



(10) **DE 10 2014 211 514 B4** 2017.10.12

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 211 514.0**  
 (22) Anmeldetag: **16.06.2014**  
 (43) Offenlegungstag: **17.12.2015**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **12.10.2017**

(51) Int Cl.: **G01N 15/14 (2006.01)**  
**B01D 1/18 (2006.01)**  
**G01F 1/708 (2006.01)**  
**B05B 12/00 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Schäfer, Walter, Dr., 69469 Weinheim, DE**

(74) Vertreter:  
**Tergau & Walkenhorst Patentanwälte PartGmbB,  
 60322 Frankfurt, DE**

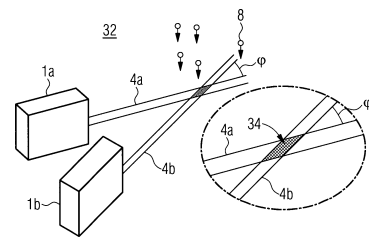
(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

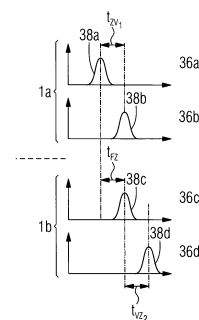
DE	198 20 849	C2
DE	10 2006 021 487	B3
DE	10 2012 214 402	A1
WO	2013/ 024 166	A1
WO	2013/ 024 167	A1
WO	2013/ 139 691	A2

1) DAMASCHKE, N. [et al.]: Optical Particle Sizing in Backscatter. In: Applied Optics 41, 2002, S. 5713 – 5727.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung des Durchsatzes, des Volumenstromes und des Massenstromes von Teilchen**



(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung von Parametern wie Größe und/oder Geschwindigkeit von Teilchen (8), die sich in einer Teilchenflussrichtung bewegen, mittels einer Mehrzahl von Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (1a, 1b) mit jeweils einer Lichtquelle (2) zur Erzeugung eines Lichtstrahls (4a, 4b), wobei die Lichtstrahlen (4a, 4b) der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (1a, 1b) windschiefe Geraden bilden, und wobei die jeweiligen Parameter für diejenigen  
 a. Teilchen (8) bestimmt werden, die sowohl in einer ersten und auch mindestens in einer weiteren, zweiten Zeitverschiebungsmesseinrichtung (1a, 1b) detektiert werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung des Durchsatzes von Teilchen durch eine Fläche oder des Volumenstromes und eine Messvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Des Weiteren bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Betreiben einer Lackieranlage und Sprühtrocknungsanlage.

**[0002]** Die Bestimmung verschiedener charakteristischer Eigenschaften einzelner Teilchen, deren Größe im Bereich Millimeter und kleiner liegt, ist sowohl für die Forschung als auch für die industrielle und kommerzielle Nutzung von Produkten oder Verfahren von großer Bedeutung. Oftmals betreffen die jeweils interessierenden Eigenschaften die Größe, die Formgebung, die Geschwindigkeit und den Brechungsindex einzelner Teilchen. Die gleichzeitige Bestimmung sowohl der Größe als auch der Geschwindigkeit einzelner Teilchen ist von besonderem Interesse, da mit diesen Informationen eine Flussdichte wie beispielsweise ein Massenfluss oder ein Volumenfluss ermittelt werden können. Darüber hinaus können einzelne Teilchen in einer großen Anzahl von Teilchen identifiziert und individuell charakterisiert werden, wie beispielsweise einzelne Tröpfchen in einem Aerosol oder Spray.

**[0003]** Die Bestimmung von charakteristischen Eigenschaften einzelner Tröpfchen wird beispielsweise für die Optimierung von Einspritzvorgängen eines Brennstoffs in eine Brennkammer oder für die Charakterisierung eines Sprühstrahls einer Farbe oder eines Lackes während eines Aufsprühvorgangs benötigt. Die Teilchen, deren Eigenschaften bestimmt werden sollen, sind dabei nicht ausschließlich Flüssigkeitströpfchen in einem Gas wie beispielsweise Luft, sondern je nach Anwendung Feststoffpartikel, Gasbläschen in einer Flüssigkeit oder auch eine Tröpfchenemulsion einer ersten Flüssigkeit, die in einer zweiten Flüssigkeit verteilt ist.

