

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50532/2021
(22) Anmeldetag: 25.06.2021
(43) Veröffentlicht am: 15.01.2023

(51) Int. Cl.: **G01N 21/3504** (2014.01)
G01N 33/00 (2006.01)
G01M 15/10 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2013181836 A1
US 2015006018 A1
US 2014160479 A1
CN 107884345 A

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Arar Mario Dipl.-Ing. Dr.
8020 Graz (AT)
Pein Andreas Dr.techn.
8341 Paldau (AT)
Steiner Gerald Dipl.-Ing. Dr.techn.
8053 Graz (AT)
(74) Vertreter:
Patentanwälte Pinter & Weiss OG
1040 Wien (AT)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Konzentrationsbestimmung eines Stoffes in einem Messvolumen**

(57) Um zuverlässige Konzentrationsmessungen eines gasförmigen oder festen Stoffes in einem Messvolumen zu ermöglichen ist vorgesehen, dass zumindest ein Teil einer Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) von einer Bildeinheit (29) aufgenommen wird und aus der aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke (9) eine Gesamtdurchtrittsstrecke (x) des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) bestimmt wird, und aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke (x) eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) ermittelt wird.

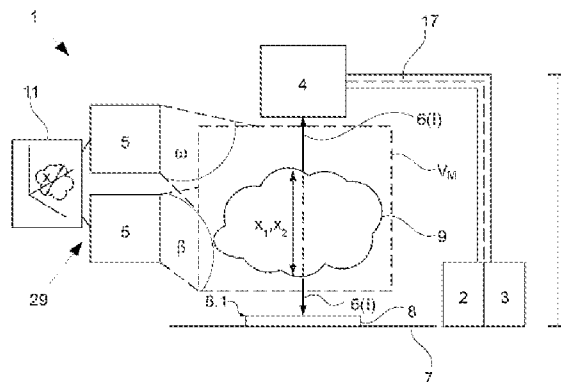


Fig. 2

Zusammenfassung

Um zuverlässige Konzentrationsmessungen eines gasförmigen oder festen Stoffes in einem Messvolumen zu ermöglichen ist vorgesehen, dass zumindest ein Teil einer Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) von einer Bildeinheit (29) aufgenommen wird und aus der aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke (9) eine Gesamtdurchtrittsstrecke (x) des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) bestimmt wird, und aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke (x) eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) ermittelt wird.

Fig. 2

Vorrichtung und Verfahren zur Konzentrationsbestimmung eines Stoffes in einem Messvolumen

Die gegenständliche Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Konzentrationsbestimmung zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in zumindest einem Messvolumen, wobei
 5 zumindest eine Messeinheit vorgesehen ist, einen Lichtstrahl mit vorgegebener Lichtintensität durch das Messvolumen abzustrahlen, und zumindest ein Detektor vorgesehen ist, um den Lichtstrahl nach dem Durchtritt durch das Messvolumen zu erfassen, wobei der zumindest eine Detektor ausgebildet ist, eine Abnahme der Lichtintensität aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen zu
 10 ermitteln.

Die Erfindung betrifft ferner ein entsprechendes Verfahren zur Konzentrationsbestimmung zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in einer Abgaswolke in zumindest einem Messvolumen.

Emissionen von Stoffen in Abgasen, speziell im Individualverkehr, sind durch die steigende
 15 Anzahl speziell an Fahrzeugen nicht nur im Zuge der Klimaerwärmung, sondern auch im Zuge der gesundheitlichen Belastung für den Menschen durch Stickoxide, teilverbrannte Kraftstoffbestandteile und Feinstaubpartikel ein vieldiskutiertes Thema. Entwicklungen der letzten Jahrzehnte zielten auf der einen Seite im Zuge des verpflichtenden Katalysatoreinbaus in Ottomotoren auf Vermeidung des Ausstoßes von teilverbrannten
 20 Verbindungen, und bei Katalysatoren in Dieselmotoren auf der anderen Seite auf Vermeidung des Ausstoßes von Stickoxiden. Die zulässigen Werte von emittierten Stoffen sind oftmals über nationale und supranationale Normen bestimmt.

Nichtsdestotrotz sind heutzutage noch immer Fahrzeuge im öffentlichen Raum im Einsatz, welche zwar zum Zeitpunkt ihrer Zulassung die gesetzlichen Normen zur Abgasreduktion
 25 erfüllt haben, bei der Verwendung über einen längeren Zeitraum aber als hohe Emittenten angesehen werden. Der Grund dafür kann beispielsweise das fehlende Nachrüsten eines Katalysators sein oder fehlende Wartung, wenn beispielsweise bei einem Dieselmotorkatalysator das Nachfüllen von Harnstoff unterbleibt und eine ordnungsgemäße Funktion eines SCR (selektive katalytische Reduktion) Katalysators nicht mehr gegeben ist. Unter anderem kann
 30 das auch auf fehlendes Wissen bezüglich der (Nicht)-Funktionalität von eben diesen Bestandteilen während der Fahrt zurückzuführen sein.

Abgasmessungen sind größtenteils auf Systeme limitiert, welche im Fahrzeug selbst, beispielsweise im oder nach dem Auspuff, Stoffe im Abgas, wie gasförmige Stoffe oder
 35 Partikel messen. Diese Systeme sind jedoch auf eine geringe Anzahl an Testfahrzeugen beschränkt und können daher kein repräsentatives Abbild von einer Vielzahl an verschiedenen Fahrzeugen im Realbetrieb geben. Abgasmessungen im Rahmen der

regelmäßigen Überprüfung des Fahrzeugs in einer Werkstatt ist ebenso wenig repräsentativ, weil solche Überprüfungen nur in großen Zeitabständen durchgeführt werden. Daher wird versucht, Abgasmessungen von Fahrzeugen im Realbetrieb im öffentlichen Raum zu ermöglichen. Dieses sogenannte „Remote Sensing“, auch im Sinne von „real driving emissions“ (RDE) Messungen, kann beispielsweise an vorteilhaft vorinstallierter Infrastruktur, wie Mautstellen, Straßenlaternen, Brücken, oder auch Gebäudefassaden in der Stadt und ähnlichem angebracht werden. Das könnte beispielsweise dazu benutzt werden, Fahrzeughalter von Fahrzeugen mit hohen Emissionen zu benachrichtigen und/oder verpflichtende Wartungen vorzusehen. Man muss jedoch bei der Aufstellung der Geräte auf eine geeignete Messstelle achten, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Generell sollten Kreuzungsbereiche mit Ampeln und damit potentiell Stillstand der Fahrzeuge vermieden werden. Weiters hat sich gezeigt, dass eine leichte Steigung der Straße an der Messstelle dafür geeignet ist, eine positive Motorlast zu erzeugen.

Bei Remote Sensing wird oftmals eine Lichtquelle verwendet, welche eine charakteristische Wellenlänge oder Wellenlängenbereich(e) emittiert, um einen gasförmigen Stoff, wie Kohlenmonoxid oder Stickoxide, nachzuweisen. Ein Detektor ermöglicht beispielsweise eine Messung der Abschwächung des Lichts, das durch die Abgaswolke gesendet wird. Es kann aber auch vorgesehen sein, Partikel, wie Rußpartikel, als Stoff zu messen. Das kann dann beispielsweise über Lichtstreuung oder über die Messung der Abschwächung des Rückstrahls im Verhältnis zum eingestrahlt Licht realisiert werden.

Die verlässliche Messung solcher Stoffe in Abgaswolken kann jedoch zu unterschiedlichen Schwierigkeiten führen. Einerseits sind die Emissionen von Stoffen von unterschiedlichen Motoren oder auch anderen Energiesystemen, wie Brennstoffzellen, durchwegs unterschiedlich und müssen mit dem gleichen System messbar sein. Weiters schwankt der zu messende Konzentrationsbereich sehr stark und ist von der zu messenden Fahrzeugklasse (z.B. LKW vs. Motorrad) abhängig. Speziell geringe Konzentrationen bereiten bei der Auswertung Probleme. Auch Unterschiede in der Betriebstemperatur eines Motors können Unterschiede in den zu messenden Stoffen nach sich ziehen.

Damit können zwar Absorptionswerte bestimmt werden, diese sind aber wegen der oben genannten Unterschiedlichkeit schwer bis gar nicht vergleichbar. Insbesondere kann damit keine Konzentration eines gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke bestimmt werden.

Heute verfügbare Systeme im Stand der Technik erfassen gasförmige oder feste Stoffe als optische Masse (OM), welche im Regelfall auf eine konstante Referenzkonzentration eines zweiten Stoffes in der Abgaswolke bezogen werden kann, beispielsweise Kohlendioxid (CO₂). Ein solcher Referenzwert kann für manche Abgaswolken repräsentative Werte liefern.

Beispielsweise kann für Abgaswolken aus Benzin-Verbrennungsmotoren ein solcher Referenzwert verwendet werden, um damit auch verschiedene OMs von unterschiedlichen Stoffen der Abgaswolken verlässlich zu bestimmen. Wenn beispielsweise die Absorption, eines Stoffes sich in verschiedenen Abgaswolken unterscheidet, ist die Absorption des Referenzwertes proportional und kann in Verhältnis gesetzt werden. Folglich kann über die bekannte Konzentration des Referenzwertes und der Absorption des Referenzwertes auf die Konzentration des Stoffes rückgerechnet werden. Diese Art der Berechnung kann für Verbrennungsmotoren mit Benzin relativ zuverlässig funktionieren, da durch die stöchiometrische Verbrennung der Konzentrationswert relativ konstant ist. Bei Fahrzeugen, die mit Diesel betrieben werden, kann diese Art der Konzentrationsberechnung allerdings nicht verwendet werden, da durch den nicht-stöchiometrischen Verbrennungsvorgang sehr starke Schwankungen in der Referenzkonzentration, beispielsweise eine CO₂-Konzentration, möglich sind. Dieses Vorgehen ist daher unzuverlässig.

CN 103712929 A1 beschreibt ein System zur Lokalisierung und Messung einer Abgaswolke mittels optischer Kamera, Infrarotkamera und spektroskopischer Einheit. Dabei misst die optische Kamera die Fahrzeuggeschwindigkeit und ermittelt das Kennzeichen. Die Infrarotkamera lokalisiert die Position der Abgaswolke und die spektroskopische Messeinheit wird ausgerichtet, um die Abgaswolke zu messen. Die Offenbarung verbessert zwar das Lokalisieren der Abgaswolke, ermöglicht aber nicht, einen Konzentrationswert eines Abgasbestandteils zu bestimmen.

EP 3 789 755 offenbart eine Messmethode für Abgaswolken mittels multispektraler Analyse mit einer Mehrzahl an Infrarotkameras. Die IR-Kameras sind über oder neben der Straße angeordnet und könne mittels geeigneter Filter beispielsweise Kohlenmonoxid und/oder Kohlendioxid messen. Die Anordnung hat den Nachteil, dass keine spektroskopische Auswertung genutzt wird und daher die Möglichkeit der Messungen von Abgaskomponenten limitiert ist. Weiters hat es den Nachteil, dass derartige Methoden sehr geringe Sensitivitäten besitzen und weiters auch nicht in der Lage sind, absolute Konzentrationen direkt zu messen.

Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, zuverlässige Konzentrationsmessungen eines gasförmigen oder festen Stoffes in einem Messvolumen zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch eine eingangs genannte Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in der Vorrichtung eine Bildeinheit vorgesehen ist, um bei teilweisem oder vollständigem Vorhandensein einer Abgaswolke im Messvolumen zumindest einen Teil der Abgaswolke aufzunehmen, dass in der Vorrichtung eine Auswerteeinheit vorgesehen ist, um aus zumindest einer aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke

eine Gesamtdurchtrittsstrecke des Lichtstrahls durch die Abgaswolke im Messvolumen zu bestimmen, und dass die Auswerteeinheit vorgesehen ist, aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen zu ermitteln.

- 5 Die erfindungsgemäße Konzentrationsbestimmung aus der Gesamtdurchtrittsstrecke des Lichtstrahls durch eine Abgaswolke im Messvolumen und aus einer ermittelten Abnahme der Lichtintensität des Lichtstrahls aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes, erlaubt die Konzentration des Stoffes direkt, zuverlässig und genau zu ermitteln. Diese Ermittlung der Konzentration ist insbesondere auch unabhängig von der Ausdehnung
10 oder Zusammensetzung der Abgaswolke.

