

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50543/2019 (51) Int. Cl.: **G01N 15/02** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 17.06.2019 **G01N 15/06** (2006.01)  
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2022 **G01N 15/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
WO 2018143102 A1  
US 2004011975 A1  
DE 102015108312 A1

(73) Patentinhaber:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

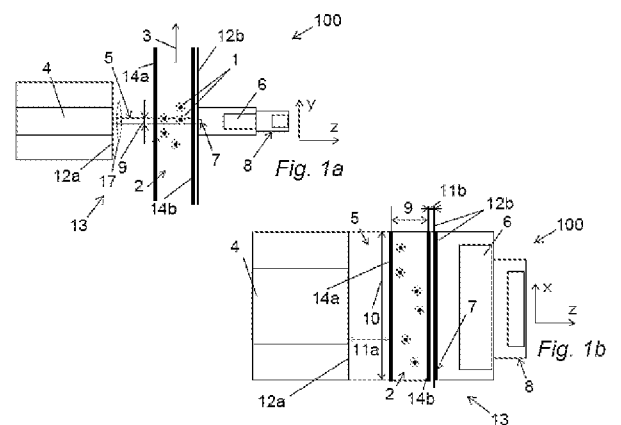
(72) Erfinder:  
Brunnhöfer Georg MSc  
8010 Graz (AT)  
Bergmann Alexander Mag. Dr.  
8052 Graz (AT)  
Klug Andreas Dipl.Ing. Dr. MBA  
8102 Semriach (AT)

(74) Vertreter:  
Kopetz Heinrich Dipl.-Ing.  
8020 Graz (AT)

### (54) Messvorrichtung und Verfahren zur Detektion von flüssigen und/oder festen Teilchen eines Fluidstroms

(57) Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung (100), einen Kondensationspartikelzähler (20) mit einer solchen Messvorrichtung (100) und ein Verfahren zur Detektion von flüssigen und/oder festen Teilchen (1) eines Fluidstroms, wobei die Messvorrichtung (100) einen im Messbetrieb von dem Fluidstrom durchströmten Messkanal (2) umfasst, wobei der Messkanal (2) einen in der Normalebene der Strömungsrichtung des Fluidstroms (3) liegenden Messkanalquerschnitt aufweist, wobei die Messvorrichtung mindestens einen fotosensitiven Detektor (6) mit einer flächig ausgebildeten Detektorfläche (7), mindestens eine Lichtquelle (4), deren Strahlung im Messbetrieb den Messkanal (2) sowie den Fluidstrom entlang ihrer Strahlungsrichtung durchsetzt und, gegebenenfalls abgeschwächt, auf die Detektorfläche (7) mindestens eines ihr zugeordneten Detektors (6) trifft und diese Detektorfläche (7) zumindest teilweise, bevorzugt vollständig bestrahlt, umfasst, und wobei die entlang der Strahlungsrichtung gemessene Dicke des Messkanalquerschnitts (9) kleiner ist als die quer zur Strahlungsrichtung gemessene, Breite des Messkanalquerschnitts (10). Erfindungsgemäß ist die mindestens eine Lichtquelle (4) eine kohärente

Lichtquelle (4), wobei die kohärente Lichtquelle (4) eine Kohärenzlänge von mindestens dem Abstand der jeweiligen Lichtquelle (4) zum jeweiligen zugeordneten Detektor (6) aufweist.



## Beschreibung

### MESSVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR DETEKTION VON FLÜSSIGEN UND/ODER FESTEN TEILCHEN EINES FLUIDSTROMS

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung, einen Kondensationspartikelzähler und ein Verfahren gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

**[0002]** Mit den gewachsenen Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Verbrennungskraftmaschinen kommt der Entwicklung zuverlässiger Vorrichtungen für die Messung der Anzahl an Teilchen, insbesondere an Feststoffpartikeln, bei der Entwicklung und den Tests solcher Maschinen eine stetig steigende Bedeutung zu.

**[0003]** Dabei unterscheidet man zwischen einer integralen Partikelmessung, bei der aufgrund eines Detektionsergebnisses mithilfe statistischer Berechnungen auf die gesamte Partikeldichte geschlossen wird, und einer Partikelzählung, bei der jedes einzelne Partikel im Fluidstrom bzw. Aerosolstrom detektiert und die Gesamtanzahl der im Fluidstrom bzw. Aerosolstrom vorhandenen Partikel gezählt wird.

**[0004]** Ein Beispiel außerhalb des Gebiets von Verbrennungskraftmaschinen, hier für die Zählung von Zellen oder Zellanhäufungen, zeigt z.B. die WO 2018/143102 A1 bzw. die zugehörige US 2019/0331581 A1. Eine vergleichbare Lösung mit unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten zeigt die US 2004/0011975 A1.

**[0005]** Aus dem Stand der Technik sind Vorrichtungen bekannt, welche, um die Partikelanzahl über ein großes Partikelgrößenspektrum von wenigen Nanometern bis in den Mikrometerbereich bestimmen zu können, die Partikel vor einer Zählereinheit eine Kondensationseinheit durchlaufen, in der sich um jedes Partikel ein Kondensattropfen bildet, das durch seine Größe leichter zu detektieren ist.

**[0006]** Ein Beispiel für einen derartigen Kondensationspartikelzähler zeigt die DE 10 2015 108 312 A1.

**[0007]** Für die Genauigkeit der Zählung ist es dabei wichtig, dass die Kondensattropfen eine möglichst einheitliche Größe aufweisen, was den technischen Aufwand und die Kosten der Kondensationseinheit erhöht. Es ist auch technisch aufwendig, die Qualität der Kondensation und die Gleichmäßigkeit der Kondensationspartikel zu überprüfen, etwa bei der Wartung bestehender Kondensationspartikelzähler oder bei der Entwicklung neuer Kondensationspartikelzähler.

**[0008]** Um eine zuverlässige Zählung aller Partikel zu gewährleisten, sind Partikelzähler des Standes der Technik üblicherweise als eindimensionale Partikelzähler ausgeführt, bei denen der Partikelstrom nach der Kondensationseinheit durch eine Vereinzeldüse geführt wird.

**[0009]** Die Partikel können daher mit einer ausreichend hohen Wahrscheinlichkeit vereinzelt, das heißt eines nach dem anderen, aus der Düse austreten, um eine Zählung der einzelnen Partikel möglichst ohne Koinzidenzen zu ermöglichen. Aufgrund der Vereinzeldüse bewegen sich dabei die zu messenden Partikel in der Regel mit hohen Geschwindigkeiten von beispielsweise etwa 10 - 100 m/s durch das Detektionsvolumen. Die hohen Durchtrittsgeschwindigkeiten sowie die relativ kleine Dimension der aufkondensierten Tropfen (ca. 5 - 20  $\mu\text{m}$ ) erfordern hier eine hohe Sensitivität und eine hohe zeitliche Auflösung der Sensoren.

**[0010]** Partikelzähler des Standes der Technik in der sogenannten Ausführung als Vollstromgerät, das heißt bei Vorrichtungen, in welchen der gesamte Probenstrom durch die Messkammer strömt, sind derzeit in der Lage, Fluidströme mit einer Partikeldichte von bis zu 30000 Partikeln pro Kubikzentimeter zu detektieren. Dieses Zähllimit wird in erster Linie durch die Koinzidenzwahrscheinlichkeit bestimmt.

**[0011]** Unter Koinzidenz wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung verstanden, dass zwei Partikel so knapp hintereinander den Laserstrahl bzw. den Lichtstrahl der Lichtquelle passieren, dass statt zweier einzelner Impulse nur ein Impuls detektiert wird. Gleichzeitig muss bei derarti-

gen Vorrichtungen bei niedrigen Teilchenzahlen die Messzeit deutlich erhöht werden, um ausreichende statistische Verteilungen zu erhalten. Damit wird der Messvorgang erhöht.

**[0012]** Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, eine Messvorrichtung zu schaffen, welche eine einfache, kostengünstige und rasche Detektion von festen oder flüssigen Teilchen in einem Fluidstrom, insbesondere mit hohen Teilchendichten von über 30000 bis hin zu über 100000 Teilchen pro Kubikzentimeter ermöglicht. Der Erfindung liegt somit unter anderem die Aufgabe zugrunde, eine Messvorrichtung zu schaffen, welche eine gleichzeitige Detektion von mehreren Teilchen bei gleichzeitiger niedriger Überlappungs- bzw. Koinzidenzwahrscheinlichkeit der Teilchen ermöglicht.

**[0013]** Die erfindungsgemäße Aufgabe wird insbesondere durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

**[0014]** Die Erfindung betrifft insbesondere eine Messvorrichtung zur Detektion von flüssigen und/oder festen Teilchen eines Fluidstroms, umfassend: einen im Messbetrieb von dem Fluidstrom durchströmten Messkanal, wobei der Messkanal einen in der Normalebene der Strömungsrichtung des Fluidstroms liegenden Messkanalquerschnitt aufweist, mindestens einen fotosensitiven Detektor mit mindestens einer flächig ausgebildeten Detektorfläche, mindestens eine Lichtquelle, deren Strahlung im Messbetrieb den Messkanal sowie den Fluidstrom entlang ihrer Strahlungsrichtung durchsetzt und, gegebenenfalls abgeschwächt, auf die mindestens eine Detektorfläche mindestens eines ihr zugeordneten Detektors trifft und diese mindestens eine Detektorfläche zumindest teilweise, bevorzugt vollständig bestrahlt, wobei die entlang der Strahlungsrichtung gemessene Dicke des Messkanalquerschnitts kleiner ist als die quer zur Strahlungsrichtung gemessene Breite des Messkanalquerschnitts.

**[0015]** Unter einem Fluidstrom werden im Rahmen der vorliegenden Offenbarung strömende Medien wie Gase, Gasgemische, Flüssigkeiten oder Flüssigkeitsgemische verstanden, gegebenenfalls mit flüssigen und/oder festen Teilchen.

**[0016]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass die mindestens eine Lichtquelle eine kohärente Lichtquelle ist, wobei die kohärente Lichtquelle eine Kohärenzlänge von mindestens dem Abstand der jeweiligen Lichtquelle zum jeweiligen zugeordneten Detektor, insbesondere der jeweils zugeordneten Detektorfläche, entspricht.