**[0004]** Aus der Praxis sind verschiedene Messverfahren bekannt. In vielen Fällen sind optische Messverfahren vorteilhaft, da sie die einzelnen Teilchen nicht oder nicht nennenswert beeinflussen, deren Eigenschaften bestimmt werden sollen.

**[0005]** Die aus der Praxis sowie aus der Forschung bekannten optischen Messverfahren beinhalten beispielsweise zeitlich hochauflösende Abbildungstechniken, Intensitätsmessungen, Interferometrie oder die Auswertung von reflektierten und gebrochenen, bzw. refraktierten Lichtstrahlen, die von einem zu messenden Teilchen gestreut werden.

**[0006]** Ein Verfahren der eingangs genannten Gattung ist beispielsweise das Zeitverschiebungsverfahren, welches für transparente und nahezu transpa-

rente Teilchen eine Größenbestimmung ermöglicht. Dies wird beispielsweise in N. Damaschke, H. Nobach, N. Semidetnov, C. Tropea (2002) Optical Particle Sizing in Backscatter, Applied Optics 41, 5713–5727 oder A. Kretschmer, N. Damaschke, N. Semidetnov, C. Tropea (2006) Application of the Time-Shift Technique for Spray Measurement, 13th Int. Symp. on Appl. Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, June 26–29, 2006, beschrieben. Aus diesen Druckschriften sind auch für die Durchführung eines derartigen Verfahrens geeignete Zeitverschiebungsmesseinrichtungen bekannt.

**[0007]** Bei dem Zeitverschiebungsverfahren wird eine Zeitverschiebungseinrichtung verwendet, die eine Lichtquelle zur Aussendung eines üblicherweise fokussierten Lichtstrahles, den die zu messende Teilchen durchqueren, umfasst und eine Anzahl von Strahlungsdetektoren, üblicherweise zwei Strahlungsdetektoren, die unter vorgegebenen Streuwinkeln jeweils einen zeitaufgelösten Intensitätsverlauf von an den Teilchen gestreutem Licht der Lichtquelle messen. Ein Teilchen das den Lichtstrahl durchquert, sendet dabei verschiedene Streuanteile aus bzw. reflektiert diese, die von den Strahlungsdetektoren empfangen werden und über die zeitaufgelöste Intensitätsverteilung dargestellt werden. Bei diesen unterschiedlichen Streuanteilen handelt es sich unter anderem um Reflektionen, Oberflächenwellen und Brechungen verschiedenster Ordnung und deren Moden, die zeitversetzt die Strahlungsdetektoren erreichen. Dabei ist die Zeit zwischen den detektierten Intensitätsspeaks bzw. Streuanteilen proportional zu der Größe und der Geschwindigkeit des Teilchens.

**[0008]** Diese Verfahren, die auf der Auswertung von refraktierten Lichtstrahlen beruhen, sind für nicht-transparente, bzw. für opake transluzente Teilchen kaum oder gar nicht geeignet. Die Intensität von refraktierten Strahlen ist bei opaken Teilchen üblicherweise derart gering, dass keine sinnvolle Auswertung der Messergebnisse möglich ist. Für Emulsionen wie beispielsweise Milch (gelöste Fetttröpfchen in Wasser) oder für Suspensionen wie beispielsweise Farben (gelöste Farbpigmente in Lösungsmittel) ist daher eine andere Auswertung der Daten notwendig. Als opake transluzente Teilchen werden alle Teilchen angesehen, die weder vollständig transparent (beispielsweise Wasser) sind noch eine nahezu vollständig reflektierende Grenzfläche (beispielsweise Metall) aufweisen. Bei diesen Teilchen werden daher üblicherweise zwei oder mehreren Strahlungsdetektoren verwendet, die jeweils unter einem bestimmten Winkel zum Lichtstrahl angeordnet sind. Mit ihnen lässt sich aus der Zeitverzögerung zwischen gleichen Streuanteilen des Intensitätsverlaufes mehrerer Strahlungsdetektoren die Größe eines Teilchens berechnen, sofern die Geschwindigkeit der Teilchen bekannt ist oder gemessen wurde.