- In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die zumindest eine Messeinheit beabstandet von zumindest einer ersten Spiegelungseinheit angeordnet, wobei das Messvolumen zwischen der zumindest einen Messeinheit und der zumindest einen ersten Spiegelungseinheit ausgebildet ist und die zumindest eine Messeinheit vorgesehen ist, einen Lichtstrahl in
15 Richtung der zumindest einen Spiegelungseinheit abzustrahlen, und wobei die zumindest eine erste Spiegelungseinheit vorgesehen ist, den Lichtstrahl nach Durchtritt durch das Messvolumen zu reflektieren und zu zumindest einem Detektor zu senden. Eine solche Ausgestaltung kann die Anordnung des Detektors in der Vorrichtung vereinfachen, weil der Detektor nicht mehr zwingend gegenüber der Messeinheit angeordnet sein muss. Damit wird
20 die Verwendung der Vorrichtung flexibler. Dabei ist es insbesondere vorteilhaft, wenn der an der Spiegelungseinheit reflektierte Lichtstrahl das Messvolumen vor Erreichen des Detektors zumindest ein weiteres Mal durchdringt. Aufgrund des zweimaligen Durchtritts des Lichtstrahls durch das Messvolumen kann die Sensitivität der Konzentrationsmessung erhöht werden und es können geringere Konzentrationen des gasförmigen oder festen Stoffes
25 gemessen werden.

Günstigerweise ist dabei die Gesamtdurchtrittsstrecke die Summe der Teildurchtrittsstrecken aller Durchtritte des Lichtstrahls durch die Abgaswolke.

- In einer Variante der Erfindung ist in der Messeinheit eine Multiplexereinheit vorgesehen, die eine Mehrzahl an Lichtstrahlen erzeugt, und die Messeinheit strahlt die Mehrzahl an
30 Lichtstrahlen an unterschiedlichen Stellen durch das Messvolumen ab und zumindest ein Detektor jeden der Mehrzahl an Lichtstrahlen, vorzugsweise nach einer Reflexion an einer Spiegelungseinheit, erfasst. Dadurch kann auf einfache Weise eine orts aufgelöste Konzentrationsmessung im Messvolumen erzielt werden. Damit kann die Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes an verschiedenen Stellen einer Abgaswolke im
35 Messvolumen ermittelt werden.

Wenn zumindest zwei der Mehrzahl an Lichtstrahlen in der Messeinheit über jeweils einen optischen Pfad geführt sind, wobei vorzugsweise die optischen Pfade zumindest teilweise unterschiedliche optische Weglängen aufweisen, kann die Erfassung dieser Lichtstrahlen an einem Detektor vereinfacht werden, weil die Lichtstrahlen aufgrund der sich ergebenden unterschiedlichen Laufzeiten zeitversetzt am Detektor ankommen.

Um eine zweidimensionale Auflösung des Messvolumens zu erzielen, strahlt die Messeinheit in einer Variante der Erfindung zumindest einen ersten Lichtstrahl der Mehrzahl an Lichtstrahlen in einer ersten Richtung durch das Messvolumen ab und die Messeinheit strahlt einen zweiten Lichtstrahl der Mehrzahl an Lichtstrahlen in einer zweiten Richtung durch das Messvolumen ab, wobei die erste Richtung unterschiedlich zur zweiten Richtung ist. Damit kann die Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes in unterschiedlichen Dimensionen erfasst werden. Wenn das mit einer örtlich aufgelösten Konzentrationsmessung kombiniert wird, ist eine sehr genaue Rekonstruktion einer Konzentrationsverteilung in der Abgaswolke möglich.

Die Anzahl der Durchtritte des Lichtstrahls durch das Messvolumen kann weiter erhöht werden, wenn in der Vorrichtung eine zweite Spiegelungseinheit vorgesehen ist, die beabstandet und gegenüberliegend von der zumindest einen ersten Spiegelungseinheit angeordnet ist und die Messeinheit den Lichtstrahl in einem von einer Normalen auf eine erste Spiegelungsebene der ersten Spiegelungseinheit abweichenden Winkel abstrahlt, wobei die erste Spiegelungseinheit den von der Messeinheit abgestrahlten Lichtstrahl zur gegenüberliegenden zweiten Spiegelungseinheit reflektiert und die gegenüberliegende zweite Spiegelungseinheit den Lichtstrahl wieder zur ersten Spiegelungseinheit zurückreflektiert, wobei der zumindest eine Detektor vorgesehen ist, den Lichtstrahl nach einer Mehrzahl solcher Reflexionen zu erfassen. Besonders vorteilhaft kann dabei der Winkel des Lichtstrahls verstellbar sein, um die Anzahl der Reflexionen anwendungsbezogen wählen und einstellen zu können. In einer derartigen Variante ist in der Messeinheit eine Positionierungsoptikeinheit vorgesehen, mit der der Winkel des Lichtstrahls verstellbar ist.

In der Vorrichtung können auch mehrere Messeinheiten vorgesehen sein, wobei zumindest zwei der Messeinheiten einen Lichtstrahl durch unterschiedliche Messvolumina abstrahlen.

In einer weiteren Variante sind in der Vorrichtung mehrere Messeinheiten vorgesehen, wobei zumindest zwei der Messeinheiten einen Lichtstrahl mit unterschiedlichen Richtungen durch dasselbe Messvolumen abstrahlen. Damit kann die Vorrichtung sehr flexibel und einfach auf verschiedene Anwendungen angepasst werden.

Vorzugsweise weist die Bildeinheit zumindest eine Kamera und/oder zumindest eine Lidareinheit auf.

Um empfindliche Spiegelungseinheiten vor Verschmutzung oder Beschädigung zu schützen ist vorteilhafterweise eine Schutzfolie austauschbar über die Spiegelungseinheit angeordnet. Damit können notwendige Wartungsintervalle reduziert werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird außerdem durch ein eingangs genanntes Verfahren gelöst, bei dem die zumindest eine Messeinheit einen Lichtstrahl mit einer vorgegebenen Lichtintensität durch die Abgaswolke im Messvolumen abstrahlt der Lichtstrahl nach Durchtritt durch die Abgaswolke von einem Detektor erfasst wird und der Detektor eine Abnahme der Lichtintensität des Lichtstrahls aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes ermittelt, wobei erfindungsgemäß zumindest ein Teil der Abgaswolke im Messvolumen von einer Bildeinheit aufgenommen wird und aus der aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke eine Gesamtdurchtrittsstrecke des Lichtstrahls durch die Abgaswolke im Messvolumen bestimmt wird, und dass aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen ermittelt wird.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 6 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 das Prinzip der entfernten Abgasmessung (remote sensing),

Fig.2 eine erfindungsgemäße Ausführungsform der Konzentrationsbestimmung in einer Abgaswolke,

Fig.3 eine vorteilhafte Ausführungsform einer Messeinheit,

Fig.4 eine Ausgestaltung der Vorrichtung mit einer Lidareinheit als Bildeinheit,

Fig.5 eine Ausgestaltung der Vorrichtung mit einem mehrfachen Durchtritt des Lichtstrahls durch die Abgaswolke, und

Fig.6 einen Ausführungsform für den Schutz einer Spiegelungseinheit.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 1 gemäß dem Stand der Technik zur Messung eines gasförmigen oder festen Stoffes in einer Abgaswolke 9, welche von einer Emissionsquelle, wie einem Fahrzeug im öffentlichen Raum, ausgestoßen wird. In der Abgaswolke 9 können verschiedenste gasförmige und feste (z.B. Partikel) Bestandteile vorkommen. Die Stoffe in der Abgaswolke 9 können von jeder Art von Emissionsquelle, beispielsweise auf einer Oberfläche 7, stammen, beispielsweise von einem Fahrzeug wie einem Personenkraftwagen (PKW), Lastkraftwagen (LKW), aber auch einem einspurigen Fahrzeug wie einem Motorrad, Motorfahrrad und ähnliches, welche einen Verbrennungsmotor aufweisen. Emissionen einer anderen Emissionsquelle, wie Brennstoffzellen, welche im Regelfall nur Wasserdampf und keine Schadstoffe emittieren, können ebenfalls über eine solche Vorrichtung 1 gemessen

werden. Die Erfassung solcher Emissionsquellen kann hilfreich sein, um beispielsweise den Anteil an Fahrzeugen mit niedrigen oder hohen Emissionswerten im Straßenverkehr zu ermitteln. Die Messung kann an einer Oberfläche 7 erfolgen, beispielsweise einer Straße, vorteilhafterweise in einem gewissen Abstand über einer Oberfläche 7. Es ist aber auch
 5 vorstellbar, dass die Vorrichtung 1 seitlich einer Abgaswolke 9 angeordnet ist und die Messung parallel zu einer Oberfläche 7 erfolgt, oder die Vorrichtung 1 kann auch in der Oberfläche 7 selbst verbaut sein. Auch Kombinationen von Messungen von mehreren Seiten sind vorstellbar.

Die Vorrichtung 1 kann eine Abgaswolke 9 beispielsweise auch an anderen Orten abseits
 10 einer Oberfläche 7 messen. Es ist vorstellbar, dass die Vorrichtung 1 eine Abgaswolke 9 eines Flugzeugs bei Start oder Landung auf einer Landepiste auf einem Flughafen misst. Auch ist es denkbar, dass eine Abgaswolke 9 von einem Schiff, beispielsweise in einem Hafenbecken oder in einer Schleuse gemessen wird. Die Erfindung ist nicht auf oben genannte Anwendungen limitiert, sondern alle Einsatzmöglichkeiten, die sich dem Fachmann
 15 erschließen, sind vorstellbar. Die Abgaswolke 9 muss aber nicht zwingend von einem Fahrzeug stammen, sondern kann prinzipiell von jeglicher Emissionsquelle herrühren. Ein Beispiel ist eine Abgaswolke aus einem Industrieprozess, die beispielsweise an einem Schornstein abgegeben wird.

Die Stoffe in einer Abgaswolke 9 können gasförmige Stoffe, wie Kohlendioxid (CO_2),
 20 Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), gasförmige polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ähnliches sein. Es ist aber auch denkbar, feste Stoffe in einer Abgaswolke 9, wie Rußpartikel, zu messen. Die Stoffe und deren Konzentrationen in der Abgaswolke 9 eines Fahrzeugs sind üblicherweise abhängig vom Typ des Kraftstoffes, vom Verbrennungsmotor, vom Betriebszustand des Verbrennungsmotors,
 25 und vom Status eines Katalysators oder Abgasnachbehandlungssystems (sofern vorhanden). Beispielsweise emittiert ein Verbrennungsmotor, der noch nicht auf Betriebstemperatur ist, oftmals eine höhere Konzentration an teilverbrannten Stoffen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, als bei normaler Betriebstemperatur. Ebenso werden bei unterschiedlichen Betriebszuständen (z.B. gegeben durch aktuelle Drehzahl und
 30 aktuelles Drehmoment) unterschiedliche Stoffe emittiert.

Erfindungsgemäß soll die Konzentration eines solchen gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke 9 gemessen werden.

Je nach Anordnung der Messeinheit 4 der Vorrichtung 1 kann ein Lichtstrahl 6 die Abgaswolke 9 auf verschiedenen Durchtrittsstrecken x durchdringen. Der Lichtstrahl 6 wird
 35 nach Durchtritt durch die Abgaswolke 9 in einem Detektor 3 erfasst und ausgewertet. Beispielsweise können bei unterschiedlichen Anordnungen, wie in Fig. 1 gegeben, die

Durchtrittsstrecke x des Lichtstrahls 6, welcher normal auf die Oberfläche 7 ist, unterschiedlich zur anderen Durchtrittsstrecke x' eines anderen Lichtstrahls 6, welcher parallel zur Oberfläche 7 verläuft, sein und daher abhängig von der Anordnung der Messeinheiten 4, 4' relativ zur Abgaswolke 9 sein. Das kann für die nominell gleiche

5 Konzentration eines Stoffes zu unterschiedlichen Messergebnissen für den Stoff in der Abgaswolke 9 führen, weil eine Absorption bei längerer Durchtrittsstrecke x , x' im Regelfall höher ist.

Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung 1, mit der eine Konzentration eines gasförmigen oder festen Stoffes in einer Abgaswolke 9 zuverlässig

10 gemessen werden kann. In der Vorrichtung 1 ist in dieser Ausführung zumindest eine Lichtquelle 2 vorgesehen, die Licht mit einer vorgegebenen Lichtintensität erzeugt. Die Lichtquelle 2 kann beispielsweise monochromatisches Licht abgeben, beispielsweise ein Laserlicht, welches eine definierte Wellenlänge mit vorgegebener Lichtintensität aufweist. Insbesondere können Quanten-Kaskaden-Laser (QCL) verwendet werden, es sind aber

15 auch andere Typen und Kombinationen von Lichtquellen und Lasern vorstellbar, um verschiedene Wellenlängenbereiche abzudecken. Es ist auch denkbar, dass die Lichtquelle 2 eine polychromatisch emittierende Lampe aufweist, wie eine Lampe im Ultraviolett- (UV) oder auch im Infrarotbereich (IR). Ebenfalls ist ein Monochromator in der Lichtquelle 2 denkbar, um gezielt Wellenlängen zu selektieren. Die Lichtquelle 2 erzeugt einen

20 Primärlichtstrahl 17 mit einer bestimmten Lichtintensität und zumindest einer Wellenlänge. Der Primärlichtstrahl 17 kann beispielsweise über einen Lichtleiter, wie ein Glasfaserkabel, ein Spiegelsystem oder ein anderes geeignetes optisches System, zu zumindest einer Messeinheit 4 geleitet werden. Die Lichtquelle 2 kann aber auch in der Messeinheit 4 integriert sein und in der Messeinheit 4 den Primärlichtstrahl 17 erzeugen.