**[0017]** In allen Ausführungsformen ist die Strahlungsrichtung bevorzugt jene Richtung, die normal zur jeweiligen Detektorfläche verläuft. Die Strahlungsrichtung kann somit insbesondere als Normale auf jene Detektorfläche definiert werden, die der jeweiligen Lichtquelle zugeordnet ist.

**[0018]** Die Messvorrichtung ist bevorzugt zur Zählung und/oder Messung von flüssigen und festen Teilchen in einem Fluidstrom eingerichtet.

**[0019]** Der Fluidstrom kann auf einer Seite des Messkanals in den Messkanal eintreten und auf einer gegenüberliegenden Seite des Messkanals aus dem Messkanal austreten. Mit anderen Worten kann der Fluidstrom den Messkanal entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms durchströmen. Insbesondere ist der Messkanal rohrförmig, schachtförmig oder spaltförmig ausgebildet.

**[0020]** Der Messkanal kann sich in drei Richtungen strecken und eine Breite, eine Dicke und eine Höhe aufweisen. Bevorzugt entsprechen die Breite und die Dicke des Messkanals der Breite und der Dicke des Messkanalquerschnitts.

**[0021]** Der Messkanal weist bevorzugt einen Messkanalquerschnitt auf, welcher in einer Normalebene zu der Strömungsrichtung des Fluidstroms und insbesondere in einer Normalebene zu der Strömungsrichtung der Teilchen des Fluidstroms liegt. Der Messkanalquerschnitt liegt bevorzugt auch in einer Normalebene zur Detektorfläche.

**[0022]** Ferner kann die Messvorrichtung einen lichtsensitiven und/oder fotosensitiven Detektor mit mindestens einer Detektorfläche umfassen. Die Detektorfläche kann dazu eingerichtet sein, das von der Lichtquelle ausgestrahlte Licht zu erfassen und/oder zu detektieren.

**[0023]** Insbesondere weist die Messvorrichtung mindestens eine Lichtquelle zur Durchleuchtung des Fluidstroms in einem Bereich des Messkanals auf, der vom Fluidstrom im Messbetrieb durchströmt wird.

**[0024]** Das von der mindestens einen Lichtquelle ausgestrahlte Licht kann den Messkanal durchleuchten und/oder durchsetzen. Insbesondere wird das ausgestrahlte Licht durch die Teilchen des Fluidstroms abgeschwächt und/oder verändert und trifft anschließend auf die Detektorfläche des mindestens einen Detektors. Das heißt, dass bevorzugt das ausgestrahlte Licht zuerst durch eine Seitenwand des Messkanals in den Messkanal eintritt, dann durch den Fluidstrom hindurch tritt, dann durch eine weitere Seitenwand des Messkanals aus dem Messkanal austritt und anschließend auf die Detektorfläche trifft.

**[0025]** Der mindestens einen Lichtquelle kann jeweils ein Detektor oder können jeweils mehrere Detektoren zugeordnet sein. Mit anderen Worten kann das von einer Lichtquelle ausgestrahlte Licht auf eine oder mehrere Detektorfläche/n treffen.

**[0026]** Dem mindestens einen Detektor kann jeweils eine Lichtquelle oder können jeweils mehrere Lichtquellen zugeordnet sein. Mit anderen Worten kann eine Detektorfläche von einer oder mehreren Lichtquelle/n, insbesondere bereichsweise, bestrahlt werden.

**[0027]** Gegebenenfalls ist die Dicke des Messkanalquerschnitts um ein Vielfaches kleiner als die Breite des Messkanalquerschnitts.

**[0028]** Durch das Verhältnis der Dicke zur Breite des Messkanalquerschnitts kann ein Fluidstrom mit einer hohen Teilchenkonzentration, insbesondere einer Teilchenkonzentration über 20000 Teilchen pro Kubikzentimeter, bevorzugt über 100000 Teilchen pro Kubikzentimeter, detektiert werden, da die Teilchen des Fluidstroms insbesondere auf eine größere Querschnittsfläche verteilt werden können.

**[0029]** Hierbei ist anzumerken, dass eine Vergrößerung der Querschnittsfläche durch Erhöhung der Breite des Messkanalquerschnitts im Gegensatz zu einer Vergrößerung der Dicke des Messkanals die Koinzidenzwahrscheinlichkeit von Teilchen nicht erhöht.

**[0030]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass am Messkanal jeweils mindestens eine Detektorfläche und jeweils mindestens eine Lichtquelle gegenüberliegend angeordnet sind.

**[0031]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann ein Detektor eine, insbesondere fotosensitive und/oder lichtsensitive, Detektorfläche oder mehrere, insbesondere fotosensitive und/oder lichtsensitive, Detektorflächen umfassen. Das heißt, dass die Detektorfläche mindestens eines Detektors aus einer Detektorfläche oder mehreren Detektorflächen gebildet sein kann.

**[0032]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter Fluidstrom ein heterogenes Gemisch aus festen und/oder flüssigen Teilchen in einem Gas oder einer Flüssigkeit verstanden werden; bei einem Aerosolstrom handelt es sich um ein heterogenes Gemisch aus festen und/oder flüssigen Schwebeteilchen in einem Gas bzw. Gasgemisch. Die Teilchen können beispielsweise Partikel, Rußpartikel, Bremsabriebpartikel, Feinstaubteilchen, Wassertropfen und/oder Flüssigkeitstropfen sein. Der mit flüssigen und/oder festen Teilchen beladene Aerosolstrom kann ein Abgasstrom einer Verbrennungskraftmaschine sein.

**[0033]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter Strömungsrichtung des Fluidstroms die Hauptströmungsrichtung des Fluidstroms, insbesondere die Hauptströmungsrichtung der Teilchen des Fluidstroms, verstanden werden.

**[0034]** Die Strömungsrichtung des Fluidstroms kann in einem Winkel von im Wesentlichen 90° zum von der Lichtquelle ausgesandten Licht, insbesondere dem sogenannten Lichtteppich, verlaufen.

**[0035]** Durch die Detektion der Teilchen mit mehreren Detektoren kann die Messdynamik erhöht und/oder der aufzuwendende Rechenaufwand verringert werden.

**[0036]** Die mindestens eine Lichtquelle kann mehrere lichterzeugende Vorrichtungen umfassen oder aus mehreren lichterzeugenden Vorrichtungen gebildet sein.

**[0037]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter dem Messkanalquerschnitt ein Querschnitt durch den Messkanal verstanden werden, welcher sich zweidimensional erstreckt und insbesondere in einer Normalebene zur Strömungsrichtung des Fluidstroms und/oder in einer Normalebene auf die Detektorfläche angeordnet ist.

**[0038]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter der Breite des Messkanalquerschnitts die Abmessung der längeren Seite des Messkanalquerschnitts verstanden werden. Insbesondere wird zumindest die längere Seite, bevorzugt zwei gegenüberliegende längere Seiten, des Messkanals und/oder des Messkanalquerschnitts von dem von der Lichtquelle ausgesandten Licht durchstrahlt.

**[0039]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter der Dicke des Messkanalquerschnitts die Abmessung des Messkanalquerschnitts normal zu der Breite verstanden werden.

**[0040]** Die Messvorrichtung kann eine Auswertevorrichtung umfassen, welche dazu eingerichtet ist, insbesondere automatisiert, die vom Detektor aufgenommenen Messsignale auszuwerten und/oder weiterzuverarbeiten.

**[0041]** Die Auswertevorrichtung kann dazu eingerichtet sein, die vom Detektor detektierten Messwerte, wie die Geschwindigkeit, die Bewegungsrichtung und die Größe der Teilchen auszuwerten und/oder weiterzuverarbeiten. Diese Messwerte können zur Bewertung der Strömungseigenschaften im Messkanal ausgewertet werden. Ferner kann mit den Messwerten gegebenenfalls das Strömungsverhalten des Fluidstroms geprüft werden und Kennzahlen, wie etwa die Reynoldszahl, ermittelt werden.

**[0042]** Da die erfindungsgemäße Vorrichtung für die Zählung von Teilchen mit sehr unterschiedlicher Größe geeignet sein kann, kann sie für die Zählung verschiedenster Teilchen verwendet werden. Insbesondere kann es möglich sein, die Teilchen zu detektieren, insbesondere zu zählen, ohne die Teilchen vorab einer Vorbehandlung, beispielsweise einer Kondensationsvorrichtung, zuzuführen.

**[0043]** Mit anderen Worten kann die Messvorrichtung dazu eingerichtet sein, unveränderte und/oder unbehandelte Teilchen von beispielsweise einer Verbrennungskraftmaschine oder einer Brennstoffzelle zu detektieren. Gegebenenfalls ist eine Vorbehandlung der Teilchen in einer Kondensationseinheit und/oder eine Vereinzelungsdüse nicht erforderlich.

**[0044]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das Verhältnis von Breite zu Dicke des Messkanalquerschnitts im Bereich von 5 bis einschließlich 50, insbesondere im Bereich von 10 bis 20 liegt, und bevorzugt größer 10 ist. Mit anderen Worten ist die Breite zwischen fünf- und fünfzigmal so groß wie die Dicke des Messkanalquerschnitts.

**[0045]** Bevorzugt erstreckt sich die Detektorfläche flächig entlang der Breite und der Höhe des Messkanals. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die Erstreckungslänge der Detektorfläche, welche der Breite des Messkanals folgt, als Breite der Detektorfläche verstanden werden.

**[0046]** Die Dicke des Messkanals kann um ein Vielfaches kleiner sein als die Breite der Detektorfläche.

**[0047]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das Verhältnis von der Breite der Detektorfläche zu der Dicke des Messkanalquerschnitts im Bereich von 5 bis einschließlich 50, insbesondere im Bereich von 10 bis 20 liegt, und bevorzugt größer 10 ist. Mit anderen Worten ist die Breite der Detektorfläche zwischen fünf- und fünfzigmal so groß wie die Dicke des Messkanalquerschnitts.