**[0009]** Ein Verfahren zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Teilchen ist die Flugzeit-Messmethode, bei der eine Mehrzahl von Lichtquellen derart angeordnet sind, dass die Mehrzahl der ausgesendeten Lichtstrahlen parallel und in Flugrichtung der Teilchen beabstandet zueinander ausgerichtet sind. Einer oder mehrere Strahlungsdetektoren messen dann die bereits oben genannten Streuanteile bei der Durchquerung der einzelnen Lichtstrahlen. Aus der Zeitdifferenz der gleichen Intensitätspeaks der verschiedenen Intensitätsverläufe und der Kenntnis des Abstandes der Lichtstrahlen, lässt sich die Fluggeschwindigkeit der Teilchen bestimmen.

**[0010]** Mit einer Kombination der beiden Messverfahren, lässt sich somit eine Vielzahl von relevanten Tröpfcheneigenschaften bestimmen. Nachteilig an beiden Verfahren ist allerdings, dass der Durchsatz der Teilchen, der Volumen- und/oder Massenstrom nicht bestimmt werden können, da keine genaue Kenntnis über den Ort bekannt ist, an dem die Teilchen den Lichtstrahl oder die Lichtstrahlen durchqueren. Der Durchsatz der Teilchen ist dabei als die Anzahl der Teilchen pro Zeit und pro Flächeneinheit definiert, während der Volumenstrom die Summe der Volumina der Teilchen pro Zeiteinheit und pro Flächeneinheit angibt. Der Massenstrom ist entsprechend die Summe der Massen der Teilchen, die pro Zeiteinheit eine gewisse Flächeneinheit durchqueren. Bei konstanter Dichte entspricht der Massenstrom somit einfach der Dichte multipliziert mit dem Volumenstrom.

**[0011]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Messvorrichtung zur Bestimmung der Teilcheneigenschaften anzugeben, bei dem auch der Durchsatz, der Volumen- und der Massenstrom gemessen werden können.

**[0012]** Diese Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens erfindungsgemäß gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

**[0013]** Bezüglich des Volumen- und Massenstromes wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem eine Mehrzahl von Zeitverschiebungsmesseinrichtungen mit jeweils einer Lichtquelle zur Erzeugung eines Lichtstrahls vorgesehen sind und wobei

- die Anzahl der Teilchen bestimmt wird, die sowohl in einer ersten und auch mindestens in einer weiteren, zweiten Zeitverschiebungsmesseinrichtung detektiert werden,
- die Lichtstrahlen der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen windschiefe Geraden bilden
- und wobei eine Fläche als Schnittfläche der Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen bestimmt wird, die die Teilchen detektiert haben

– und wobei die Flugzeit  $t_{FZ}$  der Teilchen vom Lichtstrahl der ersten Zeitverschiebungseinrichtung zum Lichtstrahl der zweiten Zeitverschiebungseinrichtung bestimmt wird, um anschließend aus der Flugzeit und dem Abstand der Lichtstrahlen der ersten und zweiten Zeitverschiebungseinrichtung im Bereich der Schnittfläche die mittlere Geschwindigkeit des Teilchens zu ermitteln,

– und wobei für jedes Teilchen aus mindestens einer der Zeitverschiebungseinrichtungen, die das Teilchen detektiert hat, die Zeitverschiebung  $t_{ZV}$  bestimmt wird, um anschließend aus der Zeitverschiebung  $t_{ZV}$  und der Geschwindigkeit die Größe des Teilchens zu bestimmen,

– und wobei aus der Größe der Teilchen das jeweilige Volumen bzw. die Masse bestimmt wird und somit der Volumen- bzw. Massenstrom als Quotient der Summe der Volumina bzw. Massen, die pro Zeitintervall die Fläche durchqueren und der Fläche ermittelt wird.