25 Die Messeinheit 4 erzeugt aus dem Primärlichtstrahl 17 der Lichtquelle 2 einen Lichtstrahl 6 mit zumindest einer definierten Wellenlänge und einer definierten Lichtintensität I , der von der Messeinheit 4 abgestrahlt wird. Vorzugsweise entsprechen die Wellenlänge und die Lichtintensität I des Lichtstrahls 6 der Wellenlänge und der Lichtintensität des Primärlichtstrahls 17. Die Messeinheit kann die Lichteigenschaften des Primärlichtstrahls 17

30 (z.B. Wellenlänge oder Lichtintensität) aber auch verändern, beispielsweise mittels eines Monochromators oder eines Strahlteilers, um den Lichtstrahl 6 zu erzeugen. Der Lichtstrahl 6 kann dabei auch gepulst, z.B. in Form von einzelnen Lichtpaketen, erzeugt werden.

Zur Durchführung der Konzentrationsmessung strahlt die Messeinheit 4 den Lichtstrahl 6 direkt oder indirekt in Richtung des Messvolumens V_M ab, sodass der Lichtstrahl 6 das

35 Messvolumen V_M und eine darin teilweise oder vollständig befindliche Abgaswolke 9 durchdringt. Der Lichtstrahl 6 wird nach dem Durchtritt durch die Abgaswolke 9 im Messvolumen V_M von einem Detektor 3 erfasst.

In der Ausgestaltung der Erfindung gemäß Fig.2 ist die Messeinheit 4 in einem Abstand L von einer Spiegelungseinheit 8 mit einer Spiegelungsebene 8.1, beispielsweise auf der Oberfläche 7, angeordnet. Die Spiegelungsebene 8.1 der Spiegelungseinheit 8 ist dabei der Messeinheit 4 zugewandt angeordnet. Dabei bildet sich zwischen der Messeinheit 4 und der Spiegelungseinheit 8 das Messvolumen V_M aus, in dem sich in bestimmungsgemäßer Verwendung der Vorrichtung 1 eine zu messende Abgaswolke 9 teilweise oder vollständig befinden kann. An der Spiegelungseinheit 8, bzw. an der Spiegelungsebene 8.1, wird ein einfallender Lichtstrahl reflektiert.

Der Abstand L kann abhängig von der Anwendung sein, beispielsweise von den durchfahrenden Fahrzeugen, aber auch von der Richtung der Messung. Der Abstand L kann beispielsweise geringer sein, wenn eine Messung parallel zur Oberfläche 7 durchgeführt wird, und kann höher sein, wenn normal auf die Oberfläche 7 gemessen wird. Jedenfalls kann der Abstand L anwendungsbezogen passend gewählt werden.

Die Orientierung und Ausrichtung der Spiegelungseinheit 8 kann beliebig und anwendungsbezogen gewählt sein. Die Spiegelungseinheit 8 kann beispielsweise parallel zur Ebene der Oberfläche 7, normal zur Ebene der Oberfläche 7, oder auch in einem beliebigen Winkel zur Ebene der Oberfläche 7 montiert sein. Vorteilhafterweise kann die Spiegelungseinheit 8 auch in einer Oberfläche 7 integriert sein und mittels einer geeigneten Beschichtung oder eines Verbaus vor Schäden und Verschmutzung, beispielsweise durch Fahrzeuge, welche über die Oberfläche 7 fahren, geschützt werden.

Die Anordnung der Spiegelungseinheit 8 und die Orientierung des von der Messeinheit 4 abgestrahlten Lichtstrahls 6 ist jedenfalls so gewählt, dass der Lichtstrahl 6 das Messvolumen V_M durchdringt und an der Spiegelungseinheit 8 auftrifft. Der Lichtstrahl 6 muss dabei aber nicht direkt auf die Spiegelungseinheit 8 gerichtet sein, sondern kann auch über ein optisches System, beispielsweise eine Spiegelanordnung, in Richtung der Spiegelungseinheit 8 gelenkt werden.

Die genauen Dimensionen des Messvolumens V_M können vorgegeben sein oder von einem Anwender gewählt werden und beispielsweise abhängig von der erwartenden Ausdehnung einer Abgaswolke 9 sein. Das Messvolumen V_M kann beispielsweise auch kleiner als eine erwartete Abgaswolke 9 gewählt sein, um eine Messung von Vermengungen verschiedener Abgaswolken 9 in einem Messvolumen V_M von unterschiedlichen Emissionsquellen zu verhindern.

Zur Durchführung der Konzentrationsmessung mit einer Vorrichtung 1 in der Ausführungsform nach Fig.2 strahlt die Messeinheit 4 den Lichtstrahl 6 direkt oder indirekt in Richtung der Spiegelungseinheit 8 ab. Der ausgestrahlte Lichtstrahl 6 durchdringt dabei das Messvolumen V_M und wird an der Spiegelungseinheit 8 reflektiert. Der reflektierte Lichtstrahl

6 wird zu zumindest einem Detektor 3 geleitet, der den reflektierten Lichtstrahl 6 erfasst. Der reflektierte Lichtstrahl 6 kann dabei das Messvolumen V_M , je nach Ausgestaltung der Reflexion, ein zweites Mal durchdringen. Damit durchdringt der Lichtstrahl 6 das Messvolumen V_M und eine darin teilweise oder vollständig befindliche Abgaswolke 9
 5 zumindest einmal. Vorzugsweise wird der reflektierte Lichtstrahl 6 an der Spiegelungseinheit 8 so reflektiert, dass auch der reflektierte Lichtstrahl 6 das Messvolumen V_M und eine darin befindliche Abgaswolke 9 durchdringt. Durch das mehrmalige Durchdringen der Abgaswolke 9 durch den Lichtstrahl 6 kann die Sensitivität der Konzentrationsmessung erhöht werden, weil das Licht entlang des Strahlenganges mehrmals von den gasförmigen oder festen Stoffen
 10 im Messvolumen V_M beeinflusst wird und damit deutlichere Messsignale möglich sind.

Der Detektor 3 kann in örtlicher Nähe zu der Lichtquelle 2, beispielsweise in einem gemeinsamen Gehäuse mit der Lichtquelle 2, angeordnet sein, er kann aber beispielsweise auch in der Messeinheit 4 oder an einer beliebigen anderen Stelle der Vorrichtung 1 angeordnet sein. In der Vorrichtung 1 nach Fig.2 ist der Detektor 3 mit der Lichtquelle 2 in
 15 einem Gehäuse verbaut und der reflektierte Lichtstrahl 6 wird entlang desselben optischen Weges wie der Primärlichtstrahl 17 geleitet.

Der Detektor 3 misst erfindungsgemäß eine Abschwächung der Lichtintensität I des erfassten Lichtstrahls 6 aufgrund eines gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen V_M . Diese Abschwächung der Lichtintensität I kann auf eine Referenzmessung bezogen werden,
 20 die bei Abwesenheit von Stoffen im Messvolumen V_M durchgeführt wird und zu einer Referenz-Lichtintensität I_0 führt. Damit kann beispielsweise eine Absorption $1-(I/I_0)$, kurz als A bezeichnet, oder Transmission I/I_0 einer bestimmten Wellenlänge, oder auch mehrerer unterschiedlicher Wellenlängen, berechnet werden. Die Transmission und die Absorption A können ineinander umgerechnet werden und können als äquivalent betrachtet werden.

Für feste Stoffe im Messvolumen V_M kann ein Lichtintensitätsverlust durch eine Lichtstreuung, wie eine Vorwärts- oder Seitwärtsstreuung, verursacht sein. Der Detektor 3 kann beispielsweise auch eine Lichtstreuung an festen Partikeln im Messvolumen V_M erfassen und daher eine Lichtintensitätsabnahme aufgrund von Streuung messen. Damit kann auch die Größe von festen Partikeln im Detektor 3 abgeschätzt werden. Auch ist es
 30 möglich, ein Spektrum über verschiedene Wellenlängen aufzunehmen, und eine spektroskopische Auswertung durchzuführen, beispielsweise in Form von multivarianten Analysen oder Fingerprinting eines Stoffes. Damit können auch mehrere verschiedene Stoffe gleichzeitig gemessen werden. Das kann auch über geeignete optische Filter oder über Monochromatoren ermöglicht werden.

35 Die Abnahme der Lichtintensität I des vom Detektor 3 erfassten Lichtstrahls 6 ist abhängig von der Gesamtdurchtrittsstrecke x des Lichtstrahls 6 durch eine Abgaswolke 9 im

Messvolumen V_M und kann auch je nach Anordnung der Messeinheit 4 und/oder der Spiegelungseinheit 8 unterschiedlich sein. Auch unterschiedliche Größen der Abgaswolke 9, abhängig vom Fahrzeug, können zu unterschiedlichen Messwerten am Detektor 3 führen.

Die Messung einer Absorption eines gasförmigen oder festen Stoffes ist bekanntermaßen frequenzabhängig und sollte daher am oder in der Nähe des Absorptionsmaximum stattfinden, um ein verlässliches Ergebnis zu erhalten. Beispielsweise hat CO_2 charakteristische Vibrationsschwingungen bei einer Wellenzahl (Kehrwert der Wellenlänge) von 1388 cm^{-1} (asymmetrische Streckschwingung) und bei 667 cm^{-1} (Biegeschwingung).

Laut Lambert-Beer'schen Gesetz ist die Absorption A abhängig von der

Gesamtdurchtrittsstrecke x , der Konzentration c und einem Absorptionskoeffizienten k (als bekannter Stoffparameter). Dieser Zusammenhang kann über die Formel

$$\ln \frac{I}{I_0} = k * x * c$$

angegeben werden. Um eine verlässliche Konzentration c eines Stoffes zu bestimmen, ist daher Kenntnis über die Gesamtdurchtrittsstrecke x und der Absorption A erforderlich. Eine Absorption A (oder gleichwertig eine Abnahme der Lichtintensität) kann über den Detektor 3 ermittelt werden. Die Gesamtdurchtrittsstrecke x ist aber abhängig von der Ausdehnung der Abgaswolke 9 im Messvolumen V_M und dem Strahlengang des Lichts durch die Abgaswolke 9 und ist üblicherweise nicht bekannt.

Für eine verlässliche Konzentrationsmessung unterschiedlichster Abgaswolken 9 ist es daher vorteilhaft, Kenntnis über die Gesamtdurchtrittsstrecke x des Lichts durch die Abgaswolke 9 zu haben, da man dadurch nicht auf die Eingang erwähnte Berechnung über eine optische Masse mit den angeführten Beschränkungen zurückgreifen muss. Die Gesamtdurchtrittsstrecke x hängt vom Strahlengang des Lichtstrahls 6 ab und damit davon, wie oft und an welcher Stelle der Lichtstrahl 6 die Abgaswolke 9 durchdringt.

Zum Erfassen der Gesamtdurchtrittsstrecke x ist in der Vorrichtung 1 erfindungsgemäß eine Bildeinheit 29 vorgesehen, um zumindest einen Teil des Messvolumens V_M aufzunehmen, vorzugsweise aus unterschiedlichen Richtungen (z.B. Winkeln ω , β). Die Bildeinheit 29 erzeugt zumindest eine Abbildung eines Teils einer Abgaswolke 9 im Messvolumen V_M , vorzugsweise mehrere Abbildungen aus unterschiedlichen Richtungen, die in einer Auswerteeinheit 11 verarbeitet wird. Die Auswerteeinheit 11 kann nun aus der erhaltenen zumindest einen Abbildung die Gesamtdurchtrittsstrecke x des Lichtstrahls 6 durch die Abgaswolke 9 ermitteln. Dazu kann die Auswerteeinheit 11 zumindest einen Teil eines Abbilds einer Abgaswolke 9 im Messvolumen V_M rekonstruieren. Aus dem Abbild des Teils der Abgaswolke 9 kann anhand des bekannten Strahlengangs des Lichts (der durch die Anordnung der Spiegelungseinheit 8 und der Orientierung des Lichtstrahls 6 festgelegt ist)

durch das Messvolumen V_M die Gesamtdurchtrittsstrecke x durch die Abgaswolke 9 ermittelt werden.