**[0048]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Messkanal im Bereich des Detektors der Form der Detektorfläche folgend und insbesondere flächig oder ebenenförmig ausgebildet ist.

**[0049]** Insbesondere kann vorgesehen sein, dass der Messkanal an die Form der Detektorfläche angepasst ist.

**[0050]** Der Messkanal kann im Bereich der Lichtquelle der Form der Lichtquelle folgend und insbesondere flächig oder ebenenförmig ausgebildet sein. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass der Messkanal an die Form der Lichtquelle angepasst ist.

**[0051]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die von der Strahlung der Lichtquelle in Strahlungsrichtung durchsetzten Seiten des Messkanals in einem Winkel von  $-15^\circ$  bis  $+15^\circ$  verlaufen. In einer Variante können dementsprechend die Seiten des Messkanals in einem Winkel von  $0^\circ$  zueinander und damit parallel verlaufen.

**[0052]** Der Messkanal kann mehrere, insbesondere vier, Messkanalseitenwände umfassen. Diese Messkanalseitenwände können insbesondere einen Schacht und/oder ein Rohr bilden.

**[0053]** Insbesondere ist vorgesehen, dass mindestens zwei Messkanalseitenwände von der Lichtquelle durchstrahlt und/oder durchsetzt werden. Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die durchstrahlten und/oder durchsetzten Messkanalseitenwände parallel zueinander angeordnet sind.

**[0054]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Detektorfläche des mindestens einen Detektors im Wesentlichen der Breite des Messkanalquerschnitts, entspricht, und/oder dass die mindestens eine Lichtquelle im Wesentlichen vollständig die Detektorfläche, insbesondere die Breite des Messkanalquerschnitts bestrahlt.

**[0055]** Die Breite der Detektorfläche kann der Breite des Messkanals entsprechen. Dadurch kann die gesamte Breite des Messkanals erfasst werden und es kann möglich sein, im Wesentlichen alle durch den Messkanal strömenden Teilchen zu detektieren.

**[0056]** Gegebenenfalls kann vorgesehen sein, dass die Detektorfläche kleiner als die Breite des Messkanals ist. Hierbei kann die detektierte Teilchenanzahl mit Wahrscheinlichkeitsrechnung hochskaliert werden.

**[0057]** Die Breite des von der Lichtquelle ausgestrahlten Lichts kann der Breite der Detektorfläche entsprechen, wodurch die Detektorfläche im Wesentlichen vollständig bestrahlt und/oder ausgeleuchtet werden kann.

**[0058]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts mehrere Detektorflächen und/oder mehrere Lichtquellen vorgesehen und insbesondere aneinandergereiht sind.

**[0059]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass im Wesentlichen über die gesamte Breite des Messkanalquerschnitts Detektorflächen und/oder Lichtquellen vorgesehen sind.

**[0060]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts die Detektorflächen an einer Messkanalseite und die Lichtquellen an der gegenüberliegenden Messkanalseite angeordnet sind, und/oder dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts alle Detektorflächen an einer Messkanalseite und alle Lichtquellen an der gegenüberliegenden Messkanalseite angeordnet sind, und/oder dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts an zwei gegenüberliegenden Messkanalseiten jeweils sowohl mindestens eine Detektorfläche als auch mindestens eine Lichtquelle, insbesondere alternierend, angeordnet sind.

**[0061]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms mehrere Detektorflächen und/oder mehrere Lichtquellen vorgesehen und insbesondere aneinandergereiht sind.

**[0062]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass im Wesentlichen über die gesamte Höhe des Messkanals Detektorflächen und/oder Lichtquellen vorgesehen sind.

**[0063]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms die Detektorflächen an einer Messkanalseite und die Lichtquellen an der gegenüberliegenden Messkanalseite angeordnet sind, und/oder dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms alle Detektorflächen an einer Messkanalseite und alle Lichtquellen an der gegenüberliegenden Messkanalseite angeordnet sind, und/oder dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms an zwei gegenüberliegenden Messkanalseiten jeweils sowohl mindestens eine Detektorfläche als auch mindestens eine Lichtquelle, insbesondere alternierend, angeordnet sind.

**[0064]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass am Messkanal mindestens eine Lichtquelle und mindestens eine dieser Lichtquelle zugeordnete Detektorfläche gegenüberliegend angeordnet sind.

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass der Messkanal zwischen der Lichtquelle und der Detektorfläche verläuft.

**[0065]** Es kann vorgesehen sein, dass alle Detektorflächen an einer Seite des Messkanals und alle Lichtquellen an einer dieser Seite gegenüberliegenden Seite des Messkanals angeordnet sind.

**[0066]** Es kann vorgesehen sein, dass mindestens eine Lichtquelle und mindestens eine der mindestens einen Lichtquelle zugeordnete Detektorfläche mindestens eines Detektors eine Detektoranordnung bilden. Am Messkanal können mehrere Detektoranordnungen, insbesondere aneinandergereiht, vorgesehen sein.

**[0067]** Die mindestens eine Lichtquelle einer Detektoranordnung kann gegenüberliegend von der mindestens einen Lichtquelle einer weiteren Detektoranordnung angeordnet sein.

**[0068]** Die mindestens eine Detektorfläche einer Detektoranordnung kann gegenüberliegend von der mindestens einen Detektorfläche einer weiteren Detektoranordnung angeordnet sein.

**[0069]** Insbesondere können die Detektorflächen und die Lichtquellen von einer Detektoranordnung oder verschiedenen Detektoranordnungen alternierend angeordnet sein.

**[0070]** Es kann vorgesehen sein, dass mindestens eine Lichtquelle und mindestens eine Detektorfläche einer Detektoranordnung nebeneinander angeordnet sind.

**[0071]** Es kann vorgesehen sein, dass mindestens zwei Lichtquellen um mindestens eine Detektorfläche einer Detektoranordnung angeordnet sind.

**[0072]** Es kann vorgesehen sein, dass mindestens zwei Lichtquellen mindestens eine Detektorfläche einer Detektoranordnung umrahmen.

**[0073]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Querschnitt des Messkanals rechteckig, oder vieleckig oder kreisförmig oder elliptisch ausgebildet ist. Die vieleckige Ausführung kann dabei beispielsweise trapezförmig sein; insbesondere können dann die durch das Licht durchleuchteten Kanalseiten (also die Breite des Kanalquerschnitts) die Form optischer Elemente aufweisen, etwa die Krümmung von optischen Linsen bzw. Fensterungen (konkav oder konvex). Die dazu orthogonal stehenden Seiten wären dann parallel auszuführen.

**[0074]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Messkanalquerschnitt aus mehreren Teilquerschnitten zusammengesetzt ist, und dass gegebenenfalls zwischen den Teilquerschnitten in einer Richtung normal zur Strömungsrichtung ein Abstand vorgesehen ist.

**[0075]** Der Messkanalquerschnitt kann mehrere Teilquerschnitte umfassen oder kann aus mehreren Teilquerschnitten gebildet sein. Mit anderen Worten kann die Summe der Teilquerschnitte den Messkanalquerschnitt ergeben. Dadurch kann auch die Breite des Messkanalquerschnitts aus mehreren Teilquerschnitten gebildet sein.

**[0076]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Messkanal ringförmig ausgebildet ist, wobei der ringförmige Messkanal mehrere, insbesondere beabstandet voneinander angeordnete, Teilquerschnitte umfasst, oder wobei der ringförmige Messkanal aus mehreren, insbesondere aneinandergereihten, Teilquerschnitten gebildet ist.

**[0077]** Insbesondere sind die Teilquerschnitte in einer Richtung normal zur Strömungsrichtung des Fluidstroms aneinandergereiht.

**[0078]** Insbesondere können die Teilquerschnitte um mindestens eine Lichtquelle ringförmig angeordnet sein.

**[0079]** Die Lichtquelle kann vorzugsweise im Zentrum einer Vieleck-Ausführung platziert sein. Ferner kann die Lichtquelle das Licht in Richtung der Detektorflächen emittieren und die Detektorflächen entweder direkt oder durch geeignete optische Mittel bestrahlen.

**[0080]** Jeder Teilquerschnitt kann zwei parallel zueinander verlaufende und von der mindestens einen Lichtquelle durchstrahlte Messkanalseitenwände aufweisen. Ferner kann an jedem Teil-

querschnitt mindestens eine Detektorfläche angeordnet sein.

**[0081]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Kohärenzlänge der kohärenten Lichtquelle mindestens dem Abstand der jeweiligen Lichtquelle zu der jeweils zugeordneten Detektorfläche entspricht, und/oder dass die mindestens eine Lichtquelle eine stroboskopische Lichtquelle ist.

**[0082]** Insbesondere können an der Messvorrichtung mehrere Detektoranordnungen vorgesehen sein. Die verschiedenen Detektoranordnungen können unterschiedliche Lichtquellen oder gleichartige Lichtquellen umfassen. Jedoch kann auch vorgesehen sein, dass eine Detektoranordnung unterschiedliche Lichtquellen umfasst.

**[0083]** Der Einsatz von mindestens einer stroboskopischen Lichtquelle in der Messvorrichtung kann unter anderem den Vorteil haben, dass auch Teilchen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit mit einer hohen Abbildungsqualität erfasst werden können. Insbesondere ist es dadurch beispielsweise möglich, dass sogenannte „Blurring“ zu vermeiden und/oder zu reduzieren, da die Belichtungszeit verkürzt werden kann. Mit anderen Worten kann durch den Einsatz einer stroboskopischen Lichtquelle die maximale Bewegungs- bzw. Strömungsgeschwindigkeit des Fluidstroms, insbesondere der Teilchen des Fluidstroms, erhöht werden.

**[0084]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass zwischen der Lichtquelle und dem Detektor zumindest ein Optikelement zur Anpassung des zu erfassenden Detektionsvolumens an die flächig Detektorfläche angeordnet ist.

**[0085]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Detektor zur bildgebenden Detektion ausgebildet ist, und/oder dass der Detektor ein lichtempfindlicher elektronischer Bauteil, ein CCD-Sensor, ein „Active Pixel Sensor“, ein CMOS, ein Kamerachip oder ein Pixelarray ist.