**[0014]** Bezüglich der Messvorrichtung wird die genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

**[0015]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0016]** Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass für eine Bestimmung des Durchsatzes bzw. des Volumen- oder Massenstromes der Ort bzw. der Bereich bestimmt werden muss, an dem das Teilchen den Lichtstrahl oder die Lichtstrahlen durchquert hat. Eine derartige Bestimmung des Bereiches ist aber bei der bisherigen Zeitverschiebungsmessung oder auch der Flugzeitmessmethode insbesondere aufgrund der Ausdehnung des Lichtstrahls in Strahlrichtung nicht oder nicht ohne aufwendige weitere Messapparaturen möglich. Für eine möglichst kompakte Messvorrichtung wird auf eine Mehrzahl der bereits bekannten Zeitverschiebungseinrichtungen zurück gegriffen und die Lichtstrahlen nicht – wie beispielsweise aus der Flugzeitmessung bekannt – parallel und beabstandet zueinander ausgerichtet, sondern windschief. Windschief sind die Lichtstrahlen dann, wenn sie sich weder schneiden noch parallel zueinander ausgerichtet sind. Projiziert auf eine Ebene senkrecht zur Bewegungsrichtung der Teilchen spannen die Lichtstrahlen somit einen Winkel  $\varphi$ , mit  $0^\circ < \varphi < 180^\circ$  auf. Dies führt dazu, dass sich die Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen der Zeitverschiebungseinrichtungen kreuzen und eine Schnittfläche definieren. Dabei kann die Größe und Position der Schnittfläche durch Ausrichtung der Lichtstrahlen optimiert werden und an den Teilchenstrom angepasst werden. Die Überlegung dabei ist, dass einzelne Teilchen, die in mehreren Zeitverschiebungseinrichtungen detektiert werden, die Schnittfläche der Lichtstrahlen der betref-

fenden Zeitverschiebungseinrichtungen durchqueren haben müssen, wodurch eine Lokalisierung der Teilchen und eine Bestimmung der Teilchen pro Flächeneinheit ermöglicht wird. Dabei lassen sich aus den beabstandeten Lichtstrahlen, wie bei bereits oben im Rahmen der Flugzeitmessmethode beschrieben, die Geschwindigkeit der Teilchen und daraus die Größe der Teilchen und weitere Daten bestimmen.

**[0017]** Zur Bestimmung der Zeitverschiebung  $t_{zv}$  werden entsprechend den oben beschriebenen Verfahren in bevorzugter Ausführung die von den Strahlungsdetektoren gemessenen Intensitätsverläufe nach charakteristischen Streulichtpeaks ausgewertet. Dabei kann aus den Daten verschiedener charakteristischer Streulichtpeaks eines gemessenen Intensitätsverlaufes relevante Teilchendaten, wie beispielsweise der Durchmesser der Teilchen, aus der Zeitdifferenz der Streulichtpeaks bestimmt werden, in alternativer oder zusätzlicher Ausführung aber auch aus den Daten gleicher charakteristischer Streulichtpeaks aus mehreren gemessenen Intensitätsverläufen von Strahlungsdetektoren einer Lichtquelle bzw. einer Zeitverschiebungsmesseinrichtung.

**[0018]** Zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Teilchen wird in besonders bevorzugter Ausführung die Flugzeit der Teilchen bestimmt, die das Teilchen von einem Lichtstrahl zu einem weiteren Lichtstrahl benötigt. Dazu umfassen die mehreren Zeitverschiebungseinrichtungen bevorzugt eine Anzahl von Strahlungsdetektoren, die unter gegebenen Streuwinkeln jeweils einen zeitaufgelösten Intensitätsverlauf von an dem Teilchen gestreuten Licht der zugeordneten Lichtquelle messen. In Kenntnis des Abstandes der Lichtstrahlen und somit des Flugweges, dass das Teilchen von einem Lichtstrahl zum anderen Lichtstrahl zurücklegt, kann über die Zeitverschiebung gleicher charakteristischer Streulichtpeaks in den gemessenen Intensitätsverläufen, der den beiden Lichtstrahlen zugeordneten Strahlungsdetektoren, die Geschwindigkeit bestimmt werden.

**[0019]** Zur Vermeidung von falschen Messdaten bzw. falschen Auswertungen der Messdaten aufgrund von gemessenen Signalen unterschiedlicher Teilchen, die aber einem Teilchen zugeordnet werden, werden die gemessenen Streulichtpeaks den Teilchen zugeordnet. Dabei werden in bevorzugter Ausführung entsprechende Verfahren zur Validierung der Teilchen aus dem Stand der Technik verwendet, die beispielsweise aus der Druckschrift WO 2013/139691 A2 für opake transluzente Teilchen oder aus den Druckschriften WO 2013/024167 A1 und WO 2013/024166 A1 für transparente Teilchen bekannt sind und deren Offenbarungen auch Teil dieser Beschreibung sein sollen. Somit ist es möglich auch bei mehreren Teilchen, die in den Strahlungsdetektoren gemessen werden uns somit bei mehreren, sich überlappenden Intensitätsverläufen mehre-

rer Teilchen, jeweils die charakteristischen Streulichtpeaks eines Teilchens zu identifizieren und entsprechend auszuwerten.