Die Gesamtdurchtrittsstrecke x umfasst zumindest die Teildurchtrittsstrecke x_1 des Lichtstrahls 6 durch die Abgaswolke 9. Wird der Lichtstrahl 6 reflektiert und ein weiteres Mal durch die Abgaswolke 9 gelenkt, dann kommt noch die Teildurchtrittsstrecke x_2 des reflektierten Lichtstrahl 6 hinzu. Die Gesamtdurchtrittsstrecke x ist damit die Summe der einzelnen Teildurchtrittsstrecken des Lichtstrahls 6 durch die Abgaswolke 9.

Beispielsweise kann anhand der bekannten Abmessungen des Messvolumens V_M auf die Abmessungen des zumindest einen, rekonstruierten Teils der Abgaswolke 9 im Messvolumen V_M und damit auf eine Teildurchtrittsstrecke x_1 , x_2 rückgerechnet werden.

Bei einer Anordnung wie in Fig.2, bei der der Lichtstrahl 6 im Wesentlichen normal auf die Spiegelungsebene 8.1 der Spiegelungseinheit 8 gelenkt wird, sind die Teildurchtrittsstrecken x_1 , x_2 des abgestrahlten Lichtstrahls 6 und des reflektierten Lichtstrahls 6 gleich, weil der Lichtstrahl 6 in die entgegengesetzte Richtung reflektiert wird. Es kann daher ausreichend sein, nur die Teildurchtrittsstrecke x_1 des abgestrahlten Lichtstrahls 6 oder die Teildurchtrittsstrecke x_2 des reflektierten Lichtstrahls 6 zu ermitteln und diese zu verdoppeln, um die Gesamtdurchtrittsstrecke x zu erhalten.

Zur Ermittlung der Teildurchtrittsstrecken x_1 , x_2 , bzw. der daraus abgeleiteten Gesamtdurchtrittsstrecke x , kann aus den mit der Bildeinheit 29 aufgenommenen Abbildungen eine 2D-Projektion der Abgaswolke 9 in der Ebene des Lichtstrahls 6 und/oder des reflektierten Lichtstrahls 6 erzeugt werden und so die Teildurchtrittsstrecken x_1 , x_2 direkt ermittelt werden. Vorteilhafterweise erstellt die Auswertereinheit 11 eine räumliche Rekonstruktion der Abgaswolke 9, wofür Abbildungen der Abgaswolke 9 aus unterschiedlichen Richtungen erforderlich sind. Diese Rekonstruktion kann beispielsweise auch abhängig von einer Laufvariable, wie der Zeit, sein. So kann beispielsweise eine zeitabhängige Ausdehnung einer Abgaswolke 9 ermittelt werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform kann die Auswertereinheit 11 Daten über Außentemperatur und Luftfeuchte erhalten. Je nach Außentemperatur und Luftfeuchte kann es zu Unterschieden in der Auswertung und Rekonstruktion einer Abgaswolke 9 kommen.

Beispielsweise sind Temperaturunterschiede im Sommer zwischen Umgebung und Abgaswolke 9 weniger stark ausgeprägt als im Winter. Das kann dazu führen, dass eine ermittelte Teildurchtrittsstrecke x_1 , x_2 saisonabhängig Unterschiede aufweist. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden oder zumindest einzugrenzen, kann ein Korrekturfaktor für die Berechnung der Rekonstruktion abhängig von Außentemperatur und Luftfeuchte vorgesehen sein. Damit kann die Auswertereinheit 11 eine verlässlichere Berechnung der Gesamtdurchtrittsstrecke x unabhängig von den Umgebungsbedingungen durchführen.

Die Auswerteeinheit 11, üblicherweise ein Computer mit entsprechender Auswertesoftware, und kann ebenfalls Daten zur Absorption A (bzw. der Lichtintensität des erfassten Lichtstrahls 6) vom zumindest einen Detektor 3 erhalten. Eine Referenz-Lichtintensität I_0 kann in der Auswerteeinheit 11 gespeichert sein und kann als bekannt vorausgesetzt

werden. Die Auswerteeinheit 11 verwendet die Gesamtdurchtrittsstrecke x und die Abnahme der Lichtintensität, bzw. eine Absorption A , um die Konzentration c eines gasförmigen oder festen Stoffes zu ermitteln, beispielsweise nach dem oben angeführten Lambert-Beer'schen Gesetz. In einer vorteilhaften Ausführungsform können auch verschiedene Absorptionen A bei verschiedenen Wellenlängen des Lichtstrahls 6 genutzt werden, um Konzentrationen c verschiedener gasförmiger oder fester Stoffe zu ermitteln. Das kann hintereinander bei jeweils einer Wellenlänge erfolgen oder auch in Form einer spektroskopischen Auswertung bei mehreren Wellenlängen gleichzeitig.

Die Bildeinheit 29 kann in Form von zumindest einer Kamera 5, vorzugsweise mehrere Kameras 5 (wie in Fig.2 dargestellt) ausgeführt sein. Auch eine Ausführung der Bildeinheit 29 mit einer oder mehreren Lidareinheiten, einer oder mehreren Radareinheiten oder Kombinationen derartiger Einheiten bzw. mit Kameras ist denkbar. Daneben sind weitere Ausführungen einer Bildeinheit 29 möglich.

Die Bildeinheit 29, beispielsweise die zumindest eine Kamera 5, kann beispielsweise an der Messeinheit 4 angeordnet sein. In einer Variante ist die Bildeinheit 29 auf einer separaten Vorrichtung installiert, oder bestehende Infrastruktur im Bereich der Vorrichtung 1, wie Brücken, Häuser, Straßenlaternen oder ähnliches, werden zur Anordnung genutzt. Bei einer Mehrzahl an Messvolumina V_M kann die Bildeinheit 29 auch so angeordnet sein, dass sie beispielsweise mehrere Messvolumina V_M gleichzeitig erfassen kann. So kann die Anzahl der benötigten Bildeinheiten 29 geringgehalten werden.

In einer Ausführung der Bildeinheit 29 mit mehreren Kameras 5 sind diese an verschiedenen Orten installiert, um das Messvolumen V_M aus verschiedenen Richtungen ω , β aufzunehmen. Bei der Aufnahme des Messvolumens V_M aus unterschiedlichen Richtungen kann die Rekonstruktion der Abgaswolke 9 erleichtert oder verbessert werden.

Die zumindest eine Kamera 5 kann Abbildungen des Messvolumens V_M aufnehmen und damit auch eine im Messvolumen V_M vorhandene Abgaswolke 9 aufnehmen. Es ist aber auch möglich, dass die Kamera 5 zusätzlich Metadaten eines Fahrzeugs aufzeichnet, wie Größe, Typ oder auch das Kennzeichen. Bei Verwendung einer Kamera 5 als Bildeinheit 29 kann beispielsweise verfügbare Bildbearbeitungssoftware verwendet werden, um die Abgaswolke 9 oder einen Teil davon aus den Abbildungen zu rekonstruieren.

Die zumindest eine Kamera 5 kann beispielsweise eine Infrarotkamera sein, welche Wärmebilder der vorhandenen Abgaswolke im Messvolumen V_M aufnimmt. So kann auch die

Wärmeverteilung in der Abgaswolke 9 erfasst werden, welche einen Einfluss auf die gasförmigen oder festen Stoffe oder den Absorptionskoeffizienten k haben kann. Es kann aufgrund der Temperaturunterschiede zu Konvektion und Diffusionsphänomenen kommen, die eine Verteilung von Stoffen über die Zeit bewirken. Auch können einzelne

- 5 Konzentrationen c von Stoffen abhängig von der Temperatur sein, da manche Reaktionen nur bei höherer Temperatur ablaufen oder temperaturabhängig sind.

Die zumindest eine Kamera 5 kann aber auch beispielsweise im ultravioletten (UV) oder sichtbaren (VIS) Bereich arbeiten, oder auch in beiden Bereichen (UV/VIS Kameras). UV oder VIS ist höher-energetische Strahlung als IR und regt Elektronen-Übergänge in

- 10 Molekülen an und kann für die Messung vorteilhafter sein.

In einer Ausführungsform kann die zumindest eine Kamera 5 als multi- und hyperspektrale Kamera ausgeführt sein. Dabei werden statt der klassischen einfachen Aufnahme in einem einfachen Spektralbereich eine hohe Anzahl an Spektralbändern benutzt. Das kann vorteilhaft sein, um eine deutlich höhere Farbqualität und Farbunterschiede zu erkennen, da

- 15 jeder Pixel bereits ein vollständiges Farbspektrum enthält. In einer solche Kamera 5 kommt beispielsweise die Snapshot-Mosaiktechnik zur Anwendung.

Es kann vorkommen, dass sich verschiedene Abgaswolken 9 aus hinter- oder nebeneinander befindlichen Emissionsquellen, wie Fahrzeugen, im Messvolumen V_M vermengen. Dann kann die Messung dementsprechend angepasst werden, beispielsweise

- 20 über Positionierung oder Ausrichtung der Bildeinheit 29, insbesondere der zumindest einen Kamera 5.

In einer Variante ist eine Mehrzahl an Messeinheiten 4 in der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 vorgesehen, auch mit unterschiedlichen Abständen L zu einer jeweils zugeordneten Spiegelungseinheit 8. Es können auch mehrere Spiegelungseinheiten 8

- 25 vorgesehen sein, beispielsweise für jede Messeinheit 4 eine eigene oder jeweils eine für verschiedene Gruppen an Messeinheiten. Mehrere Messeinheiten 4 sind vorteilhaft, um orts aufgelöste Messungen einer Abgaswolke 9 in einem Messvolumen V_M zu realisieren, oder auch um mehrere Abgaswolken 9 in verschiedenen Messvolumina V_M gleichzeitig zu vermessen. Hierzu kann ein Primärlichtstrahl 17 einer Lichtquelle 2 bedarfsweise auch mit
- 30 optischen Systemen entsprechend aufgeteilt werden, beispielsweise mittels Strahlenteiler, Umlenkeinheiten, Spiegeln, Multiplexer usw., um jede der Messeinheiten 4 mit Licht zu versorgen. Es kann aber auch in jeder Messeinheit 4, oder in einigen davon, eine Lichtquelle 2 zur Erzeugung eines Primärlichtstrahls 17 vorgesehen sein.

Bei einer mehrfachen Messung einer Abgaswolke 9 kann ein Durchschnittswert der

- 35 Konzentration eines gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke 9 ermittelt werden. Es ist aber auch möglich, eine orts aufgelöste Messung der Konzentration in der Abgaswolke

9 zu ermitteln. Bei entsprechender Anordnung der Messeinheiten 4 und Spiegelungseinheiten 8 kann auch eine zweidimensionale örtliche Auflösung der Konzentration eines gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke 9 ermittelt werden. Hierfür könnten beispielsweise eine erste Gruppe von Lichtstrahlen 6 die Abgaswolke in einer ersten Richtung durchdringen und eine zweite Gruppe von Lichtstrahlen 6 die Abgaswolke in einer zweiten, von der ersten unterschiedlichen Richtung, beispielsweise normal auf die erste Richtung.

Fig. 3 zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform der Messeinheit 4 mit Mehrfachmessung einer Abgaswolke 9. In dieser Ausführungsform sind Lichtquelle 2 und Detektor 3 in der Messeinheit 4 angeordnet. In einer Variante können die Lichtquelle 2 und/oder der Detektor 3 auch extern der Messeinheit 4 an einer beliebig geeigneten Stelle angeordnet sein. Die Bildeinheit 29 ist in Fig.3 nur angedeutet und kann wie oben im Zusammenhang mit Fig.2 erläutert oder auch wie im Zusammenhang mit Fig.4 unten erläutert ausgeführt sein. Die Bildeinheit 29 erzeugt die Abbildungen des Messvolumens V_M , die in der Auswerteeinheit 11 verarbeitet werden. In der Messeinheit 4 ist eine Multiplexereinheit 10 vorgesehen, welche eine Vielzahl von Lichtstrahlen 6 erzeugt (wobei in Fig.3 aus Gründen der Übersichtlichkeit nur einige mit Bezugszeichen bezeichnet sind). Die Multiplexereinheit 10 erzeugt dabei aus dem Primärlichtstrahl 17 (in Fig. 3 nicht eingezeichnet) der Lichtquelle 2 die Vielzahl von Lichtstrahlen 6.

