

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Januar 2011 (13.01.2011)

PCT

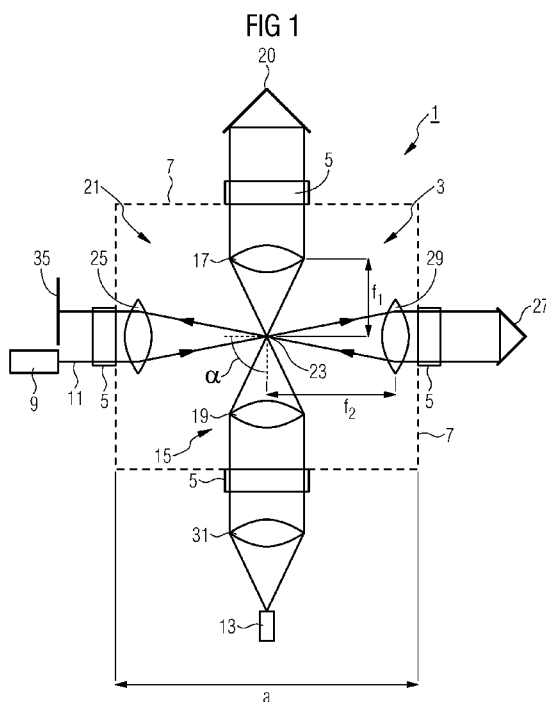
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2011/003728 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
G01N 21/03 (2006.01) G01J 3/44 (2006.01)  
G01N 21/65 (2006.01) G02B 17/00 (2006.01)  
G01N 21/85 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/058768
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
22. Juni 2010 (22.06.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2009 032 279.5 8. Juli 2009 (08.07.2009) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BRAUN, Gilbert [DE/DE]; Aachener Str. 42, 52134 Herzogenrath (DE). KURY, Peter [DE/DE]; Zimmerstr. 8, 45127 Essen (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MEASURING DEVICE FOR RECORDING A RAMAN SPECTRUM

(54) Bezeichnung : MESSVORRICHTUNG ZUR AUFNAHME EINES RAMAN-SPEKTRUMS



(57) Abstract: The invention relates to a measuring device (1, 41, 51) for recording a Raman spectrum, comprising a measurement cell (3) having a number of penetration windows (5), at least one light source (9, 61, 63) disposed outside of the measurement cell (3), a detector (13) disposed at an angle  $\alpha$  to the light source (9, 61, 63) and a focal optic (21) for imaging the or every light source (9, 61, 63) at a focal point (23, 71), wherein the focal optic (21) is located within the measurement cell (3). The measuring device (1, 41, 51) comprises reflectors (20, 27, 43) that can be implemented as retro reflectors. Furthermore, a plurality of light sources (9, 61, 63) can be coupled into the measurement cell (3). This allows for the rapid and precise investigation of fluid samples using a thermally and mechanically stable measuring device.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung (1, 41, 51) zur Aufnahme eines Raman-Spektrums, umfassend eine Messzelle (3), die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern (5) aufweist, wenigstens eine außerhalb der Messzelle (3) angeordnete Lichtquelle (9, 61, 63), einen Detektor (13), der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle (9, 61, 63) angeordnet ist und eine Fokusoptik (21) zur Abbildung der oder jeder Lichtquelle (9, 61, 63) in einen Fokuspunkt (23, 71), wobei sich die Fokusoptik (21) innerhalb der Messzelle (3) befindet. Die Messvorrichtung (1, 41, 51) umfasst Reflektoren (20, 27, 43), die als Retroreflektoren ausgebildet sein können. Weiterhin können mehrere Lichtquellen (9, 61, 63) in die Messzelle (3) eingekoppelt sein. Hierdurch besteht die Möglichkeit der schnellen und präzisen Untersuchung von Fluidproben mit einer thermisch und mechanisch stabilen Messvorrichtung.

WO 2011/003728 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Beschreibung

Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-Spektrums

5

Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-Spektrums, umfassend eine Messzelle, die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern aufweist, eine außerhalb der Messzelle angeordnete Lichtquelle, einen Detektor, der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle angeordnet ist und eine Fokuso-  
10 optik zur Abbildung der Lichtquelle in einen Fokuspunkt.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-Spektrums wie vorgenannt, wobei ein erster Reflektor bezüglich des Fokuspunkts gegenüber der Licht-  
15 quelle positioniert ist.

Eine Messvorrichtung der eingangs genannten Art ist beispielsweise in der US 4,953,976 offenbart. Die Messvorrichtung umfasst eine Messzelle sowie als Lichtquelle einen außerhalb der Messzelle angeordneten Laser. Weiterhin offenbart die US 4,953,976 Reflektoren, die als Hohlspiegel ausgebildet sind. Auch sind aus der CH 469249 reflektierende Schichten bekannt, die in der Messzelle des Raman-Spektrometers  
25 angeordnet sind. Als optische Komponenten werden unterschiedliche Spiegel, Prismen, sowie Linsen vor einem Detektor verwendet. Die Messzelle ist als eine sogenannte Herriott-Zelle ausgebildet. Eine Herriott-Zelle ist eine Messzelle, die an Ihren sich in Längsrichtung  
30 gegenüberliegenden Enden zwei konkave Spiegel aufweist, die die auftreffende Strahlung auf eine Kreisbahn hin- und her reflektieren. Die Spiegel der Herriott-Zelle in der US 4,953,976 sind mit einer dielektrischen Beschichtung versehen. Der Laserstrahl wird über ein reflektierendes  
35 Prisma in die Messzelle eingekoppelt. Er durchläuft diese mehrmals und wird dann über dasselbe Prisma durch eine Austrittslinse auf einen Detektor geleitet. Das detektierte

Raman-Streulicht der Probe wird zur weiteren Analyse auf einen Photomultiplier fokussiert.

Auch aus der Veröffentlichung von Thomas Seeger, Johannes  
5 Kiefer und Alfred Leipertz, „Entwicklung eines laserbasierten  
Sensorsystems zur Gasanalyse“, Gas-Erdgas, 148 (2007) Nr. 10,  
S. 548-553 ist eine Messvorrichtung der eingangs genannten  
Art bekannt. Hier wird ein laserbasiertes Sensorsystem mit  
10 einem Anregungslaser, einem Spektrometer und einer Detekti-  
onseinheit offenbart. Der Anregungslaser ist hier ein Dioden-  
laser-gepumpter, frequenzverdoppelter, kontinuierlicher  
Nd:YVO<sub>4</sub>-Laser. Der Laserstrahl wird über Spiegel in eine  
Messzelle fokussiert. Das im Messvolumen entstehende Signal  
wird mit einer sphärischen Linse gesammelt und mittels einer  
15 weiteren Linse auf den Eintrittsspalt eines Spektrometers  
fokussiert. Ein als CCD-Kamera ausgebildeter Detektor ist an  
der Austrittsebene des Spektrometers montiert und dient zur  
Aufzeichnung der Signale.

20 Bei der zuvor beschriebenen Messvorrichtung wird ein zu  
untersuchendes Fluid der separaten Messzelle zugeführt. Die  
optischen Komponenten zur Detektion der Strahlung sind außer-  
halb der Messzelle angeordnet. Nachteilig insbesondere für  
den Einsatz in einer Kraftwerks- bzw. Turbinenumgebung ist  
25 eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen wie  
beispielsweise Erschütterungen oder Hitze.

Weiterhin bringt eine derartige Anordnung den Nachteil mit  
sich, dass eine Messung im laufenden Prozess, eine sogenannte  
30 Inline-Messung des zu untersuchenden Fluids, nicht möglich  
ist. Das Fluid muss zur Untersuchung entnommen werden, so  
dass die Aufnahme eines Spektrums nur mit einem erhöhten Auf-  
wand erfolgen kann. Hierzu werden beispielsweise eine zusätz-  
liche Verrohrung und Pumpen zur Entnahme des Fluids benötigt.  
35 Zusätzlich zu einem erhöhten apparativen Aufwand ergeben sich  
durch die Entnahme eines Fluids längere Wege bis zur Detek-  
tion, so dass eine zeitaufgelöste Echtzeit-Messung der von  
dem Fluid gestreuten Strahlung nicht umsetzbar ist.

Als ein weiterer Nachteil der zuvor beschriebenen Anordnung ist hervorzuheben, dass sich beispielsweise bei einer Entnahme des Fluids, wie z. B. eines Synthesegas, dessen Zusammensetzung in Abhängigkeit des Drucks und der Temperatur verändern kann. Somit kann bei einer Entnahme und einer anschließenden sogenannten ex-situ-Untersuchung nicht sicher gewährleistet werden, dass die Zusammensetzung des Fluids nach der Entnahme der Zusammensetzung im laufenden Prozess entspricht.

Insgesamt hat sich die Raman-Spektroskopie, insbesondere durch die Einführung von Lasern, zu einer etablierten Methode in der Analytik und insbesondere in der Prozessüberwachung und Steuerung entwickelt. Mit Hilfe dieser Methode können Stoffströme einfach charakterisiert und analysiert werden. Messvorrichtungen zur Aufnahme von Raman-Spektren sind deswegen bisweilen hinlänglich bekannt und finden häufig Verwendung in der Industrie sowie auch in Forschungseinrichtungen. Beispielsweise sind sie an Hochschulen gängige Praxis zur Untersuchung fluider Proben.

Industrielle Anwendung finden Messvorrichtungen der eingangsgenannten Art insbesondere in der Untersuchung von brennbaren Gasen. Durch die Verwendung spektroskopischer Methoden lassen sich die Zusammensetzung beispielsweise von Erdgas, Synthesegas, Biogas oder Kohlegas in einer Gasturbine genau bestimmen.

Häufig wird die Zusammensetzung von Fluiden, und insbesondere Gasen, auch mit Messvorrichtungen bestimmt, die sich der etablierten Methode der Infrarot-Spektroskopie und/oder der Messung der Wärmeleitfähigkeit eines Gases bedienen. Gegenüber der Messung mittels Infrarot-Absorption bietet jedoch die Bestimmung einer Gaszusammensetzung mittels Raman-Spektroskopie einige wichtige Vorteile.

Durch die Verwendung von Raman-Spektroskopie können auch zweiatomige, homoatomare Moleküle, wie z.B. N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> problemlos detektiert werden. Derartige Moleküle können mittels IR-Absorption nicht detektiert werden, da sie keinen  
5 Dipol aufweisen. Die Verwendung von Raman-Spektroskopie bietet aufgrund der inelastischen Streuung des Lichts an einem Molekül und der damit verbundenen Deformation der Elektronen-  
hülle die Möglichkeit, neben den bereits erwähnten zweiatomigen Molekülen auch Dämpfe, wie Wasser, höhere Kohlenwasser-  
10 stoffe, Alkanole, Ketone, etc. zu bestimmen.

Allerdings ist zu beachten, dass Moleküle üblicherweise einen sehr kleinen Raman-Streuerquerschnitt besitzen. Deswegen ist bei der Aufnahme eines Spektrums eine hohe Lichtintensität im  
15 Messvolumen nötig, um ein detektierbares Signal zu erhalten. Hierzu werden beispielsweise Hochleistungslaser verwendet, die eine hohe Ausgangsleistung haben. Die Laufleistung von Hochleistungslasern im Dauerbetrieb ist jedoch aufgrund der hohen Beanspruchung verhältnismäßig kurz.