**[0020]** Für eine möglichst kompakte Anordnung einerseits und eine optimale Schnittfläche der Lichtstrahlen, sind die Lichtquellen der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen in vorteilhafter Ausführung derart angeordnet, dass die Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen der ersten und zweiten Zeitverschiebungseinrichtung einen Winkel von  $\varphi = 10^\circ\text{--}30^\circ$  einschließen. Auch die Detektionsrichtung der Strahlungsdetektoren spannt für eine möglichst kompakte Bauweise einen Winkel von  $\Theta = 150^\circ\text{--}170^\circ$  in Bezug auf die Ausbreitungsrichtung des Lichtstrahls auf.

**[0021]** Das Verfahren zur Bestimmung des Durchsatzes Teilchen bzw. des Volumen- oder Massenstromes wird in bevorzugter Ausführung in Lackieranlagen eingesetzt. Dabei werden Lacktröpfchen untersucht und anhand der gemessenen und errechneten Daten die Lackieranlage geregelt. Somit kann stets und direkt geprüft werden, ob eine gewünschte Lackmenge verwendet wird und auch eine bevorzugte Größe der Lackteilchen auf das zu lackierende Objekt aufgetragen wird, so dass eine einfache und direkte Optimierung bzw. Neuregelung des Lackiervorganges möglich ist. Entsprechende Anwendungsbereiche ergeben sich auch in der Einspritztechnik und in der Sprühtrocknung, bei dem durch die Bestimmung des Volumenstroms beispielsweise überprüft werden kann, ob der Sprühprozess ordnungsgemäß abläuft.

**[0022]** Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch eine Kombination von zwei oder mehreren Zeitverschiebungsmesseinrichtungen, deren Lichtstrahlen alle oder teilweise windschief ausgerichtet sind, eine Schnittfläche definiert wird, durch die der Durchsatz und der Volumen- und Massenstrom bestimmt werden kann. Dabei wird zusätzlich aufgrund der beabstandeten, windschiefen Lichtstrahlen eine Bestimmung der Geschwindigkeit analog der Flugzeitmessmethode ermöglicht.

**[0023]** Ein Ausführungsbeispiel einer Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

**[0024]** Fig. 1a eine schematische Darstellung einer Zeitverschiebungsanordnung gemäß dem Stand der Technik,

**[0025]** Fig. 1b eine schematische Darstellung einer gemessenen Intensitätsverteilung des Streulichts eines Teilchens in der Zeitverschiebungsanordnung,

**[0026]** Fig. 2a eine schematische Darstellung einer Flugzeitmessung gemäß dem Stand der Technik,

**[0027]** Fig. 2b eine schematische Darstellung einer gemessenen Intensitätsverteilung des Streulichts eines Teilchens in der Flugzeitmessung,

**[0028]** Fig. 3a eine schematische Darstellung einer Zeitverschiebungsanordnung mit zwei gekreuzten Lichtstrahlen,

**[0029]** Fig. 3b eine schematische Darstellung einer gemessenen Intensitätsverteilung des Streulichts eines Teilchens in der Zeitverschiebungsanordnung mit zwei gekreuzten Lichtstrahlen.