Die Multiplexereinheit 10 kann beispielsweise durch einen „optical fiber multiplexer“, „optical coupler“ oder „optical splitter“ realisiert werden. Auch eine Realisierung der Multiplexereinheit 10 als „Fiber Optic Switching Network“ ist denkbar. Verschiedene Ausführungen einer Multiplexereinheit 10 sind hinreichend bekannt und der Fachmann kann eine für die jeweilige Anwendung geeignete wählen.

Die einzelnen, abgestrahlten Lichtstrahlen 6 werden durch verschiedene Stellen bzw. Bereiche des Messvolumens V_M geleitet, womit die Lichtstrahlen 6 eine im Messvolumen V_M befindliche Abgaswolke 9 auch an unterschiedlichen Stellen durchdringen. Damit kann die Abgaswolke 9 örtlich aufgelöst erfasst werden. Die einzelnen Lichtstrahlen 6 können von zumindest einen Detektor 3 erfasst werden oder an zumindest einer Spiegelungseinheit 8 (wie in Fig.3) wie oben beschrieben reflektiert und als reflektierte Lichtstrahlen 6 zu zumindest einem Detektor 3 gelenkt (der in der Ausführung der Fig.3 in der Messeinheit 4 angeordnet ist) und damit erfasst werden.

Natürlich kann für jeden Lichtstrahl 6 oder eine Gruppe von Lichtstrahlen 6 jeweils eine Spiegelungseinheit 8 vorgesehen sein. Genauso kann für jeden reflektierten Lichtstrahl 6 oder für eine Gruppe an reflektierten Lichtstrahlen 6 jeweils ein Detektor 3 vorgesehen sein.

Der zumindest eine Detektor 3 kann nun wie beschrieben eine Abnahme der Lichtintensität, bzw. eine Absorption A , für jeden erfassten Lichtstrahl 6 ermitteln und an die Auswerteeinheit 11 übermitteln. Genauso kann die Auswerteeinheit 11 aus der von der Bildeinheit 29 aufgenommenen zumindest einen Abbildung des Messvolumens V_M für jeden Lichtstrahl 6, und gegebenenfalls zugehörigen reflektierten Lichtstrahl 6 (sofern dieser die Abgaswolke 9 durchdringt), wie beschrieben eine Gesamtdurchtrittsstrecke x ermitteln. Damit kann eine Konzentration c eines gasförmigen oder festen Stoffes an verschiedenen Stellen in der Abgaswolke 9 ermittelt werden.

Es ist offensichtlich, dass auch hier eine zweidimensionale örtliche Auflösung der Abgaswolke 9 möglich ist, wenn die Vorrichtung 1 so ausgeführt ist, dass zumindest zwei Gruppen von Lichtstrahlen 6 die Abgaswolke 9 in unterschiedlichen Richtungen (vorzugsweise normal aufeinander) durchdringen. Wenn eine solche zweidimensionale Auflösung mehrmals zeitlich hintereinander ausgeführt wird, kann daraus auch eine dreidimensionale Konzentrationsverteilung (bei einer bewegten Abgaswolke 9) oder ein zeitlicher Verlauf der Konzentrationsverteilung in einer Abgaswolke 9 ermittelt werden.

Die einzelnen Lichtstrahlen 6 sind im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 in der Messeinheit 4 über optische Pfade 13 geführt, beispielsweise Lichtwellenleiter, an deren Enden die Lichtstrahlen 6 über je eine Auskoppereinheit 12 abgestrahlt werden. Wenn zumindest zwei dieser optischen Pfade 13 mit unterschiedlichen optischen Weglängen ausgeführt sind, dann bewirkt das, dass die zu den optischen Pfaden mit unterschiedlichen Weglängen zugehörigen Rückstrahlen 6 aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten des Lichts zu unterschiedlichen Zeitpunkten an einem Detektor 3 ankommen. Das kann die Erfassung verschiedener Lichtstrahlen 6 mit einem einzelnen Detektor 3 vereinfachen oder erleichtern.

Es können in der Vorrichtung 1 natürlich auch eine Mehrzahl an Messeinheiten 4 mit Multiplexereinheiten 10, wie mit Bezugnahme auf die Fig.3 beschrieben, vorgesehen sein. Da ermöglicht wieder eine mehrfache Vermessung in einem Messvolumen V_M , vorzugsweise um eine zweidimensionale Auflösung des Messvolumens V_M zu erzielen, oder auch die Messung unterschiedlicher Messvolumina V_M .

Eine orts aufgelöste Ermittlung der Konzentration c in einer Abgaswolke 9 (beispielsweise mit einer Messeinheit nach Fig.3 oder mit mehreren Messeinheiten 4 wie in Fig.2 oder auch einer Kombination derartiger Anordnungen) kann dann beispielsweise genutzt werden, um eine kontinuierliche Verteilung eines gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke 9 zu simulieren, beispielsweise datengetrieben oder mittels hybrider Modellierung. Unter hybrider Modellierung versteht man eine Kombination aus diskreten Termen, wie beispielsweise den gemessenen Konzentrationswerten, und kontinuierlichen Termen, beispielsweise „Fluid/gas dynamics“ in einer Abgaswolke 9.

Fig. 4 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung 1. In dieser Ausgestaltung sind mehrere Messeinheiten 4 (in Fig.4 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit zwei davon angedeutet) angeordnet, die wie oben beschrieben ausgeführt sein können und für die jeweils ein Detektor 3 vorgesehen ist. Die mehreren Messeinheiten 4 werden verwendet, um in verschiedenen Messvolumina V_M Konzentrationsmessungen eines gasförmigen oder festen Stoffes in einer Abgaswolke 9 im jeweiligen Messvolumen V_M durchzuführen. Die Messvolumina V_M können dabei unterschiedlich im Volumen sein, wobei die Volumina von der Messanordnung der Messeinheiten 4 abhängen. Die Strahlengänge zur Konzentrationsmessung sind in Fig. 4 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht vollständig eingezeichnet bzw. nur teilweise angedeutet. In der Ausgestaltung der Fig.4 ist eine Bildeinheit 29 vorgesehen, die von allen Abgaswolken 9 in den verschiedenen Messvolumina V_M Abbildungen aufnimmt und an eine Auswerteeinheit 11 sendet. Die Auswerteeinheit 11 erhält natürlich auch Werte der mit Detektoren 3 ermittelten Absorptionen A.

Die Bildeinheit 29 ist in dieser Ausführung der Vorrichtung 1 als Lidareinheit 14 ausgeführt. Die Lidareinheit 14 kann örtlich in der Nähe der Messeinheiten 4 angeordnet sein, kann aber auch beispielsweise in einer bestimmten Höhe über den Messeinheiten 4 angeordnet sein, oder auch mittels Drohne mobil gesteuert werden, um eine Messkampagne durchzuführen.

Mit einer Lidareinheit 14 kann eine sehr genaue Vermessung einer Abgaswolke 9 durchgeführt werden, wobei die Lidareinheit 14 Abbildungen zumindest eines Teils der Abgaswolke 9 aufnimmt, um die Gesamtdurchtrittsstrecke x wie oben beschrieben zu ermitteln.

Die Lidareinheit 14 basiert auf einem Laser, beispielsweise einem YAG Laser mit 1064 nm oder 532 nm Wellenlänge, oder ähnlichen Ausführungen, die der Fachmann für passend erachtet. Es können auch IR Laser verwendet werden, wobei jedoch eine hinreichende Abschirmung nötig sein kann, um Augenschäden zu vermeiden.

Eine Lidareinheit 14 im UV oder NIR Bereich kann aber beispielsweise auch genutzt werden, um gasförmige oder feste Stoffe direkt zu messen. Lidar wird unter anderem eingesetzt, um in atmosphärischen Messungen beispielsweise Kohlendioxid (CO_2), Schwefeldioxid (SO_2) und Methan (CH_4) nachzuweisen. Das kann benutzt werden, um beispielsweise grobe Abschätzungen von gasförmigen oder festen Stoffen in der vermessenen Abgaswolke 9 durchzuführen oder auch um eine zu der erfindungsgemäßen Konzentrationsmessung redundante Konzentrationsmessung zu erhalten.

Die Lidareinheit 14 kann sich entlang zumindest einer Achse bewegen bzw. um zumindest eine Achse verschwenkt werden, um das Laserlicht in verschiedene Richtungen auszusenden, so dass damit ein Abbild der Umgebung und einer gegebenenfalls vorhandenen Abgaswolke 9 aufgezeichnet werden kann. In der Ausführung nach Fig.4 wird

die Lidareinheit 14 benutzt, um verschiedene Abgaswolken 9 in verschiedenen Messvolumina V_M abzubilden. Dazu scannt die Lidareinheit 14 die Umgebung 15 (in Fig. 4 durch einen Kreis rund um die Lidareinheit 14 dargestellt) und abhängig von der Reflexionszeit des ausgesendeten Laserimpulses werden Aufnahmen der Umgebung 15 gemacht. In Fig. 4 ist beispielhaft die Funktionsweise der Lidareinheit 14 in zwei Dimensionen dargestellt. Die Lidareinheit 14 rotiert um eine durch die Lidareinheit 14 normal auf die Zeichnungsebene von Fig. 4, verlaufende Achse und scannt in einer Kreisfrequenz ω die Umgebung 15. Dabei werden Abschnitte 16 der Abgaswolken 9 detektiert, zu Abbildungen der Abgaswolke 9 zusammengefügt und können somit von der Auswerteeinheit 11 zu einem Teil eines Abbilds der Abgaswolke 9 rekonstruiert werden.

Eine solche Lidareinheit 14 kann aber natürlich auch nur bei einem einzigen Messvolumen V_M , beispielsweise wie in Fig. 2 oder 3, verwendet werden. Genauso kann eine Mehrzahl an Lidareinheiten 14 in der Vorrichtung 1 vorhanden sein, die eine genaueres und gegebenenfalls größeres Abbild der Abgaswolke 9 ermöglichen.

Es sind auch Kombinationen aus Lidareinheiten 14 und Kameras 5 denkbar. Damit können beispielsweise Konzentrationen gasförmiger Stoffe über die Lidareinheit 14 gemessen werden, während eine Konzentration eines festen Stoffes in der Abgaswolke 9 über eine erfindungsgemäße Messeinheit 4 erfasst werden kann. So kann eine repräsentative Konzentrationsmessung von mehreren kritischen gasförmigen und festen Stoffen der Abgaswolke 9 erfolgen.

Fig. 5 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung. In dieser Ausführungsform sind zwei voneinander beabstandet angeordnete Spiegelungseinheiten 8, 8' vorgesehen. Die jeweiligen Spiegelungsebenen 8.1, 8.1' der beiden Spiegelungseinheiten 8, 8' sind einander zugewandt angeordnet. Der Lichtstrahl 6 wird nun von der Messeinheit 4 in einem Winkel α abgestrahlt, der von einer Normalen auf die erste Spiegelungsebene 8.1 der ersten Spiegelungseinheit 8 abweicht. Der Lichtstrahl 6 wird an der ersten Spiegelungsebene 8.1 reflektiert und zur zweiten Spiegelungsebene 8.1' der zweiten Spiegelungseinheit 8' gelenkt. An dieser erfolgt eine weitere Reflexion des Lichtstrahls 6 zurück zu ersten Spiegelungseinheit 8. Der Lichtstrahl 6 läuft damit in einer Mehrzahl von Reflexionen zwischen der ersten Spiegelungseinheit 8 und der zweiten Spiegelungseinheit 8' hin und her und bewegt sich entlang einer Längserstreckung der Spiegelungsebenen 8.1, 8.1'. Abhängig vom Winkel α kann somit eine Mehrzahl an Reflexionen erzielt werden. Nach der letzten Reflexion am Ende der Spiegelungseinheiten 8, 8' wird der Lichtstrahl 6 in der Ausführungsform gemäß Fig. 5 zu einem Detektor 3 gelenkt, der den Lichtstrahl 6 erfasst.

Nach der letzten Reflexion am Ende der Spiegelungseinheiten 8, 8' kann der Lichtstrahl 6 aber auch in einer nicht dargestellten Ausführungsform umgelenkt werden, beispielsweise

durch einen Umlenkspiegel, und in einer Anzahl von weiteren Reflexionen zwischen der ersten Spiegelungseinheit 8 und der zweiten Spiegelungseinheit 8' entlang einer Längserstreckung der Spiegelungsebenen 8.1, 8.1' zurücklaufen. In diesem Fall kann der Detektor 3 in der Messeinheit 4 angeordnet sein. Der Detektor 3 kann aber grundsätzlich an jeder geeigneten Stelle der Vorrichtung 1 angeordnet sein, die es erlaubt, den Lichtstrahl 6 nach einer Mehrzahl von Reflexionen des Lichts zwischen der ersten Spiegelungseinheit 8 und der zweiten Spiegelungseinheit 8' zu erfassen.