20

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Unzulänglichkeiten der bisher bestehenden und bekannten Messvorrichtungen ist eine erste Aufgabe der Erfindung, eine Messvorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, welche neben einer schnellen und präzisen Messung ein thermisch und mechanisch stabiles System darstellt.  
25

Weiterhin ist es eine zweite Aufgabe der Erfindung, eine Messvorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die es  
30 ermöglicht, den Prozessablauf während einer Messung aufgrund eines stabilen Strahlengangs und eines damit verbundenen geringeren Wartungsaufwands zu vereinfachen.

Ferner ist es eine dritte Ausgabe der Erfindung, eine Messvorrichtung mit einer hohen Ausfallsicherheit anzugeben, die  
35 zusätzlich geringe Betriebskosten aufweist.

Die erstgenannte Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Messvorrichtung mit der Merkmalskombination gemäß Anspruch 1.

5 Demnach umfasst die Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-Spektrums eine Messzelle, die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern aufweist, eine außerhalb der Messzelle angeordnete Lichtquelle, einen Detektor, der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle angeordnet ist, und eine Fokusoptik zur Abbildung der  
10 Lichtquelle in einem Fokus. Dabei ist vorgesehen, dass die Fokusoptik der Messvorrichtung innerhalb der Messzelle angeordnet ist.

Die Erfindung geht in einem ersten Schritt von der Überlegung  
15 aus, dass es wünschenswert wäre, Raman-Spektroskopie für die Untersuchung von Brenngaszusammensetzungen in Echtzeit benutzen zu können. Mittels einer Inline-Raman-Messung bestünde die Möglichkeit, während eines laufenden Prozesses Spektren aufzunehmen und so zu jedem gewünschten Zeitpunkt die Kon-  
20 zentration einer Komponente des Fluids zu bestimmen.

Insbesondere können durch die Anwendung der Raman-Spektroskopie sowohl zweiatomige, homoatomare Moleküle als auch Dämpfe größerer heteroatomarer Moleküle detektiert werden.  
25 Allerdings ist bei den üblicherweise von der Fachwelt verwendeten Raman-Spektroskopen die Optik zur Detektion der Streustrahlung des zu untersuchenden Mediums einer Vielzahl von äußeren Einflüssen, wie beispielsweise Temperaturgradienten oder sich verändernder Luftfeuchtigkeit, ausgesetzt. Derartige Störungen erfordern insbesondere eine häufige Nachjustage, was einen erhöhten Arbeits- und Kostenaufwand mit sich bringt.  
30

Die Erfindung sieht nun vor, eine Messvorrichtung zu verwenden, die keinen oder nur geringen Störungen, die durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden, ausgesetzt ist und die es ermöglicht, die Stabilität und die Handhabung einer Messvorrichtung zu erhöhen.  
35

Die Erfindung erkennt hierzu in einem zweiten Schritt, dass das zuvor Genannte durch eine Messvorrichtung erreicht werden kann, bei welcher die optischen Komponenten zur Detektion der Streustrahlung des zu untersuchenden Fluids überraschenderweise innerhalb der Messzelle, die von einem Fluid durchströmt wird, angeordnet sind. Im Gegensatz zu den aus der Literatur bekannten Lösungen, bei denen sich die optischen Elemente außerhalb einer mit dem zu analysierenden Fluid gefüllten Zelle befinden, sind bei der vorliegenden Erfindung alle optischen Komponenten, die zur Fokussierung des Lichts dienen, innerhalb des Messvolumens angeordnet.

Durch eine derartige Anordnung können die Messungen schneller erfolgen, da beispielsweise Verzögerungen durch Zuleitungen zum Detektor oder gegebenenfalls Nachbehandlungsschritte des Fluids entfallen. Durch die Anordnung der optischen Komponenten innerhalb des Fluids kann auch die Gefahr der Verschmutzung der Komponenten verringert werden (beispielsweise durch Staub), da die üblicherweise untersuchten Fluide eine geringere Staubbelastung als die Umgebungsluft haben. Typischerweise liegen die Werte für die Staubbelastung in einer Größenordnung von weniger als 30 Gew.-ppm.

Weiterhin ist keine zusätzliche Verrohrung notwendig und es werden auch keine Pumpen zur Fluidentnahme benötigt. Zusätzlich bietet sich durch die Anordnung der optischen Komponenten innerhalb des Detektionsvolumens die Möglichkeit, kurze optische Wege zwischen dem Fokuspunkt im Detektionsvolumen zu erreichen, so dass auch die Turbulenz der Fluidströmung kaum einen Einfluss auf die Strahllage hat. Insbesondere kann durch die die Inline-Anordnung der optischen Komponenten und der damit verbundenen Möglichkeit einer in-situ-Messung gewährleistet werden, dass die Zusammensetzung des untersuchten Fluids der tatsächlich zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Zusammensetzung entspricht.

Insbesondere durch die Verwendung von Linsen kurzer Brennweiten kann eine hohe Ausnutzung des Raumwinkels von inelastisch gestreuter Strahlung erreicht werden. Weiterhin kann durch die kurzen Brennweiten ein relativ großer Winkel zwischen den mehrfach reflektierten Strahlen erreicht werden. Die Interferenz wird somit nur zu einem sehr feinen Interferenzmuster führen, welches von der abbildenden Optik vor dem Detektor nicht aufgelöst werden kann. Durch die Verwendung von Linsen kurzer Brennweite kann eine äußerst kompakt ausgestaltete Focusoptik angegeben werden, die vorzugsweise im Zentrum eines Strömungsrohres für Brenngas einer Turbine angeordnet ist. Insbesondere einer mit einem Synthesegas betriebenen Gasturbine, die vergleichsweise große Rohrdurchmesser für die Zuleitung des Brenngases erfordern (Größer 600 mm), führt die Erfindung zu einer Anordnung, bei denen die Fokusoptik trotz des raumgreifenden Rohrdurchmessers wesentlich näher am Brennpunkt angeordnet ist als von der betreffenden Rohrwand. Dies führte zu einer thermisch unabhängigen Messvorrichtung. Ein weiterer Vorteil des beschriebenen Aufbaus ist die einfache Anpassung an verschiedene Rohrdurchmesser oder Rezipienten-Maße.

Allgemein können die Brennweiten der Sammellinsen unabhängig voneinander gewählt sein. Es besteht somit die Möglichkeit, eine Anzahl Sammellinsen zu verwenden, von denen einige oder jede einzelne eine andere Brennweite hat. Hierdurch kann sich dann die Position des Fokuspunktes ändern.

Ferner bietet diese Anordnung durch eine Platzierung der Optik mitten in einem Fluid, also beispielsweise innerhalb eines Strömungsrohres einer Turbine, eine „automatische“ Reinigung der Optik von Grob- und Feinstaub. Eventuell an einer optischen Komponente haftende Staubpartikel können durch das Fluid, welches die Komponente umströmt, abgelöst werden, so dass eine Verschmutzung verhindert werden kann.

Überraschenderweise bietet eine Messvorrichtung mit einer Fokusoptik innerhalb der Messzelle somit die Möglichkeit,

schnelle und präzise Messungen in einem thermischen und mechanisch stabilen System durchzuführen.

Die Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-Spektrums umfasst eine Messzelle, die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern aufweist. Die Messzelle kann separat oder insbesondere innerhalb eines Durchflussrohres, beispielsweise einer Gasturbine, positioniert sein. Bei einer Anordnung innerhalb eines Rohres ist die Geometrie der Messzelle den Abmessungen des Rohres entsprechend vorgegeben. Eine separat ausgeführte Messzelle, die beispielsweise nicht innerhalb eines Rohres angeordnet ist, kann grundsätzlich verschiedene Querschnitte aufweisen. Sie kann beispielsweise mit einem runden Querschnitt ausgebildet sein, also in Form eines Rohres, oder einen rechteckigen Querschnitt aufweisen. Die Ausgestaltung der Messzelle ist hierbei abhängig von den an die Messvorrichtung gestellten Anforderungen, bzw. von den bereits vorhandenen Vorrichtungskomponenten.

Die Messzelle kann grundsätzlich aus verschiedenen Materialien gefertigt sein. Es ist denkbar, dass sie aus Glas besteht, wie beispielsweise eine Herriott-Zelle, oder aus einem Metallwerkstoff gefertigt ist. Die Durchtrittsfenster, die in oder auch auf den Wänden der Messzelle angebracht sind, können entweder im Fertigungsprozess eingebracht sein oder nachträglich in die Messzelle eingebracht sein.

Sollen durch die Messzelle aggressive Fluide, wie beispielsweise korrosive Gase, unter hohem Druck geleitet werden, müssen die die Durchtrittsfenster insbesondere den an sie gestellten Anforderungen genügen. Sie können aus einem hochfesten und korrosionsbeständigen Material, wie zum Beispiel Saphir, gefertigt sein. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, aus einem nicht reflektierenden Glas gefertigte Fenster zu verwenden. Insgesamt kann das Material für die Durchtrittsfenster den Anforderungen, also zum Beispiel den Gasen, mit denen sie in Kontakt treten, angepasst werden.

Die Durchtrittsfenster sind vorteilhafterweise den Abmessungen der Messzelle angepasst. Beispielsweise kann eine mit einem rechteckigen Querschnitt ausgebildete Messzelle mit auf vier gegenüberliegenden Seiten der Messzelle positionierten Durchtrittsfenstern ausgebildet sein. Im Falle eines runden Querschnitts können die Fenster beispielsweise auch abgerundet ausgebildet sein. Insbesondere sind jedoch die Stellen der Fenster flächig ausgebildet, an denen der Lichtstrahl in die Zelle eintritt. Weiterhin sind Durchtrittsfenster denkbar, die eine Krümmung aufweisen und insofern als zusätzliche optische Funktion beispielsweise eine Fokussierung bewirken. Allgemein ist auch denkbar, dass die Durchtrittsfenster derart ausgebildet sind, dass sie, zumindest teilweise, die optischen Komponenten, also beispielsweise die Sammellinsen, ersetzen.

Die außerhalb der Messzelle angeordnete Lichtquelle kann beispielsweise als eine Leuchtdiode, als eine Hochdruckdampflampe (z.B. Quecksilber-, Krypton- oder Natriumdampflampen) oder auch als ein Laser ausgestaltet sein. Laser bieten sich insbesondere aufgrund ihres monochromatischen Lichtes an. Weiterhin sind insbesondere leistungsstarke Laser im kurzwelligen Bereich (unterhalb von 600 nm) in den letzten Jahren erschwinglich geworden. Insbesondere werden Diodenlaser mit einer Leistung von etwa 3 bis 4 Watt verwendet. Üblicherweise werden kontinuierlich arbeitende Anregungs-Laser verwendet, die einen Wellenlängenbereich von IR - bis UV-VIS Strahlung abdecken.