**[0086]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter einem CCD-Sensor ein lichtempfindlicher elektronischer Bauteil verstanden werden. Unter CCD kann hierbei die Abkürzung des englischen „Charge-Coupled Device“ - deutsch ladungsgekoppeltes Bauteil -, welches im CCD-Sensor verwendet wird, verstanden werden.

**[0087]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter CMOS ein „Active Pixel Sensor“ (APS; deutsch: Aktiver Pixelsensor), also ein Halbleiterdetektor zur Lichtmessung verstanden werden.

**[0088]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Detektor zur zweidimensionalen Detektion der durch die Teilchen abgeänderten Strahlung der Lichtquelle ausgebildet ist.

**[0089]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Detektorfläche mindestens ein Sensorelement umfasst, oder dass die Detektorfläche aus mindestens einem Sensorelement besteht.

**[0090]** Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das mindestens eine Sensorelement kleiner ist als die Größe, insbesondere der auf das Sensorelement abgebildeten Fläche, der flüssigen und/oder festen Teilchen des Fluidstroms. Das ist insbesondere bei inkohärentem Licht von Vorteil.

**[0091]** Gegebenenfalls - vorzugsweise bei Verwendung einer Lichtquelle mit kohärentem Licht - , ist vorgesehen, dass der Abstand  $d_0$  zwischen der Detektorfläche - insbesondere der Detektorflächenebene - und der der Detektorfläche am nächsten liegenden Messkanalseite im Wesentlichen folgender Vorschrift entspricht:

$$d_0 \geq M \cdot 100 \frac{b_{\text{PxI}}^2}{\lambda},$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Lichtquelle und wobei  $b_{\text{PxI}}$  die Breite des mindestens einen Sensorelements ist und M das Vergrößerungsverhältnis der gegebenenfalls verwendeten abbildenden Optik. Wenn keine abbildende Optik vorgesehen ist gilt  $M=1$ . Die Messkanalseiten können dabei gegebenenfalls auch durch ein Optikelement gebildet sein.

**[0092]** Die Erfindung betrifft insbesondere einen Kondensationspartikelzähler, umfassend: eine Sättigungsanordnung zur Anreicherung und/oder Sättigung eines partikelbeladenen Messaerosolstroms mit einem Betriebsstoff, eine Kondensationsanordnung zur Bildung eines Aerosolstroms durch die Übersättigung des zuvor angereicherten und/oder gesättigten partikelbeladenen

Messaerosolstroms, eine Messvorrichtung, die zur Detektion der in der Kondensationsanordnung durch den kondensierten Betriebsstoff vergrößerten Partikel des Aerosolstroms eingerichtet ist, wobei die Messvorrichtung eine erfindungsgemäße Messvorrichtung ist.

**[0093]** Die Messvorrichtung kann, insbesondere direkt, an den Aerosolstromauslass einer Kondensationsanordnung, insbesondere einer Kondensationsanordnung eines Kondensationspartikelzählers, angeschlossen werden.

**[0094]** Der Querschnitt des Aerosolstromauslasses kann gegebenenfalls denselben Querschnitt aufweisen wie der Messkanal der Messvorrichtung.

**[0095]** Gegebenenfalls kann aber auch vorgesehen sein, die Messvorrichtung, insbesondere direkt, an einen Strang einer Brennstoffzelle zu koppeln. Mit anderen Worten können die von einer Brennstoffzelle erzeugten Teilchen, insbesondere direkt, der Messvorrichtung zugeführt werden. In einem solchen Fall können die Teilchen direkt von der Messvorrichtung detektiert werden, insbesondere ohne die Teilchen vor dem Eintritt einer Kondensationsanordnung zuführen zu müssen.

**[0096]** Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur Detektion von flüssigen und/oder festen Teilchen in einem Fluidstrom mit einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung, wobei der Fluidstrom den Messkanal durchströmt, wobei der Messkanal und somit der Fluidstrom zumindest teilweise von der Lichtquelle durchleuchtet wird, wobei das von der Lichtquelle entlang der Strahlungsrichtung ausgestrahlte Licht an der der Lichtquelle gegenüberliegenden Seite des Messkanals gegebenenfalls abgeschwächt von einem Detektor, insbesondere einer Detektorfläche, erfasst wird, und wobei der Fluidstrom im Bereich zwischen der Detektorfläche und der Lichtquelle durch einen Messkanalquerschnitt geleitet wird, dessen entlang der Strahlungsrichtung gemessene Dicke kleiner ist als die quer zur Strahlungsrichtung gemessene Breite. Der Messkanal kann gegebenenfalls an einer oder an gegenüberliegenden Seiten von im Lichtpfad der Lichtquelle positionierten Optikelementen begrenzt sein.

**[0097]** Weitere erfindungsgemäße Merkmale ergeben sich gegebenenfalls aus den Ansprüchen, der Beschreibung der Ausführungsbeispiele und den Figuren.

**[0098]** Die Erfindung wird nun am Beispiel exemplarischer, nicht ausschließlicher und/oder nicht einschränkender Ausführungsbeispiele weiter erläutert. Darin zeigen

**[0099]** Fig. 1a und Fig. 1b eine schematische grafische Darstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messvorrichtung;

**[00100]** Fig. 2 und Fig. 3 schematische grafische Darstellungen von erfindungsgemäßen Messvorrichtungen mit unterschiedlich ausgebildeten Detektoranordnungen;

**[00101]** Fig. 3a eine Schnittansicht verschiedener Varianten I, II und III entlang der Linie A-A in Fig. 3;

**[00102]** Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 und Fig. 8 schematische grafische Darstellungen von erfindungsgemäßen Messvorrichtungen mit unterschiedlich ausgebildeten und unterschiedlich angeordneten Detektoranordnungen; und

**[00103]** Fig. 9 ein Kondensationspartikelzähler mit einer derartigen Messvorrichtung.

**[00104]** Wenn nicht anders angegeben, so entsprechen die Bezugszeichen folgenden Komponenten: Teilchen 1, Messkanal 2, Strömungsrichtung des Fluidstroms 3, Lichtquelle 4, Licht 5, Detektor 6, Detektorfläche 7, Auswertevorrichtung 8, Dicke des Messkanalquerschnitts 9, Breite des Messkanalquerschnitts 10, Abstand 11a zwischen Lichtquelle 4 und lichtquellenseitiger Messkanalseitenwand 14a, Abstand 11b zwischen Detektor 6 und detektorseitiger Messkanalseitenwand 14b, Lichtquellenebene 12a, Detektorflächenebene 12b, Detektoranordnung 13, Messkanalseitenwände 14 bzw. lichtquellenseitige Messkanalseitenwand 14a und detektorsei-

tige Messkanalseitenwand 14b, Teilquerschnitt 15, SIU-Abstand 16, Optikelementen 17, Kondensationspartikelzähler 20, Sättigungsanordnung 21, Betriebsstoff 22, Kondensationsanordnung 23, Pumpe 24 und Messvorrichtung 100.

**[00105]** Die Figur 1a zeigt eine schematische grafische Darstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100 in einer ersten Darstellung. Die Figur 1b zeigt die erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100 gemäß der Figur 1a in einer zweiten Darstellung entlang der Normalebene der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3.

**[00106]** Die Messvorrichtung 100 umfasst einen Messkanal 2 mit einem rechteckigen Querschnitt. Ferner umfasst die Messvorrichtung 100 eine Detektoranordnung 13 mit einer Lichtquelle 4 und einen Detektor 6 mit einer flächig ausgebildeten Detektorfläche 7 und eine Auswertevorrichtung 8.

**[00107]** Gemäß dieser Ausführungsform ist am Messkanal 2 nur eine Detektoranordnung 13 vorgesehen. Der Detektorfläche 7 der Detektoranordnung 13 liegt eine Lichtquelle 4 gegenüber, so dass die Detektorfläche 7 durch die Lichtquelle 4 bestrahlbar ist. Die von der Strahlung bzw. von dem ausgesandten Licht 5 der Lichtquelle 4 in Strahlungsrichtung durchsetzten Seiten des Messkanals 2 verlaufen parallel zueinander.

**[00108]** Die Lichtquelle 4 ist dazu eingerichtet, ein Licht 5 zu erzeugen, welches gegebenenfalls abgeschwächt auf die Detektorfläche 7 trifft. Gemäß dieser Ausführungsform tritt das Licht 5 aus der Lichtquelle 4 aus, durchsetzt eine erste, lichtquellenseitige Messkanalseitenwand 14a, dann den Messkanal 2 und dann eine zweite, detektorseitige Messkanalseitenwand 14b und trifft anschließend auf die Detektorfläche 7.

**[00109]** Der mit Teilchen 1 beladene Fluidstrom tritt auf einer ersten Seite des Messkanals 2 in den Messkanal 2 ein, durchströmt den Messkanal 2 entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3 und tritt auf einer der ersten Seite gegenüberliegenden Seite des Messkanals 2 aus dem Messkanal 2 aus.

**[00110]** Das von der Lichtquelle 4 ausgesandte Licht 5 trifft auf der der Lichtquelle 4 gegenüberliegende Seite auf die Detektorfläche 7 auf. Die Detektorfläche 7 kann eine Vielzahl von Sensorelementen aufweisen, die jeweils einem Pixel entsprechen. Die von dem Detektor 6 aufgenommenen Signale werden zur Auswertung und insbesondere der Zählung der Teilchen 1 von einer Auswertevorrichtung 8 ausgewertet.

**[00111]** Der Messkanal 2 weist einen Messkanalquerschnitt auf, wobei die Dicke des Messkanalquerschnitts 9 kleiner ist als die Breite des Messkanalquerschnitts 10. Gemäß dieser Ausführungsform ist das Verhältnis der Dicke zur Breite größer gleich zehn. Der Messkanalquerschnitt liegt in einer Normalebene zu der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3.

**[00112]** Der Messkanal 2 ist im Bereich des Detektors 6 der Form der Detektorfläche 7 folgend und flächig bzw. ebenenförmig ausgebildet. Gemäß dieser Ausführungsform entspricht die Detektorfläche 7 im Wesentlichen der Breite des Messkanalquerschnitts 10. Ferner leuchtet die Lichtquelle 4 die Detektorfläche 7, insbesondere die Breite des Messkanalquerschnitts 10, im Wesentlichen vollständig aus.

