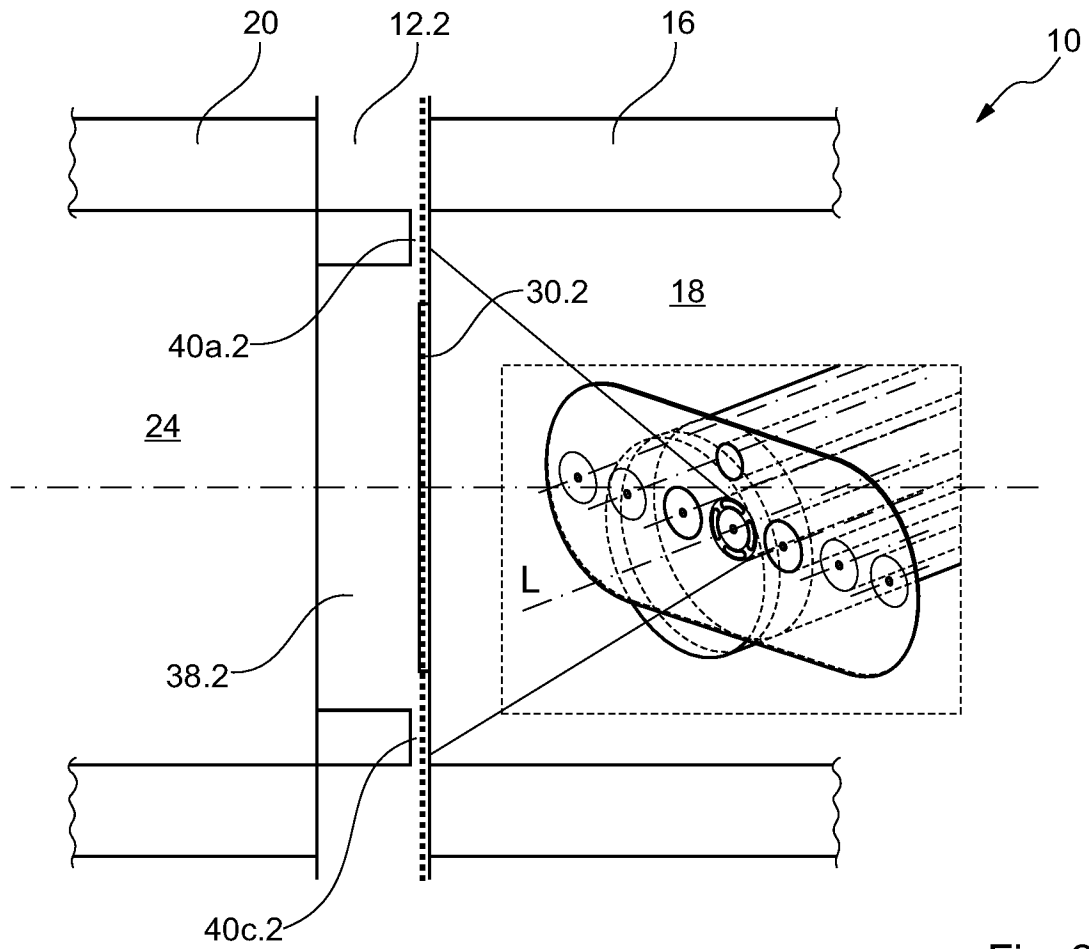


Fig. 2a

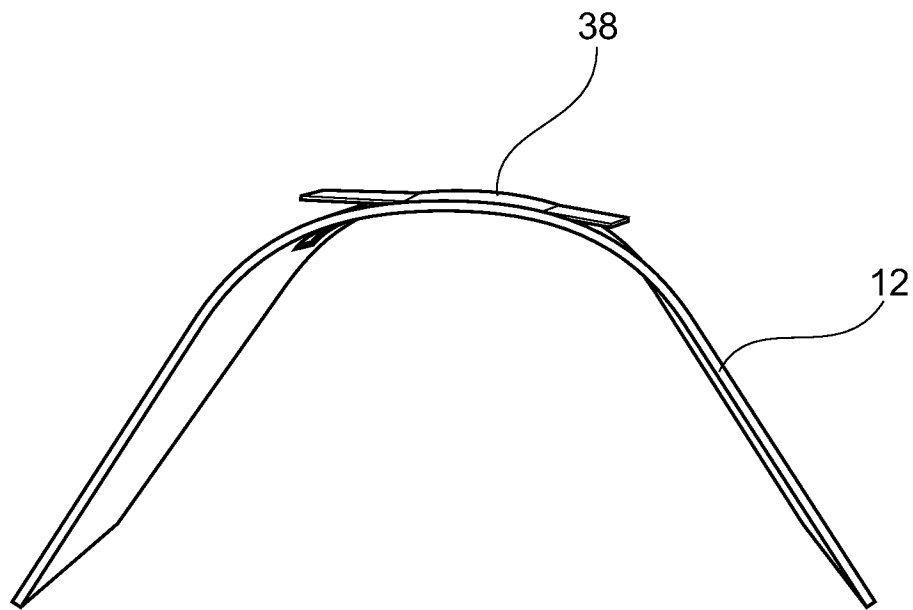