Zur Detektion der Streustrahlung kann der Detektor auf verschiedene Weise ausgebildet sein. Die Streustrahlung kann beispielsweise mittels eines Photomultipliers gesammelt werden und über Filter und Linsen auf eine Detektionseinheit weitergeleitet werden, die das Signal in eine Spannung umwandelt und ausgibt. Insbesondere ist der Detektor mit einem Bandpasssperrfilter ausgebildet, an den sich ein CCD-basierter Spektralanalysator anschließt. Auf diese Weise kann die vom Laser emittierte Primärwellenlänge herausgefiltert wer-

den. Zur weiteren Verarbeitung können insbesondere Gitter- und Zeilen-CCD-Analysatoren verwendet werden, die das Streulicht spektral auftrennen oder zerlegen.

5 Der Detektor ist in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle angeordnet. Der Winkel  $\alpha$  ist bei der Erfindung grundsätzlich nicht auf einen spezifischen Wert festgelegt. Vorteilhafterweise liegt der Winkel jedoch in einem Bereich zwischen  $60^\circ$  und  $120^\circ$ , insbesondere in einem Bereich zwischen  $80^\circ$  und  $100^\circ$ .  
10 Durch die Wahl des Winkels in dem angegebenen Bereich kann verhindert werden, dass Licht der Lichtquelle auf den Detektor rückgestreut wird. Da Rückstreuung ein breites Untergrundsignal hervorrufen kann, kann die Empfindlichkeit der Messungen gestört werden und die gewünschte Genauigkeit nicht  
15 erreicht werden. Weiterhin kann durch eine derartige Anordnung Einfluss auf die Position des Fokuspunkts des gestreuten Lichts genommen werden. Der Fokuspunkt kann grundsätzlich an einem beliebigen Punkt innerhalb der Messzelle liegen, die Position wird hierbei allgemein durch die Brennweiten  $f$  der  
20 Sammellinsen bestimmt.

Die Fokusoptik, die zur Abbildung der Lichtquelle im Fokuspunkt dient, ist innerhalb der Messzelle angeordnet. Hierbei befinden sich insbesondere die optischen Komponenten, die  
25 unmittelbar zur Fokussierung des Lichtes in den Fokuspunkt dienen innerhalb des Messvolumens. Eine Integration der Messzelle und der optischen Komponenten in ein Messsystem, also beispielsweise in ein Strömungsrohr einer Gasturbine, bietet die Möglichkeit der direkten Bestimmung, also einer Inline-  
30 Bestimmung, der Zusammensetzung eines Fluidgemisches, da beispielsweise keine Fluidentnahme notwendig ist. Die Messungen können daher wesentlich schneller erfolgen und es treten keine Verzögerungen auf, die beispielsweise durch die Zuleitungen zu einem Analysator oder durch weitere Schritte zur  
35 Behandlung des Fluids, wie eine Kühlung, eine Trocknung oder eine Filterung, etc. auftreten. Weiterhin entfällt eine gesonderte Entsorgung des Fluids.

Durch die aufgrund der Anordnung der optischen Komponenten innerhalb der Messzelle möglich gewordenen geringen Abstände zwischen den optischen Komponenten und dem Messvolumen, bzw. zwischen den optischen Komponenten und dem Fokuspunkt ist der Aufbau der Messvorrichtung mechanisch sehr stabil. Hierbei kann der Abstand der optischen Komponenten zum Fokuspunkt bzw. zum Messvolumen den jeweiligen Anforderungen der Messvorrichtung angepasst werden. Bei kurzen optischen Wegen zwischen den einzelnen Komponenten und dem Messvolumen, also wenn die optischen Komponenten innerhalb der Messzelle angeordnet und somit nah am Messvolumen positioniert sind, besteht außerdem kaum ein Einfluss durch eventuelle Turbulenzen innerhalb des Fluidstroms auf die Strahl Lage der eingestrahlten Lichtquelle.

15

Die optischen Komponenten, die grundsätzlich unterschiedlich ausgebildet sein können, z.B. als Linse, als Spiegel oder als Prisma, weisen vorteilhafterweise kurze Brennweiten auf, wodurch eine hohe Ausnutzung des Raumwinkels von inelastisch gestreuter Strahlung erreicht werden kann.

20

Eine Platzierung der Optik mitten in einem Fluidstrom sorgt zusätzlich für eine schnelle Thermalisierung der optischen Komponenten, so dass z.B. eine aktive Heizung gegen Kondensation des Fluids an den optischen Komponenten entfällt. Weiterhin kann durch den kontinuierlichen Fluidstrom, der an den optischen Komponenten vorbeiströmt, eine externe Reinigung vermieden werden, so dass die Instandhaltungsarbeiten und Wartungskosten einer derartigen Messvorrichtung gering gehalten werden können.

30

Insgesamt bietet die Verwendung einer Messvorrichtung mit den vorgenannten Eigenschaften somit die Möglichkeit einer schnellen und sauberen Untersuchung von Fluidzusammensetzungen. Durch die Verwendung einer Fokusoptik, die innerhalb einer Messzelle angeordnet ist, können Prozessabläufe vereinfacht werden und durch verringerte Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten ebenso wie durch die Gewährleistung von thermi-

35

scher und mechanischer Stabilität der Messvorrichtung Kosten eingespart werden.

Um die Streustrahlung einer mit einem Lichtstrahl bestrahlten  
5 Probe zu detektieren, muss die Strahlung gesammelt und auf  
einen Detektor weitergeleitet werden. Die Messvorrichtung um-  
fasst demnach eine Abbildungsoptik zur Abbildung von  
Streustrahlung auf den Detektor, wobei zumindest eine  
optische Komponente der Abbildungsoptik zwischen dem Detektor  
10 und dem Fokuspunkt angeordnet ist. Die vom Fokuspunkt auf die  
optische Komponente treffende Streustrahlung kann  
anschließend zur weiteren Analyse auf den Detektor fokussiert  
werden.

15 Die Abbildungsoptik kann insbesondere mehrere optische Kompo-  
nenten umfassen. Diese Komponenten können entweder als Linsen  
oder als Spiegel ausgebildet sein und dienen der Sammlung und  
Fokussierung der Strahlung vom Fokuspunkt auf den Detektor.  
Weiterhin können die optischen Komponenten als Filter oder  
20 Blenden ausgestaltet sein, um zum Beispiel störende Hinter-  
grund-Strahlung oder Streulicht herauszufiltern oder den  
Lichtstrahl in seiner Geometrie, wie zum Beispiel im Hinblick  
auf den Strahl-Durchmesser, zu begrenzen.

25 Die optische Komponente der Abbildungsoptik ist eine  
innerhalb der Messzelle angeordnete erste Sammellinse. Die  
von einem Molekül gestreute inelastische Strahlung trifft auf  
die zwischen dem Detektor und dem Fokuspunkt positionierte  
erste Sammellinse, die das Licht bzw. die Strahlung auf den  
30 Detektor leitet. Durch die Anordnung dieser ersten  
Sammellinse innerhalb der Messzelle kann das auf die Sammel-  
linse auftreffende Licht linearisiert werden.

Die Fokusoptik zur Abbildung der Lichtquelle in einem Fokus-  
35 punkt umfasst eine innerhalb der Messzelle angeordnete zweite  
Sammellinse. Diese zweite Sammellinse kann an unterschiedli-  
chen Positionen angeordnet sein. Insbesondere befindet sich  
die zweite Sammellinse innerhalb der Messzelle zwischen dem

Fokuspunkt und der Lichtquelle. Das von der Lichtquelle emittierte Licht kann mittels dieser zweiten Sammellinse auf einen im Messvolumen befindlichen Fokuspunkt fokussiert werden, so dass sich die Lichtintensität in eben diesem Fokuspunkt erhöht.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

10 Bevorzugt weisen die Seitenwände der Messzelle bezüglich der durch die Lichtquelle, den Detektor und den Fokuspunkt definierten Ebene einen Abstand in einem Bereich zwischen 200 mm und 1000 mm auf. Derartige Abmessungen der Messzelle bieten die Möglichkeit, kurze Abstände zwischen den optischen Kompo-  
15 nenten einzustellen. Auf diese Weise können mechanische Schwankungen verhindert werden. Je kleiner das Messvolumen ist, desto näher lässt sich die Optik am Fokuspunkt platzieren. Bei einem kleinen Messvolumen ergeben sich somit besonders kurze optische Wege, so dass kaum ein Einfluss durch die  
20 Turbulenz der Fluidströmung auf die Strahllagen verzeichnet werden kann.

Um eine hohe Ausnutzung des Raumwinkels von inelastisch gestreuter Strahlung zu erreichen, werden vorteilhafterweise  
25 Linsen mit kurzen Brennweiten verwendet. Die Brennweite der jeweiligen Sammellinse ist bevorzugt kleiner als der halbe Abstand zwischen den Wänden der Messzelle. Durch die Verwendung von Linsen mit kurzen Brennweiten können weiterhin relativ große Winkel (z.B. bis zu  $90^\circ$ ) zwischen den mehrfach reflektierten Strahlen erreicht werden. Die Interferenz der  
30 Strahlen wird hierbei nur zu einem sehr feinen Interferenzmuster führen, das von der Optik vor dem Detektor nicht mehr aufgelöst werden kann.

35 Grundsätzlich kann das Fluid innerhalb der Messzelle stationär ruhen. Bevorzugt ist die Messzelle von einem Fluid durchströmbar. Als Fluide sind sowohl Flüssigkeiten, insbesondere jedoch Gase denkbar. Durch eine derartige InLine-Ausgestal-

tung können fluide Proben direkt während des Prozesses, also im Fluss, untersucht werden. Weiterhin erhält man die Möglichkeit, zeitabhängige Untersuchungen der Konzentrationen einzelner Bestandteile in Fluiden durchzuführen.

5

Um die Strahlintensität im Fokuspunkt zu erhöhen, ist in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ein erster Reflektor bezüglich des Fokuspunktes gegenüber der Lichtquelle positioniert, wobei zwischen dem ersten Reflektor und dem Fokuspunkt eine dritte Sammellinse innerhalb der Messzelle angeordnet ist. Der der Lichtquelle gegenüberliegende Reflektor wirft das auf ihn treffende Licht zurück. Somit gelangt Licht zurück in den Fokuspunkt, wodurch sich im Fokuspunkt innerhalb des Messvolumens die Lichtintensität besonders erhöht. Durch die Verwendung einer Sammellinse, die zwischen dem ersten Reflektor und dem Fokuspunkt innerhalb der Messzelle angeordnet ist, wird das vom Reflektor zurückgestrahlte Licht in der Sammellinse gesammelt und von dort direkt auf den Fokuspunkt fokussiert. Die Brennweite der Sammellinse und auch der Abstand der Sammellinse zum Reflektor kann hierbei den Abmessungen der Messzelle angepasst sein.

Bevorzugt ist ein zweiter Reflektor bezüglich des Fokuspunktes gegenüber dem Detektor positioniert. Zwischen dem zweiten Reflektor und dem Fokuspunkt ist innerhalb der Messzelle eine vierte Sammellinse angeordnet. Durch die Verwendung eines zweiten Reflektors, der dem Detektor gegenüberliegend positioniert ist, kann das inelastisch vom Detektor weg gestreute Licht des Fluids erneut in den Fokuspunkt zurück reflektiert werden, wodurch eine weitere Vervielfachung des Lichtes und damit eine Erhöhung des Raman-Signals erreicht werden kann.