**[00113]** Die Lichtquelle 4 der Detektoranordnung 13 ist als kohärente Lichtquelle 4 ausgebildet. Diese kohärente Lichtquelle 4 weist eine Kohärenzlänge von mindestens dem Abstand der jeweiligen Lichtquelle 4 zum jeweiligen zugeordneten Detektor 6, insbesondere der jeweils zugeordneten Detektorfläche 7, auf. Insbesondere beträgt die minimale Kohärenzlänge Abstand 11a zwischen Lichtquelle 4 und lichtquellenseitiger Messkanalseitenwand 14a + Dicke des Messkanalquerschnitts 9 + Abstand 11b zwischen Detektor 6 und detektorseitiger Messkanalseitenwand 14b. Dies entspricht dem Abstand zwischen der Lichtquellenebene 12a und der Detektorflächenebene 12b, also der vom Licht zurückgelegte Lichtpfad zwischen der Lichtquelle 4 und dem Detektor 6. Bei Verwendung von Optikelementen 17 - siehe z.B. das strichliert eingezeichnete Element in Fig. 1a, wobei auch zusätzliche Optikelemente 17 vorgesehen sein können, z.B. nicht nur auf Seiten der Lichtquelle 4, sondern auch auf Seiten des Detektors 6 - das zwischen Licht-

quelle 4 und Detektor 6 ändert sich die Kohärenzlänge nicht.

**[00114]** Der Detektor 6 der Detektoranordnung 13 ist zur bildgebenden Detektion, insbesondere zur zweidimensionalen Detektion, der durch die Teilchen 1 veränderten Strahlung der Lichtquelle 4 ausgebildet. In dieser Ausführungsform ist der Detektor 6 ein lichtempfindlicher elektronischer Bauteil, z.B. ein CCD-Sensor oder CMOS-Sensor.

**[00115]** Die Detektorfläche 7 umfasst eine Vielzahl von Sensorelementen. Gemäß dieser Ausführungsform ist jedes Sensorelement kleiner als die Größe, insbesondere der Durchmesser, der flüssigen und/oder festen Teilchen 1 des Fluidstroms.

**[00116]** Gemäß dieser Ausführungsform entspricht der Abstand 11b zwischen der Detektorfläche 7, insbesondere der Detektorflächenebene 12b, und der der Detektorfläche 7 am nächsten liegenden Messkanalseite 14b im Wesentlichen folgender Vorschrift:

$$d_0 \geq M \cdot 100 \frac{b_{pxl}^2}{\lambda},$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Lichtquelle 4 und wobei  $b_{pxl}$  die Breite des mindestens einen Sensorelements ist und M das Vergrößerungsverhältnis der gegebenenfalls verwendeten abbildenden Optik. Dies ist der Fall bei Verwendung von kohärentem Licht; wenn keine Optikelemente 17 verwendet werden, lautet  $M=1$ .

**[00117]** Die Figur 2 zeigt eine schematische grafische Darstellung von einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100 mit einer Detektoranordnung 13, welche eine Lichtquelle 4 und einen Detektor 6 mit einer flächig ausgebildeten Detektorfläche 7 umfasst.

**[00118]** Eine derartige Detektoranordnung 13 wird im Rahmen der Erfindung als „Single Imaging Unit“ bezeichnet. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 2 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a und/oder 1b entsprechen.

**[00119]** In dieser Ausführungsform liegt die Lichtquelle 4 der Detektorfläche 7 gegenüber. Zwischen der Lichtquelle 4 und der Detektorfläche 7 ist der Messkanal 2 angeordnet.

**[00120]** Die Figur 3 zeigt eine schematische grafische Darstellung von einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100 mit einer Detektoranordnung 13, welche mehrere Lichtquellen 4a, 4b und mehrere Detektoren 6a, 6b mit mehreren flächig ausgebildeten Detektorflächen 7a, 7b umfasst.

**[00121]** Eine derartige Detektoranordnung 13 wird im Rahmen der Erfindung als „Dual Imaging Unit“ bezeichnet. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 3 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a, 1b und/oder 2 entsprechen.

**[00122]** Gemäß dieser Ausführungsform umfasst eine Detektoranordnung 13 mindestens zwei Lichtquellen 4 und mindestens zwei Detektorflächen 7. Hierbei ist jeweils eine Lichtquelle 4a und eine Detektorfläche 7b an einer Seite des Messkanals 2 und jeweils eine weitere Lichtquelle 4b und eine weitere Detektorfläche 7a auf einer dieser Seite gegenüberliegenden Seite des Messkanals 2 angeordnet.

**[00123]** Durch eine derartige Anordnung liegen sich jeweils eine Lichtquelle 4a, 4b und eine Detektorfläche 7b, 7a gegenüber, wodurch eine doppelseitige Ausleuchtung bzw. Detektion ermöglicht wird.

**[00124]** Fig. 3a zeigt verschiedene Ausführungsformen in einer Schnittansicht entlang der Linie A-A in Fig. 3: Gemäß der Ausführungsform I sind an einer Seite des Messkanals 2 jeweils ein Detektor 6 mit einer Detektorfläche 7 und eine Lichtquelle 4 nebeneinander angeordnet.

**[00125]** Gemäß der Ausführungsform II ist an einer Seite des Messkanals 2 eine Detektorfläche 7 von zwei nebenehenden, insbesondere hinsichtlich ihrer Strahlungsrichtung parallel, angeordneten Lichtquellen 4 umgeben. An der dieser Seite gegenüberliegenden Seite des Messkanals 2 ist korrespondierend dazu eine Lichtquelle 4 von zwei nebenehenden, insbesondere parallel, angeordneten Detektorfläche 7 umgeben - in Fig. 3a nicht dargestellt.

**[00126]** Gemäß der Ausführungsform III ist an einer Seite des Messkanals 2 eine Detektorfläche

7 von einer oder mehreren Lichtquelle/n 4 umrahmt. An der dieser Seite gegenüberliegenden Seite des Messkanals 2 - nicht dargestellt - ist korrespondierend dazu eine Lichtquelle 4 von einer oder mehreren Detektorfläche/n 7 umrahmt. Alternativ kann auch gegenüberliegend spiegelsymmetrisch dazu eine Detektorfläche 7 von einer oder mehreren Lichtquelle/n 4 umgeben.

**[00127]** Dadurch, dass Volumen auf zwei oder mehrere Detektoren 6 aufgeteilt werden kann, kann unter anderem die Messdynamik erhöht und/oder der Auswerteaufwand verringert werden.

**[00128]** Die Figur 4 zeigt eine schematische grafische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100, wobei mehrere „Single Imaging Units“ (SIU) entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10 aneinandergereiht vorgesehen sind. Die SIU sind dabei in einem SIU-Abstand 16 voneinander angeordnet. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 4 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a, 1b, 2 und/oder 3 entsprechen.

**[00129]** Gemäß dieser Ausführungsform ist der Messkanalquerschnitt aus mehreren Teilquerschnitten 15 zusammengesetzt. Mit anderen Worten wird die Breite des Messkanalquerschnitts 10 aus den Breiten der Teilquerschnitte 15 gebildet. Insbesondere entspricht die Breite des Messkanals 10 dabei einem Vielfachen der Breite der einzelnen Teilquerschnitte 15.

**[00130]** Die Figur 5 zeigt eine schematische grafische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100, wobei mehrere „Dual Imaging Units“ entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10 aneinandergereiht vorgesehen sind. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 5 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a, 1b, 2, 3 und/oder 4 entsprechen.

**[00131]** Die Figur 6 zeigt eine schematische grafische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100, wobei ringförmig mehrere „Single Imaging Units“ entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10 um eine Lichtquelle 4 beabstandet zueinander angeordnet sind. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 6 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a, 1b, 2, 3 und/oder 4 entsprechen.

**[00132]** Die Figur 7 zeigt eine schematische grafische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100, wobei mehrere „Single Imaging Units“ entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3 aneinandergereiht vorgesehen sind. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 7 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a, 1b, 2, 3, 4, 5 und/oder 6 entsprechen.

**[00133]** Die Figur 8 zeigt eine schematische grafische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100, wobei mehrere „Dual Imaging Units“ entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3 aneinandergereiht vorgesehen sind. Die Merkmale der Ausführungsform gemäß Fig. 8 können bevorzugt den Merkmalen der Ausführungsformen gemäß den Figuren 1a, 1b, 2, 3, 4, 5, 6 und/oder 7 entsprechen.

**[00134]** Mit anderen Worten können die Detektoranordnungen 13 entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10 und/oder der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3, insbesondere der Höhe des Messkanals 2, aneinandergereiht werden.

**[00135]** Falls mehrere Detektoranordnungen 13 entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10 angeordnet werden, kann das Messvolumen erweitert werden. Beispielsweise kann durch die Verdopplung des Messvolumens die Zählrate verdoppelt werden.

**[00136]** Falls mehrere Detektoranordnungen 13 entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3, insbesondere entlang der Höhe des Messkanals 2, angeordnet werden, kann die Dynamik der Messvorrichtung 100 erhöht werden. Die Lichtquellen 4 und/oder die Detektorflächen 7 der, insbesondere entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10, aneinandergereihten Detektoranordnungen 13 können grundsätzlich in die gleiche Richtung oder in alternierender Richtung zueinander ausgerichtet sein.

**[00137]** Eine alternierende Ausrichtung der Detektoranordnungen 13 kann weitere Vorteile bieten. Gegebenenfalls kann durch das sogenannte synchrone Sampling die Zählrate hochskaliert

werden, da gleichzeitig im Wesentlichen das gesamte Messvolumen erfasst werden kann.

**[00138]** Gegebenenfalls kann durch das sogenannte asynchrone Sampling die Dynamik der Zählung erhöht werden, da während eine Detektoranordnung 13 die Teilchenkonzentration berechnet, eine weitere Detektoranordnung 13 bereits ein neues Messvolumen erfassen kann. Zusätzlich kann hierbei gegebenenfalls auch die Zählrate erhöht werden, da das Messvolumen vergrößert werden kann.