Aufgrund der mehrfachen Reflexionen kommt es zu einer Mehrzahl n von Durchtritten des Lichtstrahls 6 durch eine Abgaswolke 9 im Messvolumen V_M . Die sich daraus ergebenden Teildurchtrittsstrecken x_n des Lichts durch die Abgaswolke 9 können wie oben beschrieben mit der Bildeinheit 29 bestimmt werden, woraus wiederum die Gesamtdurchtrittsstrecke x als Summe der Teildurchtrittsstrecken x_n (hier gilt $n=1, 2, 3$) folgt. Das erlaubt wiederum die Konzentrationsbestimmung zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke 9.

Durch die Mehrzahl n von Durchtritten des Lichtstrahls 6 durch die Abgaswolke 9 kann die Sensitivität der Konzentrationsmessung weiter erhöht werden und es können auch sehr geringe Konzentrationen eines gasförmigen oder festen Stoffes in der Abgaswolke 9 ermittelt werden.

Um die Mehrzahl n von Durchtritten des Lichtstrahls 6 durch die Abgaswolke 9 selektiv und bedarfsgerecht einstellen zu können, kann in der Messeinheit 4 auch eine Positionierungsoptikeinheit 18 vorgesehen sein, die es erlaubt den Winkel α des abgestrahlten Lichtstrahls 6 zu verstellen. Eine solche Positionierungsoptikeinheit 18 kann beispielsweise ein x-y Galvanometer oder auch ein verstellbarer Spiegel sein.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform für einen Schutz einer Spiegelungseinheit 8 ist eine Schutzfolieneinheit 24, die in Fig.6 dargestellt ist. Diese dient dazu, eine Schutzfolie 23 austauschbar über einer Spiegelungseinheit 8 anzuordnen, um diese vor Verschmutzung oder Beschädigung (z.B. durch Kratzer) zu schützen. Die Schutzfolie 23 ist dabei hinreichend transparent ausgeführt. Eine verschmutzte Schutzfolie 23 kann bedarfsweise durch eine saubere Schutzfolie 23 ersetzt werden. Eine mögliche Ausführungsform einer Schutzfolieneinheit 24 besteht gemäß Fig.6 aus einer ersten Rolle 20, auf der saubere Schutzfolie 23 aufgewickelt ist. Von dieser ersten Rolle 20 kann saubere Schutzfolie 23 abgewickelt werden und über einer Spiegelungseinheit 8 angeordnet werden. Es kann eine zweite Rolle 21 vorgesehen sein, auf der die verschmutzte Schutzfolie 23 aufgewickelt werden kann. Bei bestimmungsgemäßer Verwendung wird bedarfsweise saubere Schutzfolie 23 von der ersten Rolle 20 abgewickelt und gleichzeitig verschmutzte Schutzfolie 23 von der

zweiten Rolle 21 aufgewickelt. Die Spiegelungseinheit 8 ist in dieser vorteilhaften Ausführungsform unterhalb der Oberfläche 7 angeordnet.

Die abgewickelte Schutzfolie 23 ist dabei über der Spiegelungseinheit 8 angeordnet, um die Spiegelungseinheit 8 vor Verschmutzung oder Beschädigung zu schützen. Aus

- 5 Stabilitätsgründen kann zwischen der Spiegelungseinheit 8 und der Schutzfolie 23 auch ein mechanischer Schutz 22 vorgesehen sein, welcher allerdings ausreichende optische Durchlässigkeit aufweisen sollte. Eine der beiden Rollen 20, 21 kann angetrieben sein, um ein bedarfsweises Weiterbewegen der Schutzfolie 23 über der Spiegelungseinheit 8 zu bewirken. Hierfür kann auch eine Automatisierungseinheit vorgesehen sein, die den Antrieb
- 10 der angetriebenen Rolle 20, 21 ansteuert. Günstigerweise kann das Antreiben der Rollen 20, 21 bei Unterschreiten eines Grenzwerts erfolgen, beispielsweise einem Lichtintensitätsverlust eines mit einem Detektor 3 erfassten Lichtstrahls 6. Dann kann die Automatisierungseinheit die angetriebene Rolle 20, 21 automatisiert ansteuern, um die Schutzfolie 23 weiterzubewegen. Damit kann die verschmutzte Schutzfolie 23 oberhalb der
- 15 Spiegelungseinheit 8 einfach und bedarfsweise durch eine unverschmutzte ausgetauscht werden. Das kann vorteilhaft sein, wenn die Spiegelungseinheit 8 generell hoher Verschmutzung ausgesetzt ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Konzentrationsbestimmung zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in zumindest einem Messvolumen (V_M), wobei zumindest eine Messeinheit (4)
 - 5 vorgesehen ist, einen Lichtstrahl (6) mit vorgegebener Lichtintensität (I) durch das Messvolumen (V_M) abzustrahlen, und zumindest ein Detektor (3) vorgesehen ist, um den Lichtstrahl (6) nach dem Durchtritt durch das Messvolumen (V_M) zu erfassen, wobei der zumindest eine Detektor (3) ausgebildet ist, eine Abnahme der Lichtintensität aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) zu ermitteln,
 - 10 **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung (1) eine Bildeinheit (29) vorgesehen ist, um bei teilweisem oder vollständigem Vorhandensein einer Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) zumindest einen Teil der Abgaswolke (9) aufzunehmen, **dass** in der Vorrichtung (1) eine Auswerteeinheit (11) vorgesehen ist, um aus zumindest einer aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke (9) eine Gesamtdurchtrittsstrecke (x) des
 - 15 Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) zu bestimmen, **und dass** die Auswerteeinheit (11) dazu eingerichtet ist, aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke (x) eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) zu ermitteln.
2. Vorrichtung nach Anspruch 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine
 - 20 Messeinheit (4) beabstandet von zumindest einer ersten Spiegelungseinheit (8) angeordnet ist, wobei das Messvolumen (V_M) zwischen der zumindest einen Messeinheit (4) und der zumindest einen ersten Spiegelungseinheit (8) ausgebildet ist, und die zumindest eine Messeinheit (4) dazu eingerichtet ist, einen Lichtstrahl (6) in Richtung der zumindest einen Spiegelungseinheit (8) abzustrahlen, und dass die zumindest eine erste Spiegelungseinheit
 - 25 (8) vorgesehen ist, den Lichtstrahl (6) nach Durchtritt durch das Messvolumen (V_M) zu reflektieren und zu zumindest einem Detektor (3) zu senden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** der an der Spiegelungseinheit (8) reflektierte Lichtstrahl (6) das Messvolumen (V_M) vor Erreichen des zumindest einen Detektors (3) zumindest ein weiteres Mal durchdringt.
- 30 4. Vorrichtung nach Anspruch 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gesamtdurchtrittsstrecke (x) die Summe der Teildurchtrittsstrecken aller Durchtritte des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 0 bis 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Messeinheit (4) eine Multiplexereinheit (10) vorgesehen ist, die eine Mehrzahl an
 - 35 Lichtstrahlen (6) erzeugt, und die Messeinheit (4) die Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) an unterschiedlichen Stellen durch das Messvolumen (V_M) abstrahlt und zumindest ein Detektor

(3) jeden der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6), vorzugsweise nach einer Reflexion an einer Spiegelungseinheit (8), erfasst.

6. Vorrichtung nach Anspruch 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) in der Messeinheit (4) über jeweils einen optischen Pfad (13) geführt sind, wobei vorzugsweise die optischen Pfade (13) zumindest teilweise unterschiedliche optische Weglängen aufweisen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 0 oder 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messeinheit (4) zumindest einen ersten Lichtstrahl (6) der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) in einer ersten Richtung durch das Messvolumen (V_M) abstrahlt und die Messeinheit (4) einen zweiten Lichtstrahl (6) der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) in einer zweiten Richtung durch das Messvolumen (V_M) abstrahlt, wobei die erste Richtung unterschiedlich zur zweiten Richtung ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 0 bis 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung eine zweite Spiegelungseinheit (8') vorgesehen ist, die beabstandet und gegenüberliegend von der zumindest einen ersten Spiegelungseinheit (8) angeordnet ist und die Messeinheit (4) den Lichtstrahl (6) in einem von einer Normalen auf eine erste Spiegelungsebene (8.1) der ersten Spiegelungseinheit (8) abweichenden Winkel abstrahlt, wobei die erste Spiegelungseinheit (8) den von der Messeinheit (4) abgestrahlten Lichtstrahl (6) zur gegenüberliegenden zweiten Spiegelungseinheit (8') reflektiert und die gegenüberliegende zweite Spiegelungseinheit (8') den Lichtstrahl (6) wieder zur ersten Spiegelungseinheit (8) zurückreflektiert, wobei der zumindest eine Detektor (5) dazu eingerichtet ist, den Lichtstrahl (6) nach einer Mehrzahl solcher Reflexionen zu erfassen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Messeinheit (4) eine Positionierungsoptikeinheit (18) vorgesehen ist, mit der der Winkel des Lichtstrahls (6) verstellbar ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 0 bis 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung (1) mehrere Messeinheiten (4) vorgesehen sind, wobei zumindest zwei der Messeinheiten (4) einen Lichtstrahl (6) durch unterschiedliche Messvolumina (V_M) abstrahlen.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 0 bis 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung (1) mehrere Messeinheiten (4) vorgesehen sind, wobei zumindest zwei der Messeinheiten (4) einen Lichtstrahl (6) mit unterschiedlichen Richtungen durch dasselbe Messvolumen (V_M) abstrahlen.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 0 bis 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bildeinheit (29) zumindest eine Kamera (5) und/oder zumindest eine Lidareinheit (14) aufweist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 0 bis 0, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Schutzfolie (23) austauschbar über der zumindest einen Spiegelungseinheit (8) angeordnet ist.

14. Verfahren zur Konzentrationsbestimmung (1) zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in einer Abgaswolke (9) in zumindest einem Messvolumen (V_M), wobei die zumindest eine Messeinheit (4) einen Lichtstrahl (6) mit einer vorgegebenen Lichtintensität (I) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) abstrahlt der Lichtstrahl (6) nach Durchtritt durch die Abgaswolke (9) von einem Detektor (3) erfasst wird und der Detektor (3) eine Abnahme der Lichtintensität des Lichtstrahls (6) aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes ermittelt, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) von einer Bildeinheit (29) aufgenommen wird und aus der aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke (9) eine Gesamtdurchtrittsstrecke (x) des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) bestimmt wird, **und dass** aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke (x) eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) ermittelt wird.