Um die Intensität des Lichtes im Fokuspunkt noch weiter zu erhöhen, ist bevorzugt ein dritter Reflektor bezüglich des Fokuspunktes gegenüber dem ersten Reflektor positioniert. Durch eine derartige Anordnung durchläuft der Lichtstrahl den Fokuspunkt mehrfach, so dass sich die Lichtintensität im Fokuspunkt vervielfacht.

Insgesamt kann also durch die Verwendung mehrerer Reflektoren und das damit verbundene mehrmalige Durchlaufen des Fokuspunktes durch den Lichtstrahl eine Intensitätsvervielfachung des Lichtes erreicht werden, die der zu untersuchenden Fluid- oder Fluidzusammensetzung bzw. Konzentration angepasst werden kann. Diese Ausgestaltung bietet die Möglichkeit, auch geringe Konzentrationen innerhalb eines Fluids zu bestimmen.

10 In einer weiter bevorzugten Ausführung der Erfindung sind der erste Reflektor und/oder der zweite Reflektor und/oder der dritte Reflektor jeweils als ein Retroreflektor ausgebildet. Ein Retroreflektor reflektiert das auf ihn treffende Licht weitgehend unabhängig von seiner Ausrichtung in Richtung zurück zur Strahlungsquelle. Der Retroreflektor, beispielsweise ein sogenannter Tripelspiegel, ist üblicherweise durch drei Spiegel ausgebildet, die jeweils senkrecht zueinander stehen. Bei Verwendung eines Retroreflektors läuft der reflektierte Strahl immer parallel zum einfallenden Strahl. Der Strahlengang ist hierbei unempfindlich gegenüber thermischen Einflüssen ebenso wie gegenüber mechanischer Verkippung des Retroreflektors. Auch bei einer Änderung der Position des Reflektors, wie sie zum Beispiel durch eine Temperaturänderung oder eine Erschütterung der Messvorrichtung hervorgerufen werden kann, bleibt die Strahlführung aufgrund eines nur geringen Versatzes des Lichtstrahls stabil.

Das aus einem Fokuspunkt über eine Sammellinse auf einen Retroreflektor auftreffende Licht wird aufgrund der Parallelität von Einfalls- und Austrittsstrahlung nach Durchtritt durch die Sammellinse direkt in den Fokuspunkt zurück reflektiert, woraus eine Vervielfachung des Lichtes resultiert. Weiterhin ist aufgrund des durch einen Retroreflektor bewirkten seitlichen Versatzes Licht nach mehrfachem Durchlaufen kontrolliert zum Beispiel in einem Strahlfänger absorbierbar. Insgesamt bietet die Verwendung eines Retroreflektors im Vergleich zu einem anders ausgebildeten Reflektor, wie beispielsweise einem Hohlspiegel, die Möglichkeit, Licht kontrolliert zu re-

flektieren, und die Anzahl der Lichtdurchläufe im Messvolumen festzulegen, so dass eine definierte Intensitätsvervielfachung im Fokuspunkt erreicht werden kann.

5 In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung umfasst die Messvorrichtung eine Mehrzahl von Lichtquellen, die jeweils über ein Durchtrittsfenster in die Messzelle eingekoppelt sind und die mittels der Fokusoptik im Fokuspunkt fokussiert sind. Durch die Verwendung mehrerer Lichtquellen  
10 und damit auch mehrerer Lichtstrahlen kann unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Strahlen kollinear sind, nach dem Durchlaufen einer Sammellinse ebenfalls die Lichtintensität in einem gemeinsamen Fokuspunkt innerhalb der Messzelle erhöht werden. Weiterhin erhöht eine derartige Ausgestaltung  
15 die Ausfallsicherheit der Messvorrichtung, da auch bei dem Ausfall einer Lichtquelle die Messungen nicht unterbrochen werden müssen. Geeignete Lichtquellen sind zum Beispiel Laser oder Leuchtdioden mit Kollimatoroptik. Zusätzlich stellt die Verwendung mehrerer schwächerer Lichtquellen statt einer ein-  
20 zigen intensiveren eine deutliche Kostenersparnis dar (beispielsweise wächst der Preis für einen Diodenlaser stärker als linear mit der Ausgangsleistung). Des Weiteren kann durch Einkopplung der Lichtstrahlen über ein Durchtrittsfenster in die Messzelle nur eine Fokusoptik verwendet werden, was die  
25 Kosten weiter verringert und den Aufbau vereinfacht. Insgesamt können die einzelnen Lichtquellen verschiedene Abstände zur optischen Achse aufweisen, sie müssen also nicht symmetrisch um die optische Achse angeordnet sein.

30 Um die Messvorrichtung derart auszugestalten, dass die Lichtintensität zur Untersuchung eines bestimmtem Fluid bzw. einer bestimmten Zusammensetzung ausreicht, ist bevorzugt ein Absorber umfasst, welcher in Kombination mit einem oder jedem Reflektor zur Absorption des lateral versetzten Lichtstrahls  
35 dient. Hierbei können z.B. ein Beamdump oder Absorberplatten verwendet werden, die mit einer Beschichtung versehen sind, die das auftreffende Licht komplett absorbieren. Der Absorber ist insbesondere an der Stelle des Strahlengangs angeordnet,

an dem der Strahl kontrolliert unterbrochen werden soll. Der Absorber kann beispielsweise zwischen der zweiten Sammellinse und der Lichtquelle positioniert sein. Er dient als Strahlenfänger und absorbiert die auf ihn treffende Strahlung, so  
5 dass die Strahlung nicht mehr in die Messzelle zurückgelangen kann.

Die zweitgenannte Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Messvorrichtung mit der Merkmalskombination  
10 gemäß Anspruch 12.

Demnach umfasst die Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-Spektrums eine Messzelle, die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern aufweist, eine außerhalb der Messzelle angeordnete  
15 Lichtquelle, einen Detektor, der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle angeordnet ist, eine Fokusoptik zur Abbildung der Lichtquelle in einem Fokuspunkt und einen ersten Reflektor, der bezüglich des Fokuspunkts gegenüber der Lichtquelle positioniert ist, wobei der Reflektor als ein Retroreflektor ausgebildet ist.  
20

In einem ersten Schritt geht die Erfindung von der Tatsache aus, dass bei der Aufnahme eines Raman-Spektrums in einem Fluid die Lichtintensität im Fokuspunkt besonders hoch sein  
25 muss, da Raman-Streuung, also die inelastische Streuung des Lichtes an einem Molekül, sehr geringe Intensitäten hat. Üblicherweise wird die Lichtintensität durch die Verwendung von Spiegeln dadurch erhöht, dass das auf die Spiegel einfallende Licht in das Messvolumen zurück reflektiert wird. Bei  
30 der Verwendung zweier gegenüberliegend positionierter Spiegel wird das Licht einige Male innerhalb des Messvolumens hin und her reflektiert, so dass sich die Lichtintensität im Messvolumen insgesamt erhöht. Hierzu werden vom Fachmann üblicherweise Hohlspiegel oder auch Prismen eingesetzt. Nachteilig  
35 bei diesen Spiegeln und Prismen ist allerdings, dass eine Verkippung eines Hohlspiegels bzw. des Prismas, wie sie durch thermische oder mechanische Störungen verursacht werden kann, einen deutlichen Versatz des Strahlengangs bewirkt. Die

Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an einer Messvorrichtung mit einem Hohlspiegel sind dementsprechend kosten- und zeitintensiv, was ebenso für die erforderliche Justierung der Prismen bei der Montage gilt.

5

Zudem liefern Prismen bei Fehlanstrahlung/Fehlausrichtung keine vollständige Abbildung. Derartige Abbildungen weisen nämlich linienartige Lücken in Form von schwarzen Streifen auf, wodurch ursprünglich enthaltene Informationen im zurück gespiegelten Lichtspektrum verloren gehen. Außerdem liefern 10 Prismen aufgrund der unvermeidbaren Lichtdispersion im Glasmaterial einen chromatischen Abbildungsfehler, der bereits bei geringen Abweichungen von der idealen Justage eine saubere und wellenlängenunabhängige Abbildung des 15 Fokusbereichs des primären Lichtstrahles auf einen Detektor erschwert.

In einem zweiten Schritt erkennt die Erfindung, dass Retroreflektoren das Licht stabiler und von äußeren Einflüssen 20 unabhängiger und somit kontrolliert und planbar durch eine zu untersuchende Probe leiten. Die Erfindung sieht demnach vor, einen Retroreflektor zur Reflektion von Licht zu verwenden.

Der von einem Retroreflektor zurück reflektierte Lichtstrahl 25 läuft mit einem gewissen Lateralversatz parallel zum einfallenden Strahl durch die Probe. Der Strahlengang eines Retroreflektors ist unempfindlich gegenüber thermischen Einflüssen ebenso wie gegenüber mechanischer Verkipfung. Ändert sich die Position des Retroreflektors, beispielsweise aufgrund eines 30 Temperaturanstiegs, bleibt die Strahlführung aufgrund eines nur geringen Versatzes des Lichtstrahls nach der Reflektion stabil und auch die Parallelität des Strahlengangs bleibt unabhängig von einer Verkipfung bestehen. Das aus einem Fokuspunkt über eine Sammellinse auf einen Retroreflektor auftref- 35 fende Licht wird aufgrund der Parallelität von Einfalls- und Austrittsstrahlung nach Durchtritt durch die Sammellinse in den Fokuspunkt zurück reflektiert, woraus eine Vervielfachung des Lichtes resultiert. Die Kombination aus einer Sammel-

linse, die das Licht parallelisiert, und einem Reflektor, auf den das Licht weitergeleitet wird, ersetzt besonders vorteilhaft die optische Funktion eines Hohlspiegels.

5 Mit anderen Worten bietet die Verwendung eines Retroreflektors die Möglichkeit, den über ein Durchtrittsfenster in die Messzelle eingekoppelten Lichtstrahl mehrfach zu reflektieren und nach jeder Reflektion wieder durch den gleichen Fokus-  
10 Anregungs- oder Streulicht kann die Intensität im Fokuspunkt zur Untersuchung einer Fluidzusammensetzung effektiv genutzt werden. Weiterhin ist der Strahlengang unempfindlicher gegen thermisch bedingte Verkippungen der optischen Elemente als z.B. die Verwendung eines Hohlspiegels.

15

Überraschenderweise ergibt sich durch eine derartig ausgestaltete Messvorrichtung für den Fachmann die Möglichkeit, durch die Verwendung eines Retroreflektors einen besonders stabilen Strahlengang und damit verlässliche Messergebnisse  
20 zu erzielen. Die Prozessabläufe während einer Messung werden aufgrund geringerer Wartungsarbeiten vereinfacht und durch die Gewährleistung eines stabilen Strahlengangs sind die Messergebnisse reproduzierbar.

25 Weiterhin kann durch die Kombination einer Sammellinse und eines Retroreflektors eine Trennung von Fokussierung und Reflektion erreicht werden. Im Gegensatz zu einem Hohlspiegel kann die Sammellinse als separate optische Komponente zur Fokussierung der Streustrahlung näher an das Messvolumen ge-  
30 bracht werden. Hierdurch können die optischen Wege zwischen den Komponenten der Fokusoptik und dem Messvolumen verkürzt werden.