Fig. 2b

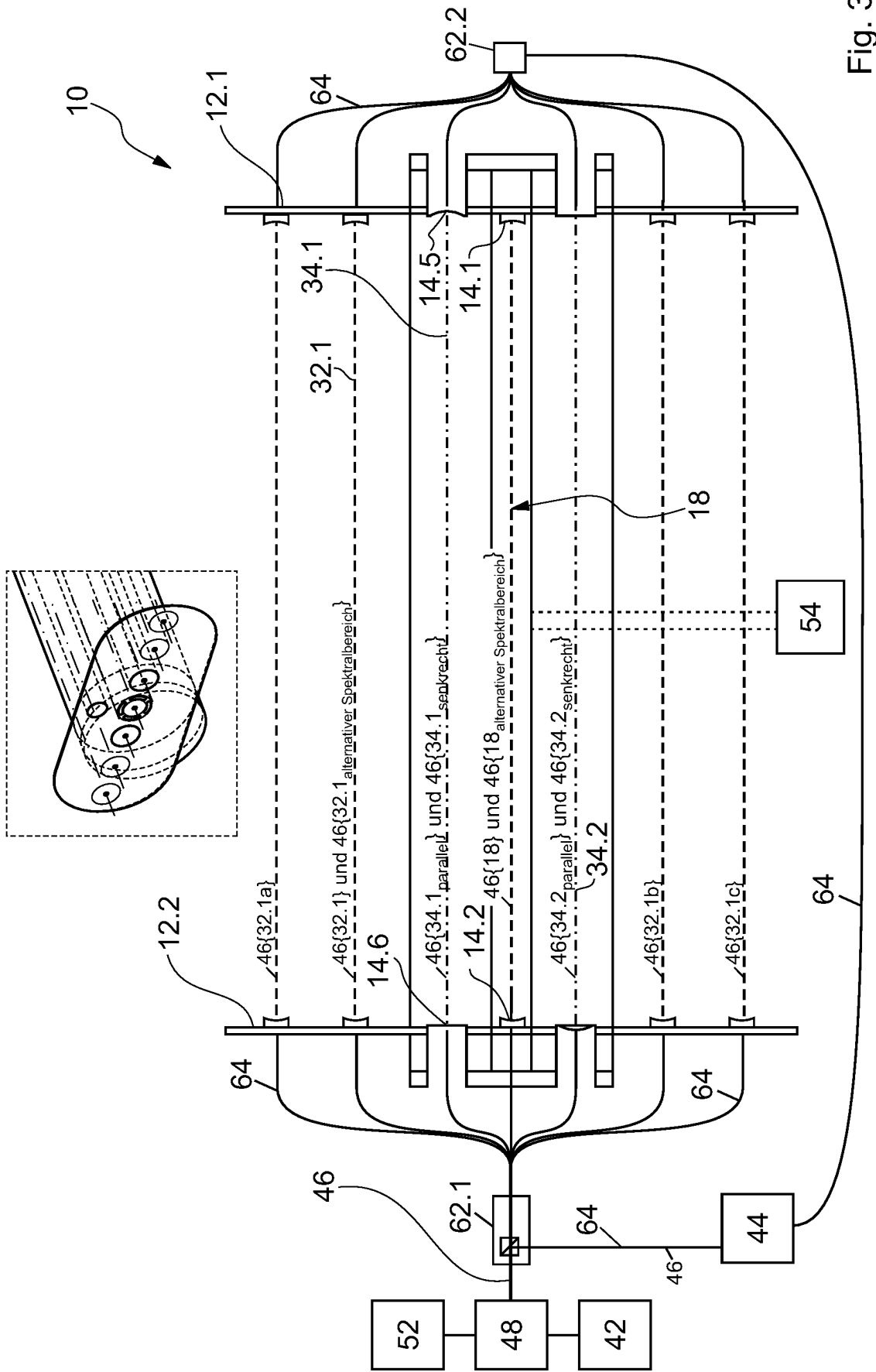


Fig. 3