**[00139]** Gemäß einer anderen Ausführungsform sind sowohl „Single Imaging Units“ als auch „Dual Imaging Units“ entlang der Breite des Messkanalquerschnitts 10 und/oder entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms 3 aneinandergereiht vorgesehen.

**[00140]** Die beschriebenen Konfigurationen können in allen Ausführungsformen vorgesehen sein. Durch diese beispielhafte Konfiguration können die erfindungsgemäßen Effekte erzielt werden.

**[00141]** Figur 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem ein Kondensationspartikelzähler 20 mit einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 100 versehen ist. Die Messvorrichtung 100 ist dabei anschließend an eine Sättigungsanordnung 21 und eine Kondensationsanordnung 23 vorgesehen und dient zur Messung von durch das Kondensieren eines Betriebsstoffs 22 vergrößerten Partikel eines Aerosol- und/oder Fluidstroms.

**[00142]** Dabei erfolgt in der Sättigungsanordnung 21 das Anreichern und/oder Sättigen eines partikelbeladenen Messaerosolstroms und/oder Messfluidstroms mit einem Betriebsstoff 22. In der Kondensationsanordnung 23 erfolgt durch Abkühlung ein Übersättigen dieses Messaerosolstroms und/oder Messfluidstroms, so dass durch Kondensieren des Betriebsstoffs 22 an den Partikeln diese vergrößert werden.

**[00143]** Eine stromaufwärts der Messvorrichtung 100 positionierte Pumpe 24 bewegt den Aerosol- und/oder Fluidstrom durch den Kondensationspartikelzähler 20.

**[00144]** Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die dargestellten Ausführungsformen, sondern umfasst jegliche Messvorrichtungen, jeglichen Kondensationspartikelzähler und jegliche Verfahren gemäß den nachfolgenden Patentansprüchen.

## Patentansprüche

1. Messvorrichtung (100) zur Detektion von flüssigen und/oder festen Teilchen (1) eines Fluidstroms, umfassend:
  - einen im Messbetrieb von dem Fluidstrom durchströmten Messkanal (2), wobei der Messkanal (2) einen in der Normalebene der Strömungsrichtung des Fluidstroms (3) liegenden Messkanalquerschnitt aufweist,
  - mindestens einen fotosensitiven Detektor (6) mit einer flächig ausgebildeten Detektorfläche (7),
  - mindestens eine Lichtquelle (4), deren Strahlung im Messbetrieb den Messkanal (2) sowie den Fluidstrom entlang ihrer Strahlungsrichtung durchsetzt und, gegebenenfalls abgeschwächt, auf die Detektorfläche (7) mindestens eines ihr zugeordneten Detektors (6) trifft und diese Detektorfläche (7) zumindest teilweise, bevorzugt vollständig bestrahlt,wobei die entlang der Strahlungsrichtung gemessene Dicke des Messkanalquerschnitts (9) kleiner ist als die quer zur Strahlungsrichtung gemessene Breite des Messkanalquerschnitts (10),  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Lichtquelle (4) eine kohärente Lichtquelle (4) ist, wobei die kohärente Lichtquelle (4) eine Kohärenzlänge von mindestens dem Abstand der jeweiligen Lichtquelle (4) zum jeweiligen zugeordneten Detektor (6) aufweist.
2. Messvorrichtung (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis von Breite (10) zu Dicke (9) des Messkanalquerschnitts im Bereich von 5 bis einschließlich 50, insbesondere im Bereich von 10 bis 20 liegt, und bevorzugt größer 10 ist.
3. Messvorrichtung (100) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Messkanal (2) im Bereich des Detektors (6) der Form der Detektorfläche (7) folgend und insbesondere flächig oder ebenenförmig ausgebildet ist.
4. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von der Strahlung der Lichtquelle (4) in Strahlungsrichtung durchgesetzten Seiten (14a, 14b) des Messkanals (2) in einem Winkel von  $-15^\circ$  bis  $+15^\circ$  zueinander verlaufen.
5. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass die Detektorfläche (7) des mindestens einen Detektors (6) im Wesentlichen der Breite des Messkanalquerschnitts (10) entspricht,
  - und/oder dass die mindestens eine Lichtquelle (4) im Wesentlichen vollständig die Detektorfläche (7), insbesondere die Breite des Messkanalquerschnitts (10), bestrahlt.
6. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts (10) mehrere Detektorflächen (7) und/oder mehrere Lichtquellen (4) vorgesehen und insbesondere aneinandergereiht sind.
7. Messvorrichtung (100) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts (10) die Detektorflächen (7) an einer Messkanalseite (14b) und die Lichtquellen (4) an der gegenüberliegenden Messkanalseite (14a) angeordnet sind,
  - und/oder dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts (10) alle Detektorflächen (7) an einer Messkanalseite (14b) und alle Lichtquellen (4) an der gegenüberliegenden Messkanalseite (14a) angeordnet sind,
  - und/oder dass entlang der Breite des Messkanalquerschnitts (10) an zwei gegenüberliegenden Messkanalseiten (14a, b) jeweils sowohl mindestens eine Detektorfläche (7) als auch mindestens eine Lichtquelle (4), insbesondere alternierend, angeordnet sind.
8. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms (3) mehrere Detektorflächen (7) und/oder mehrere Lichtquellen (4) vorgesehen und insbesondere aneinandergereiht sind.

9. Messvorrichtung (100) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms (3) die Detektorflächen (7) an einer Messkanalseite (14b) und die Lichtquellen (4) an der gegenüberliegenden Messkanalseite (14a) angeordnet sind,
  - und/oder dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms (3) alle Detektorflächen (7) an einer Messkanalseite (14b) und alle Lichtquellen (4) an der gegenüberliegenden Messkanalseite (14a) angeordnet sind,
  - und/oder dass entlang der Strömungsrichtung des Fluidstroms (3) an zwei gegenüberliegenden Messkanalseiten (14a, b) jeweils sowohl mindestens eine Detektorfläche (7) als auch mindestens eine Lichtquelle (4), insbesondere alternierend, angeordnet sind.
10. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass der Messkanalquerschnitt aus mehreren Teilquerschnitten (15) zusammengesetzt ist,
  - und dass gegebenenfalls zwischen den Teilquerschnitten (15) in einer Richtung normal zur Strömungsrichtung ein Abstand (16) vorgesehen ist.
11. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass der Messkanal (2) ringförmig ausgebildet ist,
  - und wobei der ringförmige Messkanal (2) mehrere, insbesondere beabstandet voneinander angeordnete, Teilquerschnitte (15) umfasst,
  - oder wobei der der ringförmige Messkanal (2) aus mehreren, insbesondere aneinander gereihten, Teilquerschnitten (15) gebildet ist.
12. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass die Kohärenzlänge mindestens dem Abstand der jeweiligen Lichtquelle (4) zu der jeweils zugeordneten Detektorfläche (7) entspricht,
  - und/oder dass die mindestens eine Lichtquelle (4) eine stroboskopische Lichtquelle (4) ist.
13. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,

dass zwischen der Lichtquelle (4) und dem Detektor (6) zumindest ein Optikelement (17) zur Anpassung des zu erfassenden Detektionsvolumens an die flächig ausgebildete Detektorfläche (7) angeordnet ist.
14. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass der Detektor (6) zur bildgebenden Detektion ausgebildet ist,
  - und/oder dass der Detektor (6) ein lichtempfindlicher elektronischer Bauteil, ein CCD-Sensor, ein Active Pixel Sensor, ein CMOS, ein Kamerachip oder ein Pixelarray ist.
15. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Detektor (6) zur zweidimensionalen Detektion der durch die Teilchen (1) abgeänderten Strahlung der Lichtquelle (4) ausgebildet ist.
16. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass die Detektorfläche (7) mindestens ein Sensorelement umfasst,
  - oder dass die Detektorfläche (7) aus mindestens einem Sensorelement besteht.
17. Messvorrichtung (100) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Sensorelement kleiner ist als die Größe, insbesondere der auf das Sensorelement des Detektors (6) abgebildeten Fläche, der flüssigen und/oder festen Teilchen (1) des Fluidstroms.

18. Messvorrichtung (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstand  $d_0$  (11b) zwischen der Detektorfläche (7) und der der Detektorfläche (7) am nächsten liegenden Messkanalseite (14b) im Wesentlichen folgender Vorschrift entspricht:

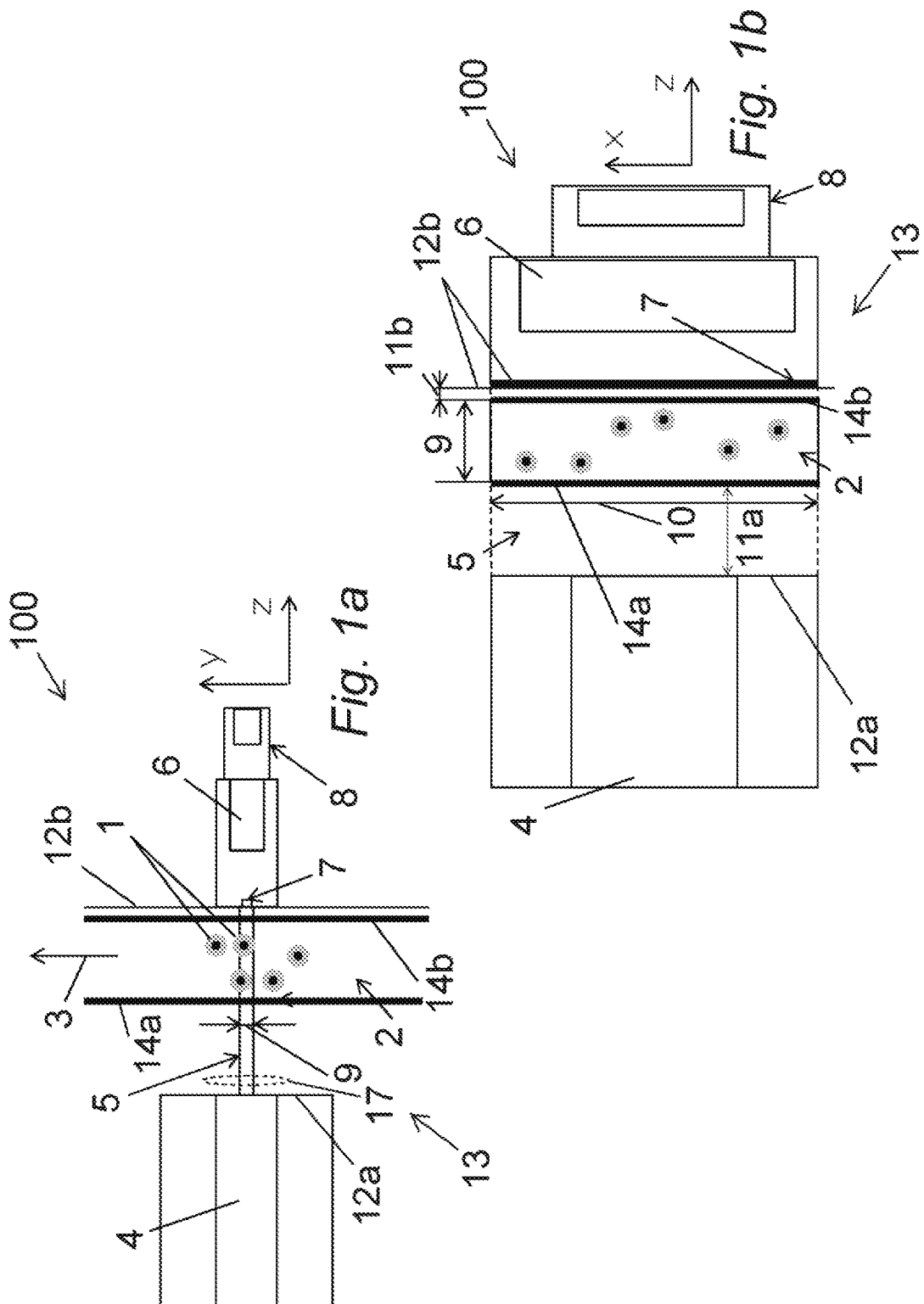
$$d_0 \geq M \cdot 100 \frac{b_{pxl}^2}{\lambda},$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Lichtquelle (4),  $b_{pxl}$  die Breite des mindestens einen Sensorelements und M das Vergrößerungsverhältnis einer gegebenenfalls verwendeten abbildenden Optik ist.

19. Kondensationspartikelzähler (20) umfassend:
- eine Sättigungsanordnung (21) zur Anreicherung und/oder Sättigung eines partikelbeladenen Messaerosolstroms und/oder Messfluidstroms mit einem Betriebsstoff (22),
  - eine Kondensationsanordnung (23) zur Bildung eines Aerosolstroms und/oder Fluidstroms durch die Übersättigung des zuvor angereicherten und/oder gesättigten partikelbeladenen Messaerosolstroms,
  - eine Messvorrichtung (100), die zur Detektion der in der Kondensationsanordnung (23) durch den kondensierten Betriebsstoff (22) vergrößerten Partikel des Aerosolstroms und/oder Fluidstroms eingerichtet ist,
- dadurch gekennzeichnet**,
- dass die Messvorrichtung (100) eine Messvorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 18 ist.
20. Verfahren zur Detektion von flüssigen und/oder festen Teilchen (1) in einem Fluidstrom mit einer Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18,
- wobei der Fluidstrom den Messkanal (2) durchströmt,
  - wobei der Messkanal (2) und somit der Fluidstrom zumindest teilweise von der Lichtquelle (4) durchleuchtet wird,
  - wobei das von der Lichtquelle (4) entlang der Strahlungsrichtung ausgestrahlte Licht (5) an der der Lichtquelle (4) gegenüberliegenden Seite des Messkanals (2) gegebenenfalls abgeschwächt von einem Detektor (6), insbesondere einer Detektorfläche (7), erfasst wird,
  - und wobei der Fluidstrom im Bereich zwischen der Detektorfläche (7) und der Lichtquelle (4) durch einen Messkanalquerschnitt geleitet wird, dessen entlang der Strahlungsrichtung gemessene Dicke kleiner ist als die quer zur Strahlungsrichtung gemessene Breite.

**Hierzu 6 Blatt Zeichnungen**

1/6



2/6

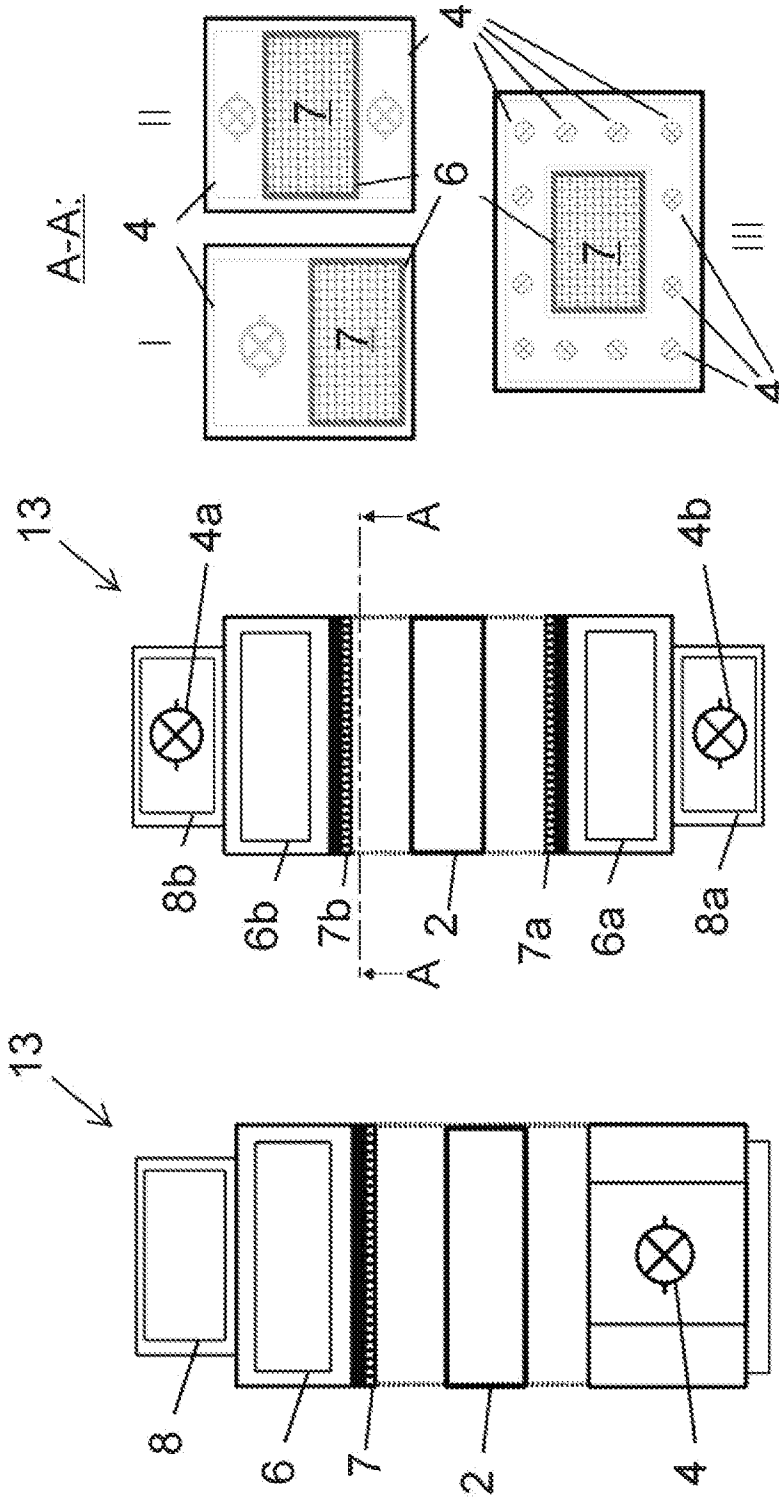
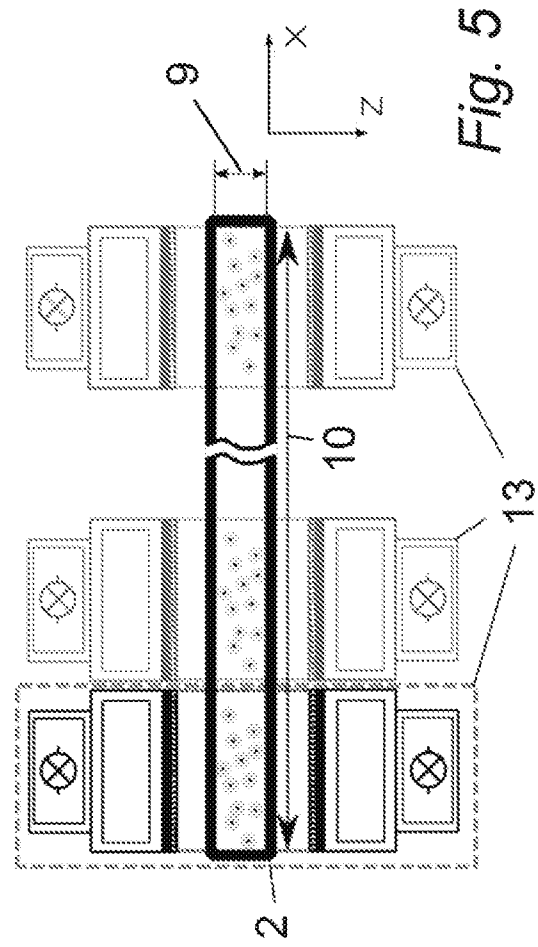
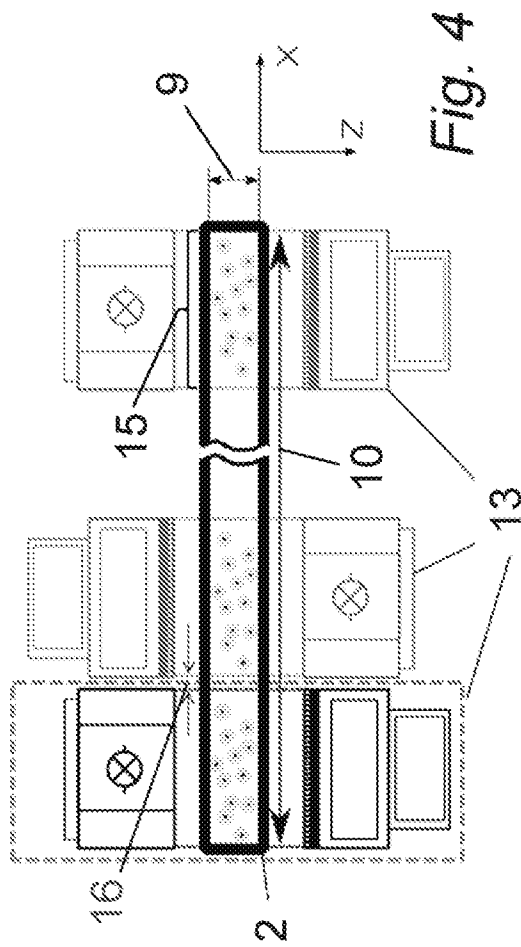