Insgesamt bietet also die Verwendung einer Messvorrichtung  
35 mit einem Retroreflektor die Möglichkeit, das verwendete Licht kontrolliert in einem Fokuspunkt zu sammeln und durch eine derartige Erhöhung der Lichtintensität im Fokuspunkt die

Messgenauigkeit bei der Untersuchung einer Fluidzusammensetzung zu erhöhen.

Für die Ausgestaltungen der einzelnen Komponenten dieser  
5 zweiten Messvorrichtung gilt das bereits zur erstgenannten  
Messvorrichtung Ausgeführte. Dabei können die genannten Vor-  
teile der vorgenannten Weiterbildungen sinngemäß auf die  
zweite Messvorrichtung übertragen werden.

10 Die drittgenannte Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß  
gelöst durch eine Messvorrichtung mit der Merkmalskombination  
gemäß Anspruch 29.

Demnach umfasst die Messvorrichtung zur Aufnahme eines Raman-  
15 Spektrums eine Messzelle, die eine Anzahl von Durchtritts-  
fenstern aufweist, wenigstens eine außerhalb der Messzelle  
angeordnete Lichtquelle, einen Detektor, der in einem Winkel  
 $\alpha$  zur Lichtquelle angeordnet ist und eine Fokuso-  
ptik zur Abbildung der Lichtquelle in einem Fokuspunkt, wobei mehrere  
20 Lichtquellen über ein Durchtrittsfenster in die Messzelle  
eingekoppelt sind, die mittels der Fokuso-  
ptik in einem gemeinsamen Fokuspunkt fokussiert sind

Ausgehend von den an die Messvorrichtung gestellten Anforder-  
25 ungen geht die Erfindung in einem ersten Schritt davon aus,  
dass zur Aufnahme eines Raman-Spektrums in einer Fluidmi-  
schung die Lichtintensität hoch genug sein muss, um ein aus-  
wertbares Signal zu erhalten. Bei der Verwendung einer ein-  
zelnen Lichtquelle, beispielsweise einem Laser, wie er übli-  
30 cherweise vom Fachmann verwendet wird, kann beispielsweise  
bei einem Ausfall des Lasers die Messvorrichtung nicht weiter  
betrieben werden. Insbesondere im laufenden Betrieb bei gro-  
ßen Unternehmen ist ein Ausfall einer Messvorrichtung und  
die damit verbundenen Wartungsarbeiten und Reparaturkosten  
35 äußerst unerwünscht.

Um mit einem einzelnen Laser, der im Hochleistungsdauerbe-  
trieb beispielsweise eine Lebensdauer von 10.000 bis 15.000

Stunden hat und somit für eine Langzeitmessung von nur 1 Jahr konzipiert ist, Fluid- und besonders Gaszusammensetzungen analysieren, fallen hohe Kosten an. Allerdings ist es für den Fachmann bis zum jetzigen Zeitpunkt unumgänglich, Hochleistungslaser zu verwenden, da die Lichtintensität im Messvolumen hoch genug sein muss, um die Fluide zu untersuchen.

In einem zweiten Schritt erkennt die Erfindung, dass diese Nachteile überwunden werden, wenn mehrere monochromatische Strahlungsquellen verwendet werden, deren kollineare Strahlen in einem gemeinsamen Fokuspunkt zusammenlaufen. Weiterhin ermöglicht die Redundanz der Lichtquellen sogar im laufenden Betrieb einen Austausch defekter Einzelquellen, ohne eine Messung unterbrechen zu müssen. Somit ist es nicht einmal für Wartungs- und Reparaturphasen notwendig, einen laufenden Betrieb zu unterbrechen.

Bei einem Ausfall einer Lichtquelle resultiert zwar eine Verringerung der Lichtintensität im Fokuspunkt, wodurch sich auch das Messsignal verringert, allerdings kann bei entsprechender Wahl der Ausgangsintensität auch bei einem Ausfall einer Lichtquelle immer noch eine vollkommen ausreichende Genauigkeit der Messung sichergestellt werden. Eine derartige Ausfallsicherheit ist insbesondere für Anwendungen in der Prozess- und Kraftwerkstechnik sowie auch im medizinischen Bereich von großer Wichtigkeit. Zusätzlich kann der Einsatz mehrerer schwächerer Lichtquellen anstatt einer einzigen intensiven Lichtquelle eine deutliche Kostenersparnis mit sich bringen.

Mit anderen Worten bietet eine Messvorrichtung mit mehreren redundanten Lichtquellen, vorzugsweise drei bis zwölf Lichtquellen, eine hohe Ausfallsicherheit, einen kostengünstigen Betrieb und einen geringen Wartungsaufwand.

Der Abstand der Lichtquellen zur optischen Achse kann unterschiedlich sein. Unabhängig von den Abständen können die von den Lichtquellen emittierten Lichtstrahlen in einem gemeinsa-

men Fokuspunkt innerhalb der Messzelle bzw. des Detektionsvolumens fokussiert werden.

Für die Ausgestaltungen der einzelnen Komponenten der dritten  
5 Messvorrichtung gilt das bereits zur erstgenannten Messvorrichtung Ausgeführte. Weiterhin können die genannten Vorteile der vorgenannten Weiterbildung der ersten Ausgestaltung sinngemäß auf die dritte Messvorrichtung übertragen werden.

10 Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

FIG 1 eine Draufsicht auf eine Messvorrichtung mit einer  
Messzelle, die von einem Laserstrahl durchstrahlt  
15 wird, und in der eine Abbildungsoptik und eine Fokuso-  
ptik innerhalb der Messzelle angeordnet sind,

FIG 2 eine Draufsicht auf eine Messvorrichtung, bei wel-  
cher die Abbildungsoptik und die Fokuso-  
20 ptik außerhalb der Messzelle positioniert sind, wobei die  
Messvorrichtung drei Reflektoren aufweist,

FIG 3 eine Draufsicht auf eine Messvorrichtung, bei der  
eine Abbildungsoptik und eine Fokuso-  
25 ptik innerhalb der Messzelle angeordnet sind und die Reflektoren  
aufweist, und

FIG 4 einen Ausschnitt aus einer Messvorrichtung mit zwei  
Lichtquellen, die über eine Sammellinse in die  
30 Messzelle eingekoppelt werden und einen gemeinsamen  
Fokuspunkt durchlaufen.

FIG 1 zeigt eine Draufsicht auf eine Messvorrichtung 1 zur  
35 Aufnahme eines Raman-Spektrums. Die Messvorrichtung 1 umfasst  
eine Messzelle 3, die mit einem rechteckigen Querschnitt aus-  
gebildet ist. Die Messzelle 3 hat vier Durchtrittsfenster 5,  
die sich jeweils an den Seitenwänden 7 der Messzelle 3 befin-

den. Jeweils zwei der Durchtrittsfenster 5 sind einander gegenüberliegend positioniert.

Die Messzelle 3 ist innerhalb eines durchströmten Rohres einer Gasturbine angeordnet. Das Rohr bzw. die Gasturbine sind in der Figur nicht gezeigt. Durch die Positionierung der Messzelle 3 innerhalb des Rohres kann eine Inline-Raman-Messung vorgenommen werden, es besteht also die Möglichkeit, während des laufenden Prozesses Spektren zur Bestimmung der Fluidzusammensetzung aufzunehmen und so zu jedem gewünschten Zeitpunkt die Konzentration einer Komponente des Fluids zu bestimmen.

Außerhalb der Messzelle 3 ist eine als Laser ausgebildete Lichtquelle 9 angeordnet, die einen Lichtstrahl 11 emittiert. (Der Strahlengang des Lichtstrahls 11 ist mit Pfeilen verdeutlicht.) In einem Winkel von  $\alpha = 90^\circ$  zur Lichtquelle 9 ist ein Detektor 13 angeordnet, der sich außerhalb der Messzelle 3 hinter den Durchtrittsfenstern 5 befindet. Durch einen Winkel von  $90^\circ$  kann verhindert werden, dass Licht auf den Detektor rückgestreut wird. Da Rückstreuung ein breites Untergrundsignal hervorrufen kann, kann die Empfindlichkeit der Messungen gestört werden und die gewünschte Genauigkeit nicht erreicht werden.

Die Messzelle 3 wird von einem Fluid durchströmt, welches nicht kenntlich gemacht ist. Das Fluid ist insbesondere ein Brenngas, dessen Zusammensetzung mittels der Messvorrichtung 1 unter Verwendung von Raman-Spektroskopie ermittelt werden kann.

Die Messvorrichtung 1 ist weiterhin mit einer Abbildungsoptik 15 ausgestattet, die teilweise innerhalb der Messzelle 3 angeordnet ist. Die Abbildungsoptik 15 dient der Abbildung der Streustrahlung, die von einem die Messzelle 3 durchströmenden Fluid herrührt. Die Streustrahlung wird hierbei auf den Detektor 13 fokussiert. Eine derartige Positionierung der Abbildungsoptik 15 ermöglicht einer Inline-Bestimmung eines

Fluids. Weiterhin kann eine Verschmutzung, zum Beispiel durch aus der Umgebungsluft herrührende Staubpartikel vermieden werden.

5 Die Abbildungsoptik 15 beinhaltet verschiedene optische Komponenten, die vorliegend als Sammellinsen 17, 19 ausgebildet sind. Die Sammellinsen 17, 19 befinden sich innerhalb der Messzelle 3 und sind hinter den Durchtrittsfenstern 5 positioniert. Die Sammellinsen 17, 19 befinden sich direkt im Gasstrom und können so vor Verschmutzungen geschützt werden.  
10

Die Sammellinse 19 ist innerhalb der Messzelle 3 zwischen dem Fokuspunkt 23 und dem Durchtrittsfenster 5 positioniert und leitet auf sie treffende Strahlung auf den Detektor 13.

15

Die Sammellinse 17 ist der ersten Sammellinse 19 gegenüberliegend ebenfalls zwischen dem Fokuspunkt und einem weiteren Durchtrittsfenster 5 angeordnet. Außerhalb der Messzelle 3 ist hinter dem Durchtrittsfenster 5 ein als Retroreflektor ausgebildeter Reflektor 20 angeordnet. Die im Fokuspunkt 23 fokussierte Streustrahlung wird in Richtung der Sammellinse 17 gestreut. Die Sammellinse 17 parallelisiert das auf sie auftreffende Licht und leitet es in Richtung auf den Reflektor 20 weiter, wo es erneut reflektiert und zurück in den Fokuspunkt 23 fokussiert wird.  
20  
25

Weiterhin befindet sich innerhalb der Messzelle 3 eine Fokuso-  
ptik 21, die zur Abbildung der Lichtquelle 9, bzw. der von  
der Lichtquelle 9 emittierten Lichtstrahlen 11 in einen  
30 Fokuspunkt 23 dient. Hierzu ist zwischen dem Fokuspunkt 23  
und der Lichtquelle 9 eine weitere Sammellinse 25 innerhalb  
der Messzelle 3 positioniert. Die Sammellinse 25 bündelt das  
einfallende Licht und fokussiert es auf den Fokuspunkt 23,  
der sich in FIG 1 mittig in der Messzelle 3 befindet.