1/6

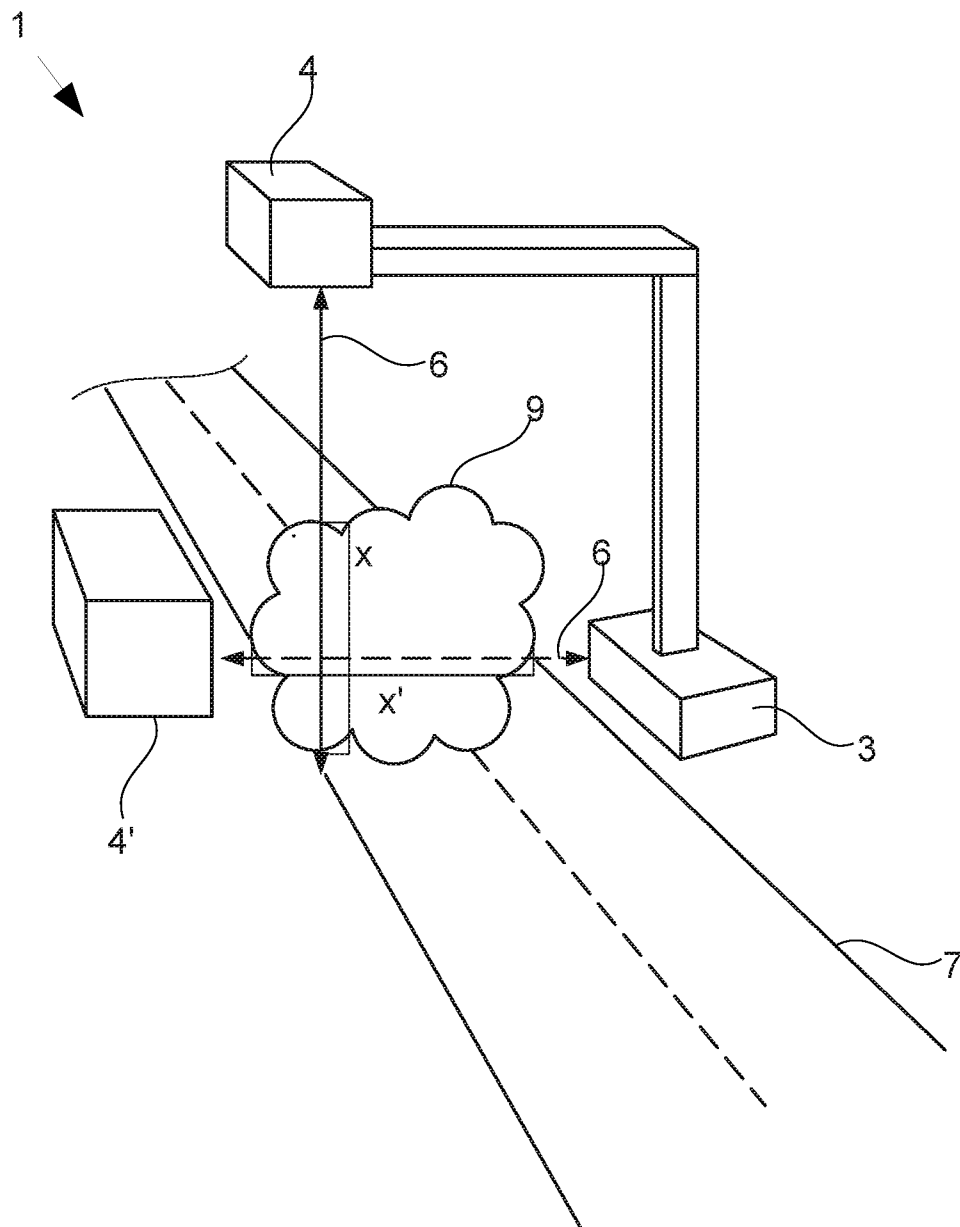


Fig. 1

2/6

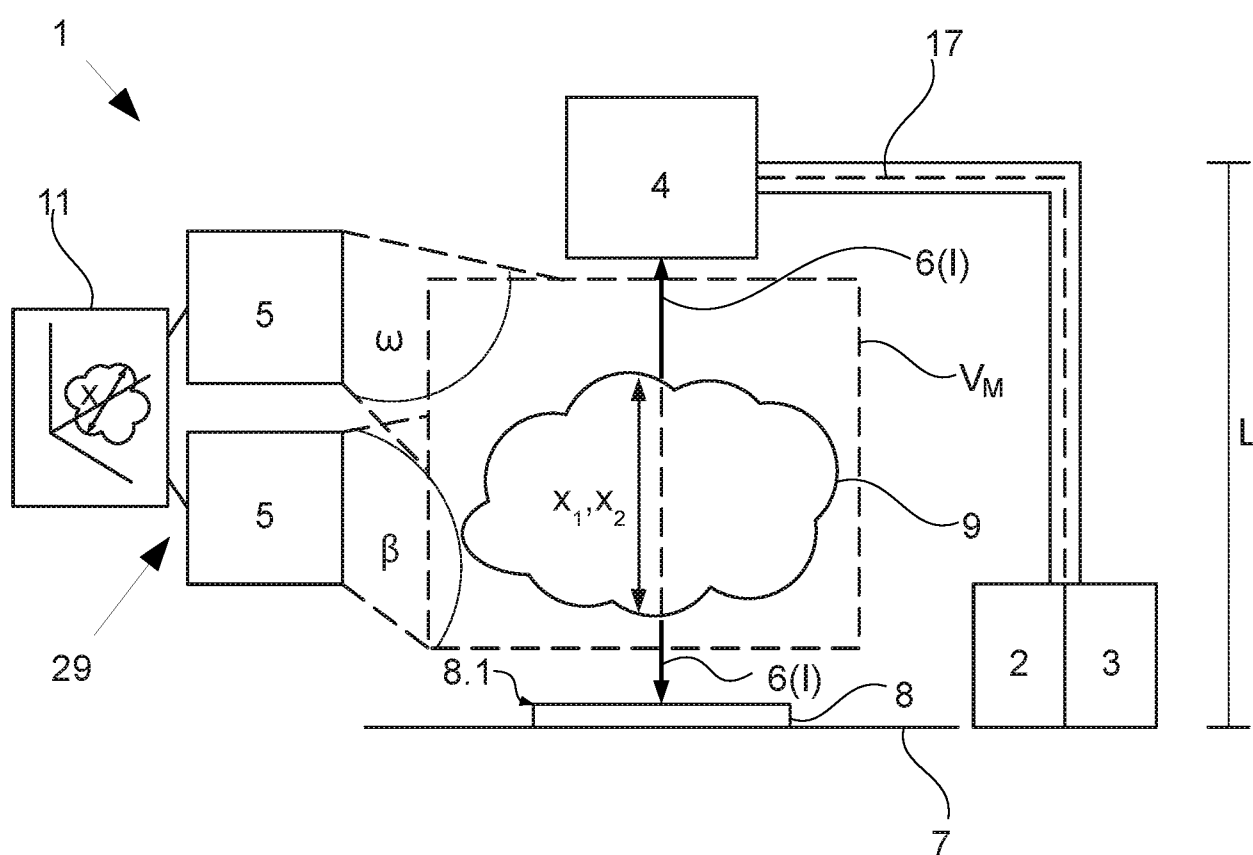


Fig. 2

3/6

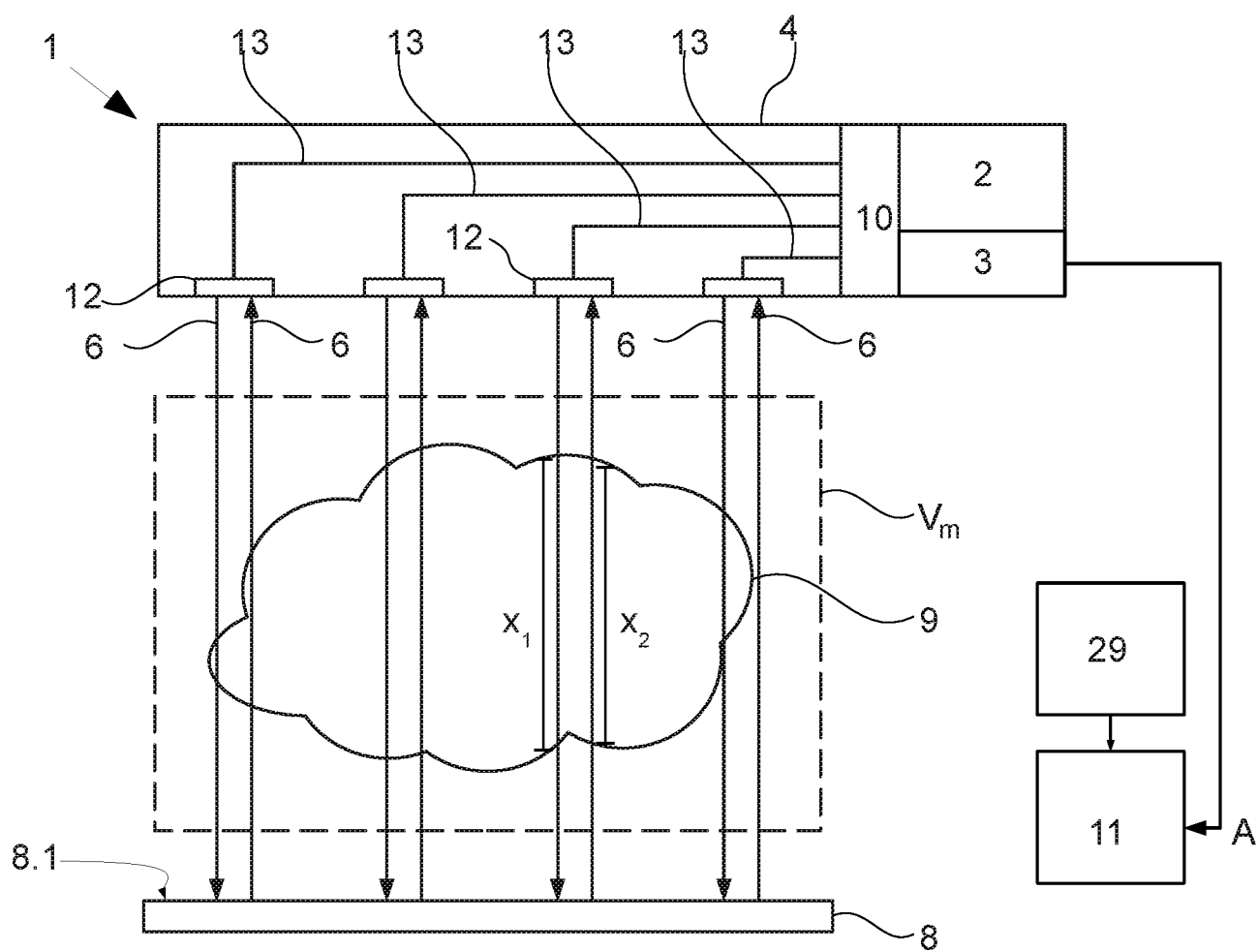


Fig. 3

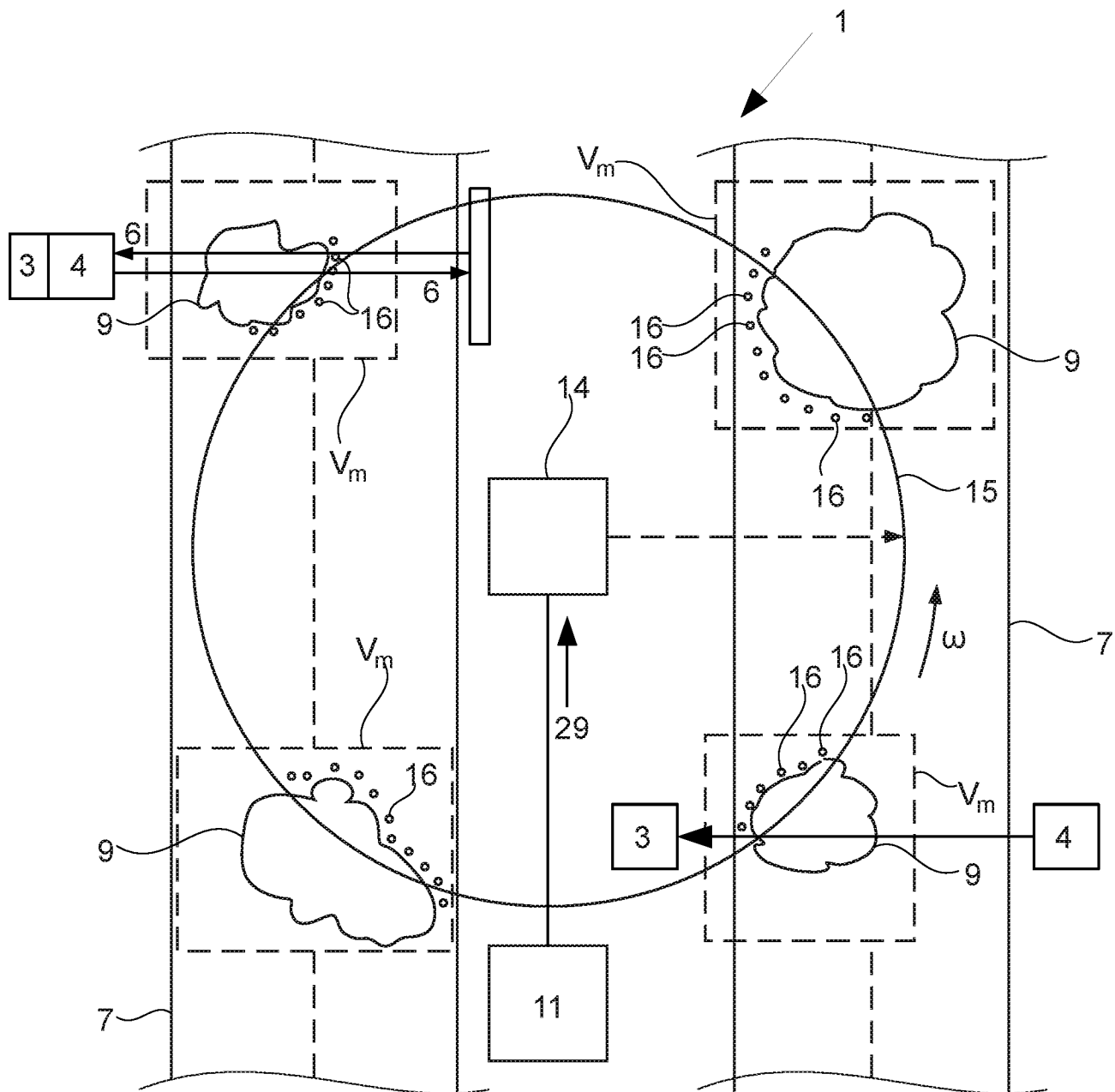


Fig. 4

5/6

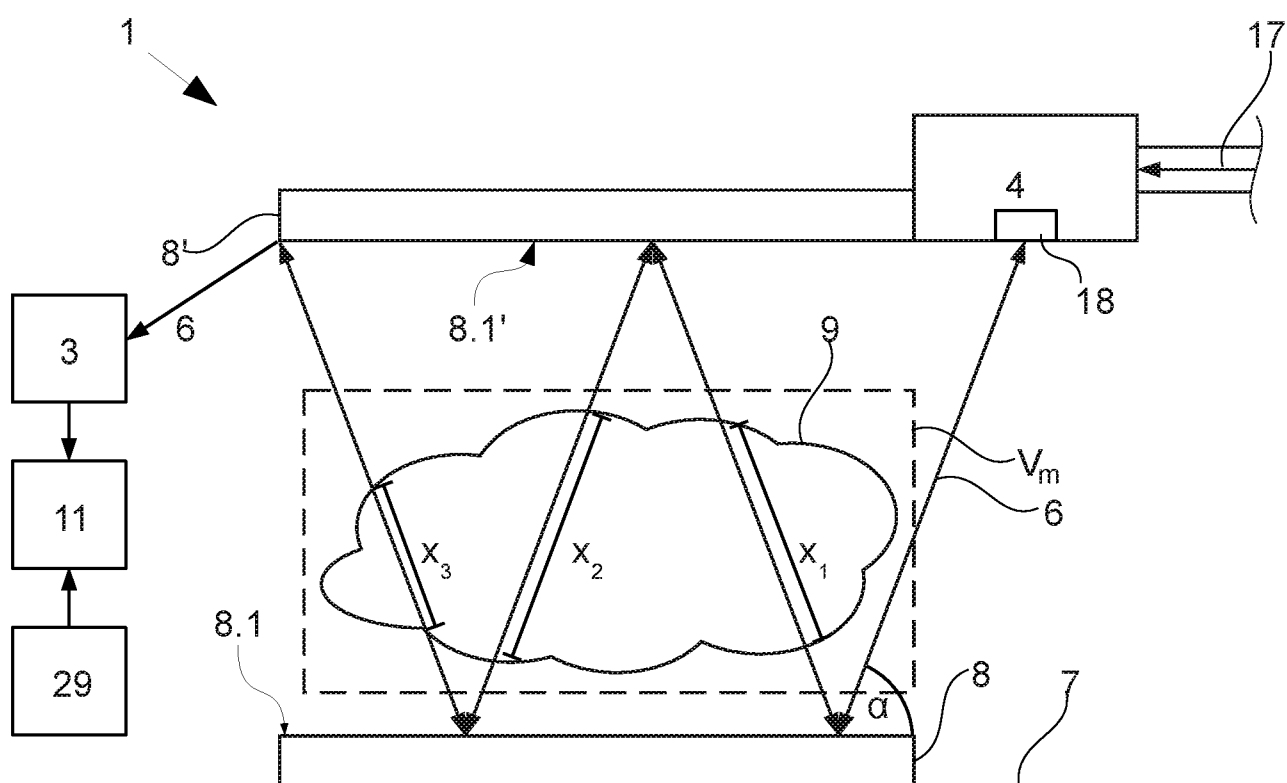


Fig. 5

6/6

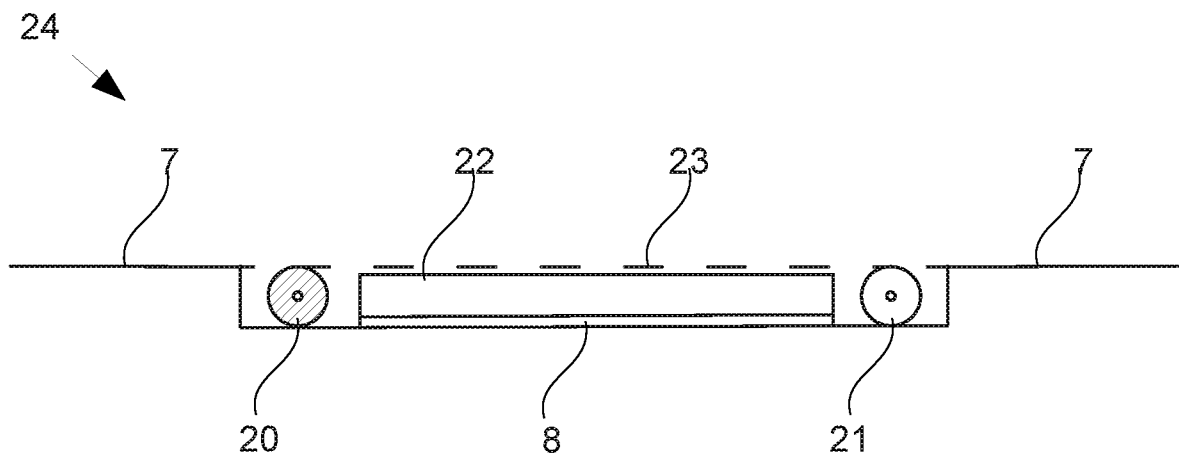


Fig. 6

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

G01N 21/3504 (2014.01); G01N 33/00 (2006.01); G01M 15/10 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

G01N 21/3504 (2014.12); G01N 33/0004 (2013.01); G01N 33/0037 (2013.01); G01N 33/0042 (2013.01); G01M 15/10 (2019.01); G01M 15/108 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

G01N, G01M

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC; WPIAP; TXTnn

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 25.06.2021 eingereichten Ansprüchen 1-14 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 2013181836 A1 (CARDOSO GEORGE CUNHA, MESTHA LALIT KESHAV) 18. Juli 2013 (18.07.2013) Beschreibung Abs. [0025], [0033]-[0035].	1-14
A	US 2015006018 A1 (TESANOVIC MILOS, VADGAMA SUNIL KESHAVJI) 01. Januar 2015 (01.01.2015) das ganze Dokument.	1-14
A	US 2014160479 A1 (HAGER J STEWART, YEREM GEOFFREY) 12. Juni 2014 (12.06.2014) Fig. 1 und Fig. 5 sowie dazugehöriger Text.	1-14
A	CN 107884345 A (NANJING NEWVISION INTELLIGENT TECH CO LTD) 06. April 2018 (06.04.2018) das ganze Dokument; (übersetzt) [online] [abgerufen am 30.11.2021]. Abgerufen von TXPMTCEA-Datenbank.	1-14
Datum der Beendigung der Recherche: 30.11.2021		
Seite 1 von 1		Prüfer(in): ROBISCH Nicolas

*) Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung an einer ortsfesten Oberfläche zur Konzentrationsbestimmung zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in zumindest einem Messvolumen (V_M), wobei
 5 zumindest eine Messeinheit (4) vorgesehen ist, einen Lichtstrahl (6) mit vorgegebener Lichtintensität (I) durch das Messvolumen (V_M) abzustrahlen, und zumindest ein Detektor (3) vorgesehen ist, um den Lichtstrahl (6) nach dem Durchtritt durch das Messvolumen (V_M) zu erfassen, wobei der zumindest eine Detektor (3) ausgebildet ist, eine Abnahme der Lichtintensität aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes im
 10 Messvolumen (V_M) zu ermitteln, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung (1) eine Bildeinheit (29) vorgesehen ist, um bei teilweisem oder vollständigem Vorhandensein einer Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) zumindest einen Teil der Abgaswolke (9) aufzunehmen, **dass** in der Vorrichtung (1) eine Auswerteeinheit (11) vorgesehen ist, um aus zumindest einer aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der
 15 Abgaswolke (9) eine Gesamtdurchtrittsstrecke (x) des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) zu bestimmen, **und dass** die Auswerteeinheit (11) dazu eingerichtet ist, aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke (x) eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) zu ermitteln.
- 20 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Messeinheit (4) beabstandet von zumindest einer ersten Spiegelungseinheit (8) angeordnet ist, wobei das Messvolumen (V_M) zwischen der zumindest einen Messeinheit (4) und der zumindest einen ersten Spiegelungseinheit (8) ausgebildet ist, und die zumindest eine Messeinheit (4) dazu eingerichtet ist, einen Lichtstrahl (6) in Richtung der
 25 zumindest einen Spiegelungseinheit (8) abzustrahlen, und dass die zumindest eine erste Spiegelungseinheit (8) vorgesehen ist, den Lichtstrahl (6) nach Durchtritt durch das Messvolumen (V_M) zu reflektieren und zu zumindest einem Detektor (3) zu senden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der an der Spiegelungseinheit (8) reflektierte Lichtstrahl (6) das Messvolumen (V_M) vor Erreichen des
 30 zumindest einen Detektors (3) zumindest ein weiteres Mal durchdringt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gesamtdurchtrittsstrecke (x) die Summe der Teildurchtrittsstrecken aller Durchtritte des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der