**[0030]** Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

**[0031]** Die Zeitverschiebungsmesseinrichtung **1** nach Fig. 1 umfasst eine Lichtquelle **2**, die einen fokussierten Lichtstrahl **4** aussendet und zwei Strahlungsdetektoren **6a**, **6b**, die im Winkel  $\Theta_{a,b}$  von etwa  $\Theta_{a,b} = 150^\circ - 170^\circ$  zum Lichtstrahl **4** angeordnet sind. Die Strahlungsdetektoren **6a**, **6b** messen dabei Streuanteile des Lichtstrahls **4**, die von einem den Lichtstrahl **4** durchquerenden Teilchen **8**, beispielsweise ein Tröpfchen oder ein Partikel, reflektiert oder ausgesandt werden. Diese Streuanteile können dabei unter anderem Reflektionen, Oberflächenwellen und Brechungen verschiedenster Ordnung und deren Moden sein. Dabei treffen die verschiedenen Streuanteile zeitverzögert am ersten Strahlungsdetektor **6a** ein und auch zusätzlich zeitverzögert beim zweiten Strahlungsdetektor **6b**. Die beiden zeitaufgelösten Intensitätsverläufe **10a**, **10b** können anschließend durch eine Auswerteeinheit **12** nach charakteristischen Intensitätspicks **14a**, **14b** ausgewertet werden und die Zeitverzögerung zwischen gleichen Intensitätspicks **14a**, **14b** an beiden Strahlungsdetektoren **6a**, **6b** gemessen werden. Eine schematische Darstellung derartiger Intensitätsverläufe **10a**, **10b** ist in Fig. 1b dargestellt.

**[0032]** Dabei hängt die Zeitverzögerung  $t_{ZV}$  von dem Durchmesser der Teilchen **8**, der Geschwindigkeit der Teilchen **8** und einer allgemein aus der Lichtstreuung bekannten Funktion in Abhängigkeit des Winkels der Strahlungsdetektoren  $\Theta_{a,b}$  ab. Für die Bestimmung des Durchmessers der Teilchen **8** wird somit noch die Geschwindigkeit des Teilchens **8** benötigt.

**[0033]** Eine Flugzeitmeseinrichtung **16** zur Messung der Flugzeit der Teilchen **8** ist in der Fig. 2 dargestellt. Diese Flugzeitmeseinrichtung **16** umfasst eine oder mehrere Lichtquellen **20**, die eine Mehrzahl von parallelen und beabstandeten Lichtstrahlen **22** aussendet bzw. aussenden und einen Strahlungsdetektor **24**, der in einem Winkel  $\Theta_2$  zu den Lichtstrahlen **22** angeordnet ist und die zeitaufgelöste Intensitätsverteilung **26** der Rückwärtsstreuung der Teilchen **8** misst. Eine beispielhafte Intensitätsverteilung

**26** eines Teilchens **8** ist in Fig. 2b dargestellt. Auch bei dieser Intensitätsverteilung **26** können mit Hilfe einer Auswerteeinheit **28** nun charakteristische Intensitätspicks **30** bestimmt werden und der Streuung an den einzelnen Lichtstrahlen **22** zugeordnet werden. Aus der Zeitdifferenz  $t_{FZ}$  zwischen gleichen Intensitätspicks **30** und dem aus dem Aufbau der Flugzeitmeseinrichtung **16** bekannten Abstand der Lichtstrahlen **b**, lässt sich die Geschwindigkeit des Teilchens bestimmen. Aus einer Kombination der Zeitverschiebungseinrichtung **1** und der Flugzeitmeseinrichtung **16** ist es somit möglich den Durchmesser der Teilchen **8** zu bestimmen.

**[0034]** Eine Messeinrichtung **32** zur Bestimmung des Durchsatzes und des Volumen- und Massenstromes ist dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 zu entnehmen. Dabei sind beispielhaft zwei Zeitverschiebungsmeseinrichtungen **1a**, **1b** derart angeordnet, dass die ausgesendeten Lichtstrahlen **4a**, **4b** windschiefe Geraden bilden, das bedeutet, dass sich die Lichtstrahlen **4a**, **4b** weder schneiden noch parallel zueinander ausgerichtet sind. Die Lichtstrahlen **4a**, **4b** sind weiterhin derart ausgerichtet, dass ihre Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung einen Winkel  $\varphi$  aufspannen und im Bereich des Teilchenstromes eine Schnittfläche **34** definieren. Diese Parallelprojektion ist schematisch in vergrößerten Teilansicht der Fig. 1 dargestellt. Teilchen, die von beiden Zeitverschiebungsmeseinrichtungen **1a**, **1b** detektiert werden, haben somit beide Lichtstrahlen **4a**, **4b** durchquert und können im Bereich der Schnittfläche **34** lokalisiert werden. Dazu werden die Intensitätsverteilungen **36a**, **36b**, **36c**, **36d**, die schematisch in Fig. 3b dargestellt sind, bei der Zeitverschiebungseinrichtungen **1a**, **1b** mit einer nicht dargestellten Auswerteeinheit nach charakteristischen Intensitätspicks **38a**, **38b**, **38c**, **38d** ausgewertet und diese Intensitätspicks **38a**, **38b**, **38c**, **38d** entsprechenden Teilchen **8** zuzuordnen, um so eine Identifizierung der Teilchen **8** vornehmen zu können. Dabei werden entsprechende Verfahren zur Validierung der Teilchen **8** aus dem Stand der Technik verwendet, die beispielsweise aus der Druckschrift WO 2013/139691 A2 für opake transluzente Teilchen oder aus den Druckschriften WO 2013/024167 A1 und WO 2013/024166 A1 für transparente Teilchen bekannt sind und deren Offenbarungen auch Teil dieser Beschreibung sein sollen.