35

Auf der der Lichtquelle 9 bezüglich des Fokuspunkts 23 gegenüberliegenden Seite der Messzelle 3 ist ein erster Reflektor 27 angeordnet. Zwischen dem Reflektor 27 und dem Fokuspunkt

23 ist eine vierte Sammellinse 29 angeordnet, die das Licht aus dem Fokuspunkt 23 aus den Reflektor 27 leitet. Der Reflektor 27 ist außerhalb der Messzelle 3 angeordnet und als ein sogenannter Retroreflektor ausgestaltet. Der Retroreflektor 27 reflektiert das auf ihn treffende Licht mit einem Lateralversatz parallel zur Einfallsrichtung. Somit kann besonders einfach und effektiv ein klar definierter Strahlengang festgesetzt werden.

10 Der Fokuspunkt 23 kann grundsätzlich an einem beliebigen Punkt innerhalb der Messzelle 3 liegen, die Position wird hierbei allgemein durch die Brennweiten  $f$  der Sammellinsen 17, 19, 25, 29 bestimmt. Somit besteht die Möglichkeit, die Position des Fokuspunkts 23 in Abhängigkeit der Brennweiten  $f$  15 der einzelnen Sammellinsen 17, 19, 25, 29 zu ändern.

Durch die Verwendung von Retroreflektoren kann insgesamt die Messvorrichtung vor einem Versatz des Strahlengangs geschützt werden. Auch bei einer Änderung der Position oder der Ausrichtung eines Retroreflektors 20, 27, zum Beispiel durch 20 eine Temperaturänderung oder eine Erschütterung, bleibt die Strahlführung aufgrund eines nur geringen Versatzes des Lichtstrahls 11 stabil.

25 Der Retroreflektor 27 reflektiert das einfallende Licht zurück auf die Sammellinse 29, die die Strahlen auf den Fokuspunkt 23 fokussiert. Auf diese Weise wird der Fokuspunkt 23 zwei Mal definiert von dem Lichtstrahl 11 durchlaufen, so dass sich die Intensität der Strahlung im Fokuspunkt 23 verdoppelt. Auf diese Weise kann die Signalintensität der Raman-Strahlung erhöht werden. 30

Die Raman-Strahlung wird im Fokuspunkt 23 gestreut und trifft auf die Sammellinse 19 auf. Die Sammellinse 19, die innerhalb 35 der Messzelle 3 zwischen dem Detektor 13 und dem Fokuspunkt 23 positioniert ist, parallelisiert das auftreffende Licht, woraufhin es durch ein Durchtrittsfenster 5 auf eine weitere als Sammellinse 31 ausgebildete optische Komponente trifft.

Die fünfte Sammellinse 31 ist ebenso wie die Sammellinsen 17, 19 und der Retroreflektor 20 Teil der Abbildungsoptik 15 zur Sammlung der Streustrahlung.

5 Im Unterschied zu den Sammellinsen 17, 19 ist die Sammellinse 31 außerhalb der Messzelle 3 angeordnet. In der Sammellinse 31 wird das Licht erneut gebündelt und auf den Detektor 13 fokussiert. Über die Sammellinsen 19, 31 ist die Fokussierung auf den Detektor 13 einstellbar. Der Detektor 13 ist vorlie-  
10 gend mit einem Bandpasssperrfilter ausgebildet, an den ein CCD-basierter Spektralanalysator angeschlossen ist. Durch einen derartigen Detektor kann der von der Lichtquelle 9 emittierte primäre Lichtstrahl 11 herausgefiltert werden.

15 Im Anschluss wird die Strahlung mittels eines Gitters und eines Zeilen-CCD-Spektrometers spektral zerlegt, so dass aus dem Raman-Spektrum eine Aussage über die Zusammensetzung des Gases getroffen werden kann. Die zuvor beschriebenen einzelnen Komponenten des Detektors sind in FIG 1 nicht näher ge-  
20 kennzeichnet.

Allgemein kann der Abstand der Sammellinsen 17, 19, 25, 29 zu den Seitenwänden 7 der Messzelle 3 vor der ersten Verwendung der Vorrichtung bzw. vor einem Einbau in Strömungsrohr einer  
25 Gasturbine eingestellt werden, so dass er den gestellten Anforderungen entspricht. Vorteilhafterweise sind die Sammellinsen 17, 19, 25, 29 in einem möglichst kurzen Abstand zum Fokuspunkt 23, bzw. zum Messvolumen angeordnet. Durch eine derartige Positionierung der Sammellinsen 17, 19, 25, 29 be-  
30 steht die Möglichkeit, eine erhöhte mechanische Stabilität der Messvorrichtung 1 zu erreichen. Durch eine nahe Positionierung der Sammellinsen 17, 19, 25, 29 am Messvolumen lassen sich kurze optischen Wege innerhalb der Messzelle 3 erhalten. Hierdurch haben insbesondere turbulente Gasströmungen oder  
35 Verwirbelungen kaum einen Einfluss auf die Lage des Lichtstrahls 11.

Die Sammellinsen 17, 19, 25, 29 haben verschiedene Brennweiten  $f_1$ ,  $f_2$ , die geringer sind als der halbe Abstand zwischen den Seitenwänden 7 der Messzelle 3. Die Sammellinsen 17, 19 der Abbildungsoptik 15 haben die gleiche Brennweite  $f_1$ , während die Sammellinsen 25, 29 der Fokuso-  
5 optik 21 die gleiche Brennweite  $f_2$  haben. Durch die Brennweiten  $f_1$ ,  $f_2$  der Sammellinsen 17, 19, 25, 29 wird die Position des Fokuspunkts 23 innerhalb der Messzelle bestimmt. In FIG 1 ist der Fokuspunkt 23 mittig innerhalb der Messzelle 3 positioniert. Insgesamt  
10 kann die Brennweite  $f$  einer jeden Sammellinse 17, 19, 25, 29 unterschiedlich sein, so dass auch eine Messvorrichtung mit einer Anzahl von Sammellinsen 17, 19, 25, 29 denkbar ist, bei der jede Sammellinse eine andere Brennweite  $f$  aufweist.

15 Die Brennweiten  $f_1$ ,  $f_2$  der Sammellinsen 17, 19, 25, 29 können vor dem Einbringen in die Messvorrichtung 1, bzw. die Messzelle 3 entsprechend den Abmessungen einmalig ausgewählt werden. Hierbei muss der Abstand der Sammellinse 17, 19, 25, 29 vom Fokuspunkt 23 immer der Brennweite  $f_1$ ,  $f_2$  der jeweiligen  
20 Sammellinse 17, 19, 25, 29 entsprechen. Besonders bei kleinen Brennweiten  $f$  kann eine hohe Ausnutzung des Raumwinkels von inelastisch gestreuter Strahlung erreicht werden. Weiterhin ergeben sich hohe Winkel ( $> 90^\circ$ ) zwischen den mehrfach reflektierten Strahlen.

25 Insgesamt bietet die Tatsache, dass die Sammellinsen 17, 19, 25, 29 innerhalb der Messzelle 3 und somit direkt im zu untersuchenden Fluid angeordnet sind, die Möglichkeit, ein Gas schnell und präzise zu analysieren und eine Verschmutzung der  
30 optischen Komponenten zu verhindern.

Anstelle des Retroreflektors 20 könnte die Messvorrichtung 1 an dieser Stelle auch mit einem weiteren Detektor ausgestattet sein.

35 Zwischen der Sammellinse 25 und der Lichtquelle 9 ist zusätzlich ein Absorber 35 positioniert. Der Absorber 35 ist als Absorberplatte ausgebildet und an der Stelle des Strahlen-

gangs angeordnet, an dem der Strahl kontrolliert unterbrochen werden soll. Er ist mit einer absorbierenden Beschichtung versehen. Er dient als ein Strahlenfänger und absorbiert die auf ihn treffende Strahlung, so dass die Strahlung nicht mehr  
5 in die Messzelle 3 zurückgelangen kann.

FIG 2 zeigt eine Draufsicht auf eine weitere Messvorrichtung 41 zur Aufnahme eines Raman-Spektrums. Wie auch in FIG 1 umfasst die Messvorrichtung 41 eine mit einem rechteckigen  
10 Querschnitt ausgebildete Messzelle 3 mit vier Durchtrittsfenster 5, die sich jeweils an den Seitenwänden 7 der Messzelle 3 befinden.

Sowohl die Lichtquelle 9 als auch der Detektor 13 und die  
15 Retroreflektoren 20, 27 sind außerhalb der Messzelle 3 positioniert. Die optischen Komponenten der Fokusoptik 15 und der Abbildungsoptik 19 sind als Sammellinsen 17, 19, 25, 29 ausgebildet und ebenfalls außerhalb der Messzelle 3 angeordnet.

20 Im Unterschied zu FIG 1 ist in FIG 2 ein dritter als Retroreflektor ausgebildeter Reflektor 43 bezüglich des Fokuspunktes 23 direkt gegenüber dem ersten Retroreflektor 27 positioniert. Auch dieser Retroreflektor 43 reflektiert das einfallende Licht durch die Sammellinse 25 zurück in den Fokuspunkt  
25 23. Von dort wird der Lichtstrahl 11 ein weiteres Mal auf den gegenüberliegenden Retroreflektor 27 geleitet, so dass der Lichtstrahl 11 den Fokuspunkt 23 insgesamt vier Mal durchläuft. (Der Strahlengang ist analog zu FIG 1 mit Pfeilen gekennzeichnet.) Durch eine derartige Anordnung erhöhen sich  
30 die Lichtintensität und die Signalstärke der Raman-Streuung innerhalb der Messzelle 3, so dass ein besseres Messsignal erhalten werden kann.

Auch in der Messvorrichtung 41 gemäß FIG 2 ist ein Absorber  
35 45 zwischen der Sammellinse 25 und der Lichtquelle 9 positioniert, der eine Mehrzahl von Durchtrittsöffnungen aufweist, die in FIG 2 nicht kenntlich gemacht sind. An der Stelle des Strahlengangs, an dem der Lichtstrahl 11 kontrolliert unter-

brochen werden soll, absorbiert der Absorber 43 die auf ihn treffende Strahlung. An den anderen Stellen sind Durchtrittsöffnungen eingebracht, die die Strahlung passieren lassen und entweder auf den Retroreflektor 43 leiten oder zurück in die Messzelle 3.

FIG 3 zeigt eine weitere Messvorrichtung 51, die der Ausgestaltung in FIG 2 entspricht. Die Sammellinsen 17, 19, 25, 29 der Abbildungsoptik 15 und der Fokusoptik 21 sind nun jedoch innerhalb der Messzelle 3 angeordnet. Zusätzlich weist die Messvorrichtung gemäß der FIG 3 drei Retroreflektoren 20, 27, 43 auf, die den von der Lichtquelle 9 emittierten Lichtstrahl 9 viermal durch den Fokuspunkt 23 leiten und somit die Signalintensität der Streuung des zu untersuchenden Gases erhöhen.

Die Messvorrichtung 51 bietet aufgrund der Anordnung der optischen Komponenten innerhalb der Messzelle 3 und der Verwendung von drei Retroreflektoren die Möglichkeit, eine Inline-Raman-Messung mit einer hohen Intensität der Strahlung innerhalb des Fokuspunkts 23 durchzuführen.