Fig. 3a

Fig. 3

Fig. 2

3/6



4/6

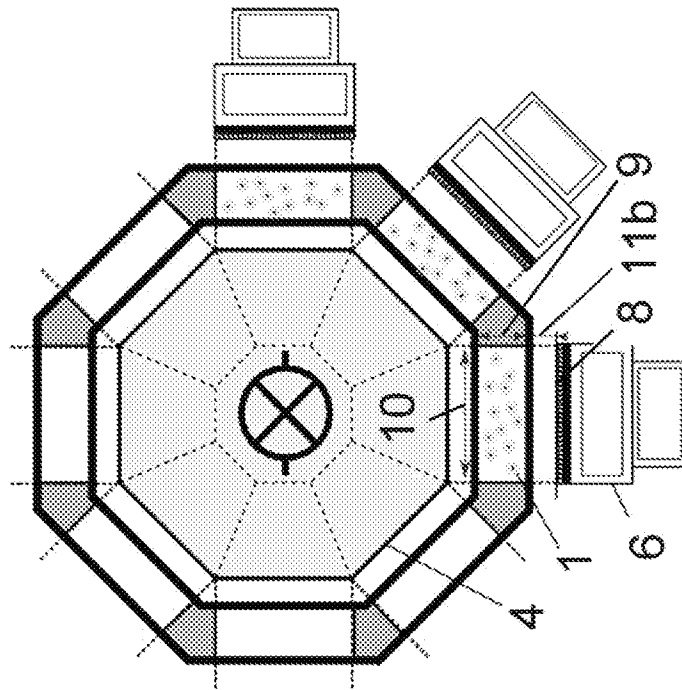
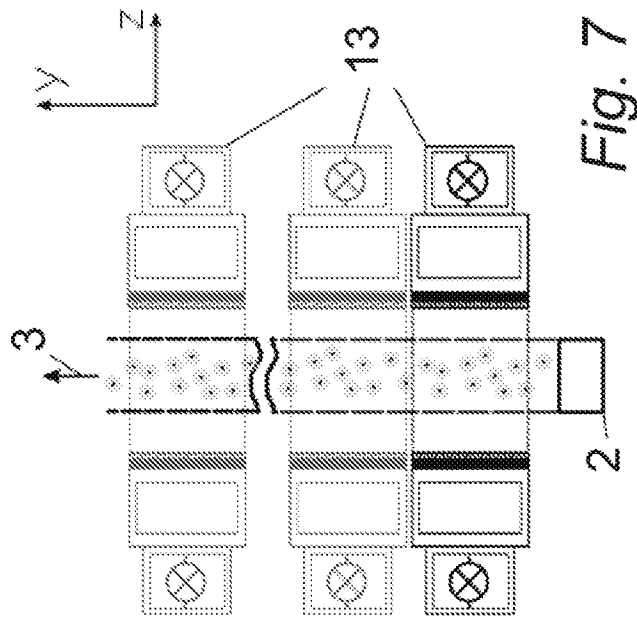
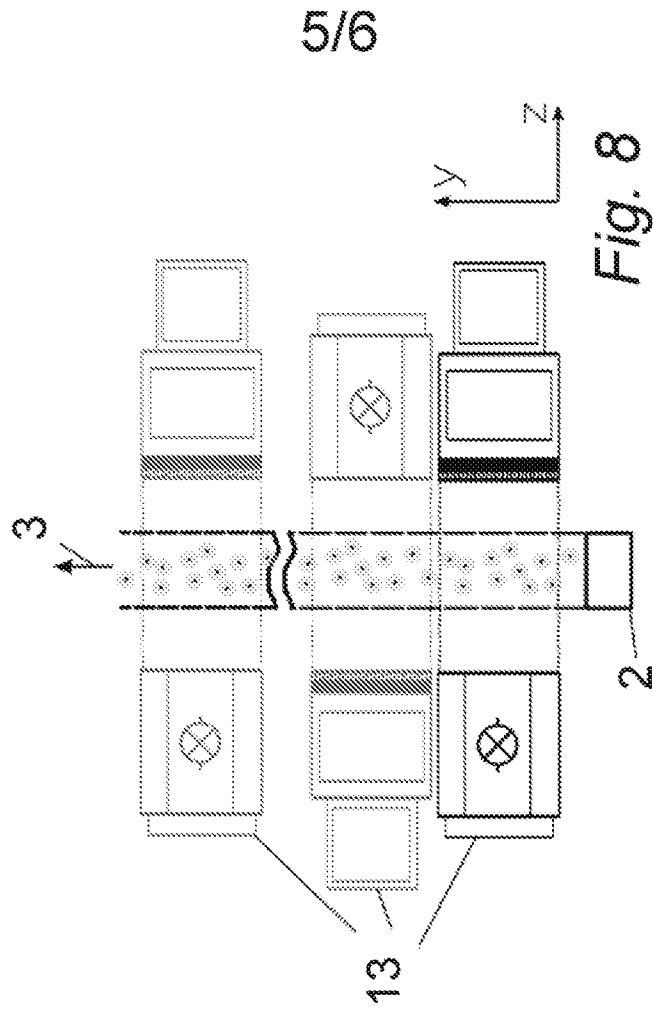


Fig. 6



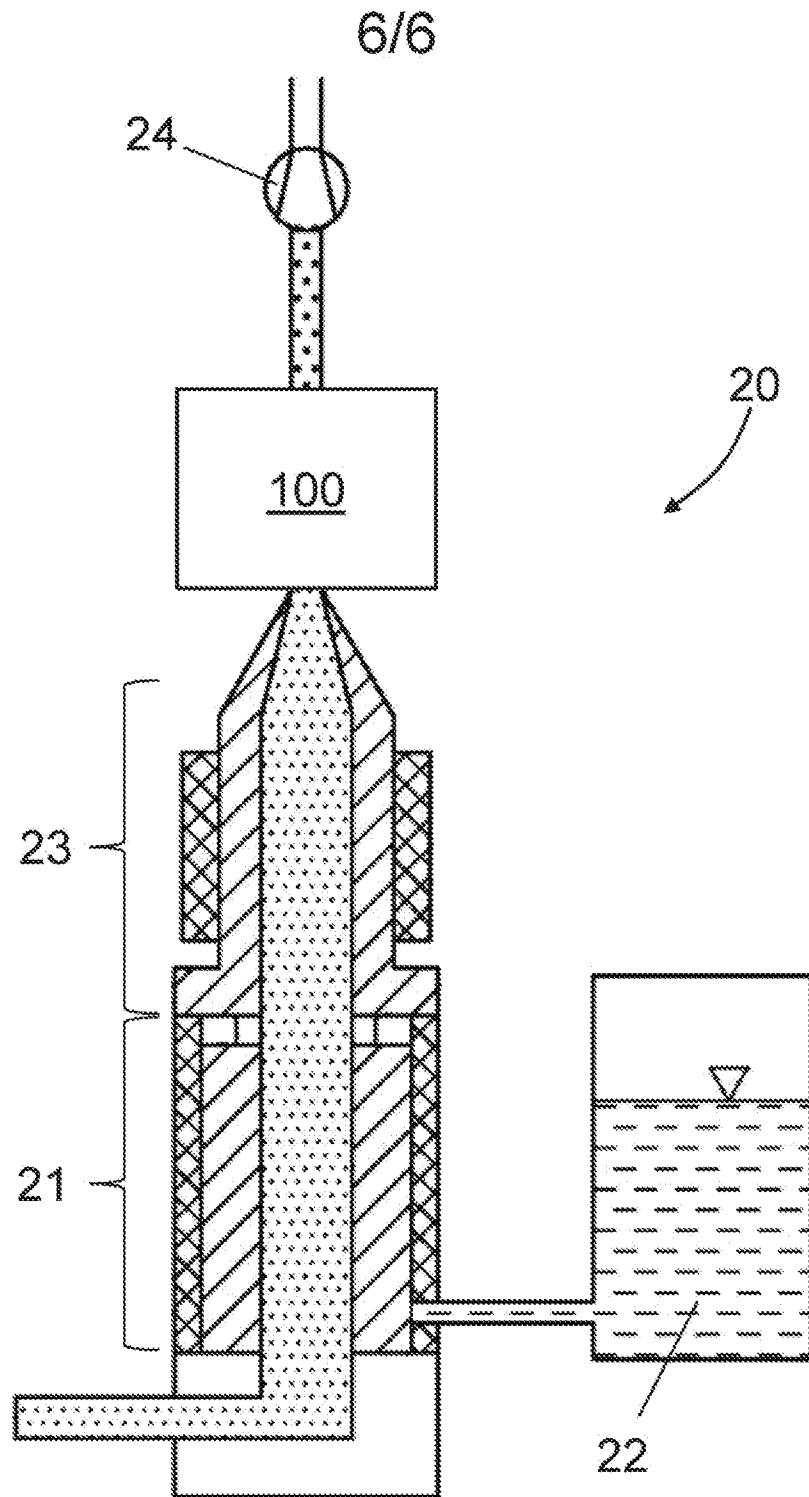


Fig. 9