**[0035]** Aufgrund der Kombination zweier oder auch mehrerer Zeitverschiebungsanordnungen **1a**, **1b**, wobei alle ausgesendete fokussierte Lichtstrahlen **4a**, **4b** oder nur ein Teil der Lichtstrahlen windschiefe Geraden bilden, wird eine Kombination der Zeitverschiebungsmessung und der Flugzeitmessung erreicht. Durch eine entsprechende Anordnung der windschiefen Lichtstrahlen **4a**, **4b**, bilden diese im Bereich der Schnittfläche **34** und in Richtung des Teilchenflusses einen Abstand **b** zueinander, durch den

die Flugzeit  $t_{FZ}$  und somit die Geschwindigkeit bestimmt werden kann. Auf Basis der weiteren Daten der Strahlungsdetektoren kann dann, wie bei der Zeitverschiebungsmessung üblich, der Durchmesser der Teilchen bestimmt werden.

$\varphi$	Winkel der Lichtstrahlen
$t_{ZV}$	Zeitverschiebung
$t_{FZ}$	Flugzeit

### Patentansprüche

**[0036]** Bei einer Auswertung der Daten über einen gewissen Zeitraum, kann somit die Anzahl der Teilchen und ihre jeweilige Größe und somit das Volumen und die Masse bestimmt werden, die innerhalb des Messzeitraumes die definierte Schnittfläche durchquert haben. Daraus lassen sich dann die gewünschten Daten zum Durchsatz und zum Volumen- und Massenstrom ermitteln. Diese Daten können in einem weiteren Schritt dazu verwendet werden den Teilchenstrom zu überwachen und je nach Einsatzgebiet zu kontrollieren und zu regeln. Insbesondere beim Betreiben einer Lackieranlage, einer Sprühtrocknungsanlage oder auch Einspritzanlage lassen sich durch die Überwachung der charakteristischen Eigenschaften des Teilchenstroms die Prozesse optimieren und verbessern.

#### Bezugszeichenliste

<b>1, 1a, 1b</b>	Zeitverschiebungsmesseinrichtung
<b>2</b>	Lichtquelle
<b>4, 4a, 4b</b>	Lichtstrahl
<b>6a, 6b</b>	Strahlungsdetektor
<b>8</b>	Teilchen
<b>10a, 10b</b>	Intenstätsverteilung
<b>12</b>	Auswerteeinheit
<b>14a, 14b</b>	charakteristische Intenstätspeaks
<b>16</b>	Flugzeitmesseinrichtung
<b>20</b>	Lichtquellen
<b>22</b>	Lichtstrahlen
<b>24</b>	Strahlungsdetektor
<b>26</b>	Intenstätsverteilung
<b>28</b>	Auswerteeinheit
<b>30</b>	charakteristische Intenstätspeaks
<b>32</b>	Messeinrichtung
<b>34</b>	Schnittfläche
<b>36a, 36b, 36c, 36d</b>	Intenstätsverteilung
<b>38a, 38b, 38c, 38d</b>	charakteristische Intenstätspeaks
<b><math>\Theta_a, b</math></b>	Winkel der Strahlungsdetektoren in der ZV
<b><math>\Theta_Z</math></b>	Winkel des Strahlungsdetektors in der FZ
<b>b</b>	Abstand der Lichtstrahlen in der FZ

1. Verfahren zur Bestimmung von Parametern wie Größe und/oder Geschwindigkeit von Teilchen (**8**), die sich in einer Teilchenflussrichtung bewegen, mittels einer Mehrzahl von Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (**1a, 1b**) mit jeweils einer Lichtquelle (**2**) zur Erzeugung eines Lichtstrahls (**4a, 4b**), wobei die Lichtstrahlen (**4a, 4b**) der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (**1a, 1b**) windschiefe Geraden bilden, und wobei die jeweiligen Parameter für diejenigen

a. Teilchen (**8**) bestimmt werden, die sowohl in einer ersten und auch mindestens in einer weiteren, zweiten Zeitverschiebungsmesseinrichtung (**1a, 1b**) detektiert werden.