FIG 4 zeigt einen Teil einer Messzelle 3 mit zwei Lichtquellen 61, 63, die jeweils einen Lichtstrahl 65, 67 emittieren. Die Lichtstrahlen 65, 67 verlaufen kollinear und werden über das Durchtrittsfenster 5 in die Messzelle 3 eingekoppelt. Die Lichtquellen 61, 63 weisen die gleichen Abstände  $x_1$ ,  $x_2$  von der optischen Achse 68 auf.

Es ist jedoch grundsätzlich auch möglich, dass die Lichtquellen 61, 63 nicht symmetrisch um die optische Achse 68 angeordnet sind, also dass die Abstände  $x_1$  und  $x_2$  unterschiedlich groß sind. Unabhängig von den Abständen  $x_1$ ,  $x_2$  der Lichtquellen von einer optischen Achse werden die emittierten Lichtstrahlen in einen gemeinsamen Fokuspunkt 71 fokussiert.

In der hinter dem Durchtrittsfenster 5 positionierten Sammellinse 69 werden die Lichtstrahlen 65, 67 gesammelt und auf

einen gemeinsamen Fokuspunkt 71 fokussiert. Durch die Redundanz der Lichtstrahlen 65, 67 lässt sich beispielsweise die Intensität der Strahlung im Fokuspunkt 71 erhöhen, und damit ein verstärktes Raman-Signal erhalten. Weiterhin kann eine  
5 Messvorrichtung auch bei einem Ausfall einer der beiden Lichtquellen 61, 63 noch betrieben werden. Insgesamt ist auch die Verwendung von mehr als zwei Lichtquellen denkbar.

Mit anderen Worten bietet eine Messvorrichtung 1, 41, 51, wie  
10 sie in einer der FIG 1 bis 4 beschrieben ist, eine sichere und leicht zu handhabende Möglichkeit, die Brenngaszusammensetzung eines Gasgemisches durch die kontrollierte Reflektion und Absorption eines Analyselichtstrahls innerhalb eines Messvolumens zu bestimmen. Sowohl jedes einzelne System als  
15 auch insbesondere die Kombination einer Anzahl von Reflektoren mit einer innerhalb eines Messvolumens angeordneten Optik und die zusätzliche Verwendung mehrerer Strahlenquellen bietet eine hervorragende Möglichkeit zur Untersuchung einer Gaszusammensetzung.

## Patentansprüche

1. Messvorrichtung (1, 41, 51) zur Aufnahme eines Raman-  
5 Spektrums, umfassend eine Messzelle (3), die eine Anzahl  
von Durchtrittsfenstern (5) aufweist, eine außerhalb der  
Messzelle angeordnete Lichtquelle (9, 61, 63), einen Detek-  
tor (13), der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle (9, 61, 63)  
angeordnet ist und eine Fokusoptik (21) zur Abbildung der  
10 Lichtquelle (9, 61, 63) in einen Fokuspunkt (23, 71),  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Abbildungsoptik (15) zur Abbildung von Streustrahlung  
auf den Detektor (13) umfasst ist, und dass zumindest eine  
optische Komponente der Abbildungsoptik (15) zwischen dem  
15 Detektor (13) und dem Fokuspunkt (23, 71) angeordnet ist,  
welche als erste Sammellinse (19) ausgebildet innerhalb der  
Messzelle (3) angeordnet ist  
und  
die Fokusoptik (21) innerhalb der Messzelle (3) angeordnet  
20 ist und zur Abbildung der Lichtquelle (9, 61, 63) im  
Fokuspunkt (23, 71) eine innerhalb der Messzelle (3)  
angeordnete zweite Sammellinse (25) umfasst, die zwischen  
der Lichtquelle (9, 61, 63) und dem Fokuspunkt (23, 71) po-  
sitioniert ist.
- 25
2. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Seitenwände (7) der Messzelle (3) bezüglich der durch  
die Lichtquelle (9, 61, 63), den Detektor (13) und den  
30 Fokuspunkt (23, 71) definierten Ebene einen Abstand  $a$  in  
einem Bereich zwischen 200 mm und 1000 mm aufweisen.
3. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 die Brennweite  $f$  der innerhalb der Messzelle (3) angeordne-  
ten Sammellinsen (17, 19, 25, 29) kleiner ist, als der  
halbe Abstand  $a$  zwischen den Seitenwänden (7) der Messzelle  
(3).

4. Messvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Messzelle (3) von einem Fluid durchströmbar ist.
- 5
5. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Winkel  $\alpha$  zwischen dem Detektor (13) und der Lichtquelle  
10 (9, 61, 63) in einem Bereich zwischen  $60^\circ$  und  $120^\circ$ , insbesondere in einem Bereich zwischen  $80^\circ$  und  $100^\circ$ , liegt.
6. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass  
ein erster Reflektor (27) bezüglich des Fokuspunkts (21) gegenüber der Lichtquelle (9, 61, 63) positioniert ist, und  
dass zwischen dem ersten Reflektor (27) und dem Fokuspunkt  
(23, 71) eine dritte Sammellinse (29) innerhalb der Mess-  
20 zelle (3) angeordnet ist.
7. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
25 dadurch gekennzeichnet, dass  
ein zweiter Reflektor (20) bezüglich des Fokuspunkts (23, 61) gegenüber dem Detektor (13) positioniert ist, und dass  
zwischen dem zweiten Reflektor (20) und dem Fokuspunkt (23, 71) eine vierte Sammellinse (17) innerhalb der Messzelle  
30 (3) angeordnet ist.
8. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 6 oder 7,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 ein dritter Reflektor (43) bezüglich des Fokuspunkts (23, 61) gegenüber dem ersten Reflektor (27) positioniert ist.

9. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 6 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der erste Reflektor (27) und/oder der zweite Reflektor (20)  
5 und/oder der dritte Reflektor (43) als ein Retroreflektor ausgebildet sind.
10. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Mehrzahl von Lichtquellen (9, 51, 53) umfasst ist, die jeweils über ein Durchtrittsfenster (5) in die Messzelle (3) eingekoppelt sind und die mittels der Fokusoptik (21) im Fokuspunkt (23, 71) fokussiert sind.
- 15 11. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
ein Absorber (35, 45) umfasst ist, welcher in Kombination  
20 mit einem oder jedem (27, 20, 41) zur Absorption des lateral versetzten Lichtstrahls (11, 65, 67) dient.
12. Messvorrichtung (1, 41, 51) zur Aufnahme eines Raman-Spektrums, umfassend eine Messzelle (3), die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern (5) aufweist, eine außerhalb der Messzelle (3) angeordnete Lichtquelle (9, 61, 63), einen Detektor (13), der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle (9, 61, 63) angeordnet ist, eine Fokusoptik (21) zur Abbildung  
30 der Lichtquelle (9, 61, 63) in einen Fokuspunkt (23, 71), und einen ersten Reflektor (27), der bezüglich des Fokuspunkts (23, 61) gegenüber der Lichtquelle (9, 61, 63) positioniert ist,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 der erste Reflektor (27) als ein Retroreflektor ausgebildet ist.

13. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Abbildungsoptik (15) zur Abbildung von Streustrahlung  
auf den Detektor (13) umfasst ist, und dass zumindest eine  
5 optische Komponente der Abbildungsoptik (15) zwischen dem  
Detektor (13) und dem Fokuspunkt (23, 71) angeordnet ist.
14. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 die optische Komponente eine erste Sammellinse (19) ist.
15. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12  
bis 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 die Fokuso­ptik (21) zur Abbildung der Lichtquelle (9, 61,  
63) im Fokuspunkt (23) eine zweite Sammellinse (25) um-  
fasst, die zwischen der Lichtquelle (9, 61, 63) und dem  
Fokuspunkt (23) angeordnet ist.
- 20 16. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12  
bis 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
zwischen dem ersten Reflektor (27) und dem Fokuspunkt (23,  
71) eine dritte Sammellinse (29) angeordnet ist.  
25
17. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 14  
bis 16,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die erste Sammellinse (19) innerhalb der Messzelle (3) an-  
30 geordnet ist.
18. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 16  
oder 17,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 die dritte Sammellinse (29) innerhalb der Messzelle (3) an-  
geordnet ist.

19. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 18,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Fokusoptik (21) innerhalb der Messzelle (3) angeordnet ist.
- 5
20. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 19,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Seitenwände (7) der Messzelle (3) bezüglich der durch  
10 die Lichtquelle (9, 61, 63), den Detektor (13) und den  
Fokuspunkt (23, 71) definierten Ebene einen Abstand  $a$  in  
einem Bereich zwischen 200 mm und 1000 mm aufweisen.
21. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 20,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Brennweite  $f$  der innerhalb  
der Messzelle (3) angeordneten Sammellinsen (17, 19, 25,  
29) kleiner ist, als der halbe Abstand  $a$  zwischen den  
Seitenwänden (7) der Messzelle (3).
- 20 22. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 21,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Messzelle (3) von einem Fluid durchströmbar ist.
- 25 23. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 22,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Winkel  $\alpha$  zwischen dem Detektor (13) und der Lichtquelle  
(9, 61, 63) in einem Bereich zwischen  $60^\circ$  und  $120^\circ$ , insbe-  
30 sondere in einem Bereich zwischen  $80^\circ$  und  $100^\circ$ , liegt.
24. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 23,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 ein zweiter Reflektor (20) bezüglich des Fokuspunkts (23,  
61) gegenüber dem Detektor (13) positioniert ist, und dass  
zwischen dem zweiten Reflektor (20) und dem Fokuspunkt (23,  
71) eine vierte Sammellinse (17) angeordnet ist.

25. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 24,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
5 ein dritter Reflektor (43) bezüglich des Fokuspunkts (23, 71) gegenüber dem ersten Reflektor (27) positioniert ist.
26. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 23 oder 25,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass  
der zweite Reflektor (20) und/oder der dritte Reflektor (43) als ein Retroreflektor ausgebildet sind.
27. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 26,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Mehrzahl von Lichtquellen (9, 51, 53) umfasst ist, die jeweils über ein Durchtrittsfenster (5) in die Messzelle (3) eingekoppelt sind und die mittels der Fokusoptik (21)  
20 im Fokuspunkt (23, 71) fokussiert sind.
28. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 12 bis 27,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
25 ein Absorber (35, 45) umfasst ist, welcher in Kombination mit einem oder jedem Reflektor (27, 20, 43) zur Absorption des lateral versetzten Lichtstrahls (11, 65, 67) dient
29. Messvorrichtung (1, 41, 51) zur Aufnahme eines Raman-Spektrums, umfassend eine Messzelle (3), die eine Anzahl von Durchtrittsfenstern (5) aufweist, wenigstens eine außerhalb der Messzelle (3) angeordnete Lichtquelle (9, 61, 63), einen Detektor (13), der in einem Winkel  $\alpha$  zur Lichtquelle (9, 61, 63) angeordnet ist und eine Fokusoptik (21)  
30 zur Abbildung der Lichtquelle (9, 61, 63) in einen Fokuspunkt (23, 71),  
35 dadurch gekennzeichnet, dass  
mehrere Lichtquellen (9, 51, 53) über ein Durchtrittsfens-

ter (5) in die Messzelle (3) eingekoppelt sind, die mittels der Fokusoptik (21) in einem gemeinsamen Fokuspunkt (23, 71) fokussiert sind.