 35 Messeinheit (4) eine Multiplexereinheit (10) vorgesehen ist, die eine Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) erzeugt, und die Messeinheit (4) die Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) an

unterschiedlichen Stellen durch das Messvolumen (V_M) abstrahlt und zumindest ein Detektor (3) jeden der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6), vorzugsweise nach einer Reflexion an einer Spiegelungseinheit (8), erfasst.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) in der Messeinheit (4) über jeweils einen optischen Pfad (13) geführt sind, wobei vorzugsweise die optischen Pfade (13) zumindest teilweise unterschiedliche optische Weglängen aufweisen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messeinheit (4) zumindest einen ersten Lichtstrahl (6) der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) in einer ersten Richtung durch das Messvolumen (V_M) abstrahlt und die Messeinheit (4) einen zweiten Lichtstrahl (6) der Mehrzahl an Lichtstrahlen (6) in einer zweiten Richtung durch das Messvolumen (V_M) abstrahlt, wobei die erste Richtung unterschiedlich zur zweiten Richtung ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung eine zweite Spiegelungseinheit (8') vorgesehen ist, die beabstandet und gegenüberliegend von der zumindest einen ersten Spiegelungseinheit (8) angeordnet ist und die Messeinheit (4) den Lichtstrahl (6) in einem von einer Normalen auf eine erste Spiegelungsebene (8.1) der ersten Spiegelungseinheit (8) abweichenden Winkel abstrahlt, wobei die erste Spiegelungseinheit (8) den von der Messeinheit (4) abgestrahlten Lichtstrahl (6) zur gegenüberliegenden zweiten Spiegelungseinheit (8') reflektiert und die gegenüberliegende zweite Spiegelungseinheit (8') den Lichtstrahl (6) wieder zur ersten Spiegelungseinheit (8) zurückreflektiert, wobei der zumindest eine Detektor (5) dazu eingerichtet ist, den Lichtstrahl (6) nach einer Mehrzahl solcher Reflexionen zu erfassen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Messeinheit (4) eine Positionierungsoptikeinheit (18) vorgesehen ist, mit der der Winkel des Lichtstrahls (6) verstellbar ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung (1) mehrere Messeinheiten (4) vorgesehen sind, wobei zumindest zwei der Messeinheiten (4) einen Lichtstrahl (6) durch unterschiedliche Messvolumina (V_M) abstrahlen.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung (1) mehrere Messeinheiten (4) vorgesehen sind, wobei zumindest zwei der Messeinheiten (4) einen Lichtstrahl (6) mit unterschiedlichen Richtungen durch dasselbe Messvolumen (V_M) abstrahlen.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bildeinheit (29) zumindest eine Kamera (5) und/oder zumindest eine Lidareinheit (14) aufweist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Schutzfolie (23) austauschbar über der zumindest einen Spiegelungseinheit (8) angeordnet ist.

14. Verfahren zur Konzentrationsbestimmung (1) zumindest eines gasförmigen oder festen Stoffes in einer Abgaswolke (9) in zumindest einem Messvolumen (V_M) mittels einer Messeinheit (4) an einer ortsfesten Oberfläche, wobei die zumindest eine Messeinheit (4) einen Lichtstrahl (6) mit einer vorgegebenen Lichtintensität (I) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) abstrahlt der Lichtstrahl (6) nach Durchtritt durch die Abgaswolke (9) von einem Detektor (3) erfasst wird und der Detektor (3) eine Abnahme der Lichtintensität des Lichtstrahls (6) aufgrund des zumindest einen gasförmigen oder festen Stoffes ermittelt, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) von einer Bildeinheit (29) aufgenommen wird und aus der aufgenommenen Abbildung des zumindest einen Teils der Abgaswolke (9) eine Gesamtdurchtrittsstrecke (x) des Lichtstrahls (6) durch die Abgaswolke (9) im Messvolumen (V_M) bestimmt wird, **und dass** aus der ermittelten Abnahme der Lichtintensität und der Gesamtdurchtrittsstrecke (x) eine Konzentration des gasförmigen oder festen Stoffes im Messvolumen (V_M) ermittelt wird.