5 30. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 29,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Abbildungsoptik (15) zur Abbildung von Streustrahlung  
auf den Detektor (13) umfasst ist, und  
10 dass zumindest eine optische Komponente der Abbildungsoptik  
(15) zwischen dem Detektor (13) und dem Fokuspunkt (23, 71)  
angeordnet ist.

31. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 30,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 die optische Komponente eine erste Sammellinse (19) ist.

20

32. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29  
bis 31,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
25 die Fokusoptik (21) zur Abbildung der Lichtquelle (9, 61,  
63) im Fokuspunkt (23, 71) eine zweite Sammellinse (25) um-  
fasst, die zwischen der Lichtquelle (9, 61, 63) und dem  
Fokuspunkt (23, 71) angeordnet ist.

30 33. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29  
bis 32,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
ein erster Reflektor (27) bezüglich des Fokuspunkts (23,  
61) gegenüber der Lichtquelle (9, 61, 63) positioniert ist,  
35 und  
dass zwischen dem ersten Reflektor (27) und dem Fokuspunkt  
(23, 71) eine dritte Sammellinse (29) angeordnet ist.

34. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 34 bis 33,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die erste Sammellinse (19) innerhalb der Messzelle (3) angeordnet ist.
35. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 36 oder 34,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die dritte Sammellinse (19) innerhalb der Messzelle (3) angeordnet ist.
36. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29 bis 35,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Fokusoptik (21) innerhalb der Messzelle (3) angeordnet ist.
37. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29 bis 36,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Seitenwände (7) der Messzelle (3) bezüglich der durch die Lichtquelle (9, 61, 63), den Detektor (13) und den Fokuspunkt (23, 71) definierten Ebene einen Abstand  $a$  in einem Bereich zwischen 200 mm und 1000 mm aufweisen.
38. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach Anspruch 37,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Brennweite  $f$  der innerhalb der Messzelle angeordneten Sammellinsen (17, 19, 25, 29) kleiner sind, als der halbe Abstand  $a$  zwischen den Seitenwänden (7) der Messzelle (3).
39. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29 bis 38,

dadurch gekennzeichnet, dass  
die Messzelle (3) von einem Fluid durchströmbar ist.

40. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29  
5 bis 39,

dadurch gekennzeichnet, dass  
der Winkel  $\alpha$  zwischen dem Detektor (13) und der Lichtquelle  
(9, 61, 63) in einem Bereich zwischen  $60^\circ$  und  $120^\circ$ , insbe-  
sondere in einem Bereich zwischen  $80^\circ$  und  $100^\circ$ , liegt.

10

41. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29  
bis 40,

dadurch gekennzeichnet, dass  
ein zweiter Reflektor (20) bezüglich des Fokuspunkts gegen-  
über dem Detektor (13) positioniert ist, und  
15 dass zwischen dem zweiten Reflektor (20) und dem Fokuspunkt  
(23, 71) eine vierte Sammellinse (17) angeordnet ist.

20

42. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 40  
und 41,

25

dadurch gekennzeichnet, dass  
ein dritter Reflektor (43) bezüglich des Fokuspunkts (23,  
61) gegenüber dem ersten Reflektor (27) positioniert ist.

43. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 39  
30 bis 42,

dadurch gekennzeichnet, dass  
der erste Reflektor (27) und/oder der zweite Reflektor (20)  
und/oder der dritte Reflektor (43) als ein Retroreflektor  
ausgebildet sind.

35

44. Messvorrichtung (1, 41, 51) nach einem der Ansprüche 29  
bis 43,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Absorber (35, 45) umfasst ist, welcher in Kombination mit einem oder jedem Reflektor (27, 20, 41) zur Absorption des lateral versetzten Lichtstrahls (11, 65, 67) dient.



FIG 2

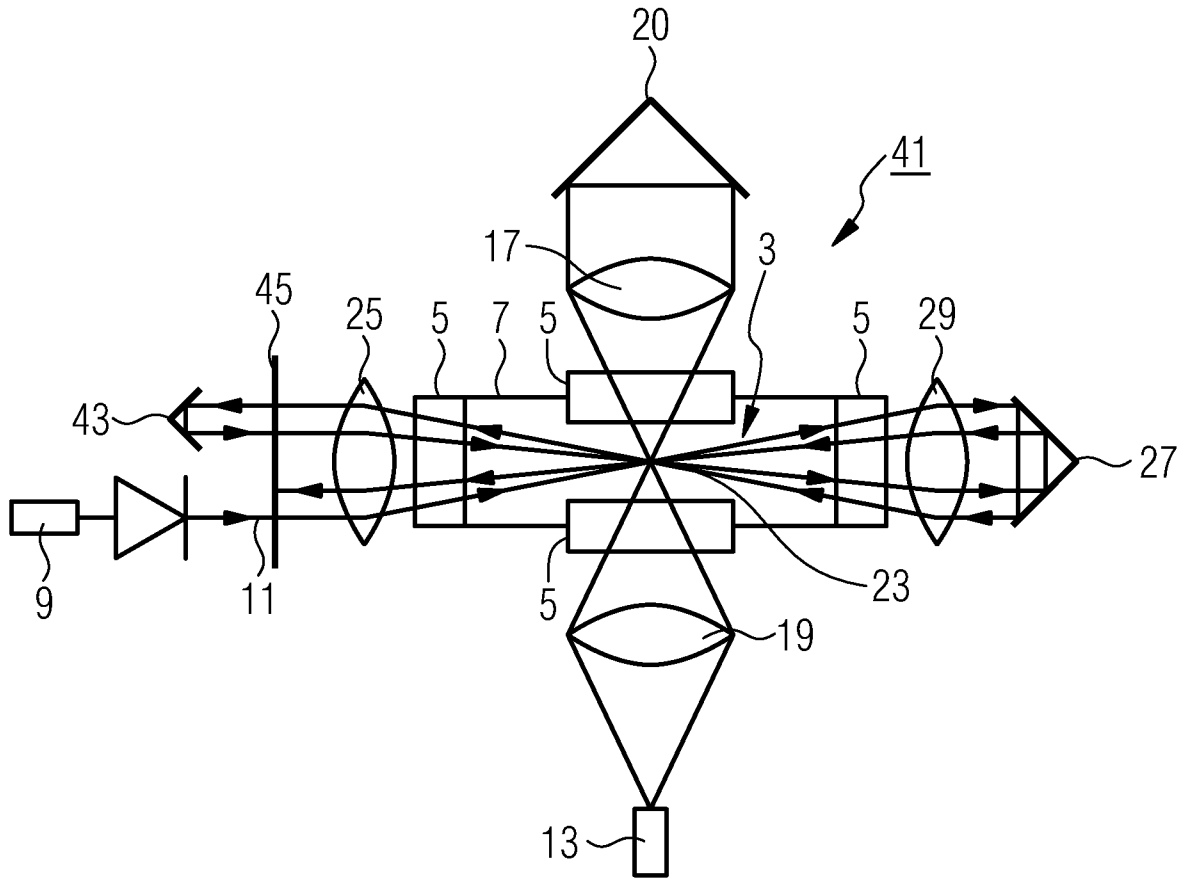


FIG 3

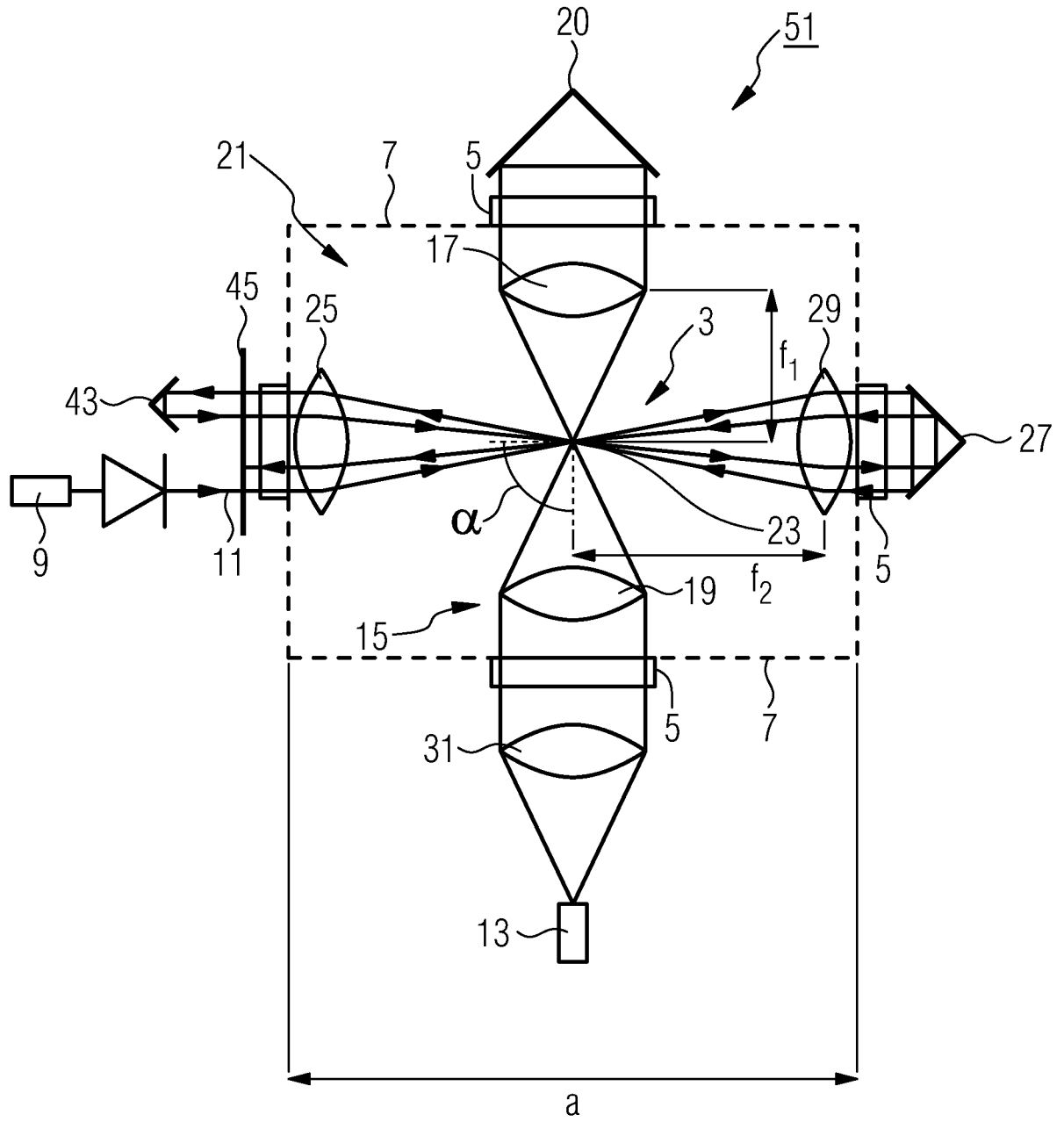


FIG 4