2. Verfahren zur Bestimmung des Volumen- oder Massenstromes von Teilchen, wobei sich die Teilchen (**8**) in einer Teilchenflussrichtung bewegen, mit einer Mehrzahl von Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (**1a, 1b**) mit jeweils einer Lichtquelle (**2**) zur Erzeugung eines Lichtstrahls (**4a, 4b**),

a. wobei die Anzahl der Teilchen (**8**) bestimmt wird, die sowohl in einer ersten als auch mindestens in einer weiteren, zweiten Zeitverschiebungsmesseinrichtung (**1a, 1b**) detektiert werden,

b. wobei die Lichtstrahlen (**4a, 4b**) der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (**1a, 1b**) windschiefe Geraden bilden

c. und wobei eine Fläche (**34**) als Schnittfläche (**34**) der Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen (**4a, 4b**) der Zeitverschiebungseinrichtungen (**1a, 1b**) bestimmt wird, die die Teilchen (**8**) detektiert haben

d. und wobei die Flugzeit  $t_{FZ}$  der Teilchen (**8**) vom Lichtstrahl (**4a**) der ersten Zeitverschiebungseinrichtung (**1a**) zum Lichtstrahl (**4b**) der zweiten Zeitverschiebungseinrichtung (**1b**) bestimmt wird, um anschließend aus der Flugzeit  $t_{FZ}$  und dem Abstand  $b$  der Lichtstrahlen (**4a, 4b**) der ersten und zweiten Zeitverschiebungseinrichtung (**1a, 1b**) im Bereich der Schnittfläche (**34**) die mittlere Geschwindigkeit des Teilchens zu ermitteln,

e. und wobei für jedes Teilchen aus mindestens einer der Zeitverschiebungseinrichtungen (**1a, 1b**), die das Teilchen (**8**) detektiert hat, die Zeitverschiebung  $t_{ZV}$  bestimmt wird, um anschließend aus der Zeitverschiebung  $t_{ZV}$  und der Geschwindigkeit die Größe des Teilchens (**8**) zu bestimmen,

f. und wobei aus der Größe der Teilchen (**8**) das jeweilige Volumen bzw. die Masse bestimmt wird und somit der Volumen- bzw. Massenstrom als Quotient der Summe der Volumina bzw. Massen, die pro Zeit-

intervall die Fläche (34) durchqueren, und der Fläche (34) ermittelt wird.

3. Verfahren zur Bestimmung des Volumenstromes von Teilchen (8) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder zweite Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) mindestens zwei Strahlungsdetektoren (6a, 6b) umfasst, die unter vorgegebenen Streuwinkeln  $\Theta_{a,b}$  jeweils einen zeitaufgelösten Intensitätsverlauf (36a, 36b, 36c, 36d) von an dem Teilchen (8) gestreutem Licht der Lichtquelle (2) messen, wobei in den Intensitätsverläufen (36a, 36b, 36c, 36d) charakteristische Streulichtpeaks (38a, 38b, 38c, 38d) bestimmt werden und die Zeitverschiebung  $t_{ZV}$  anhand der Zeitdifferenz zwischen gleichartigen Streulichtpeaks (38a, 38b, 38c, 38d) mindestens zweier Intensitätsverläufe (36a, 36b, 36c, 36d) einer Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) bestimmt wird.

4. Verfahren zur Bestimmung des Volumenstromes von Teilchen (8) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder zweite Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) mindestens einen Strahlungsdetektor (6a, 6b) umfasst, der unter vorgegebenem Streuwinkel  $\Theta_{a,b}$  einen zeitaufgelösten Intensitätsverlauf (36a, 36b, 36c, 36d) von an dem Teilchen (8) gestreutem Licht der Lichtquelle (2) misst, wobei in dem Intensitätsverlauf (36a, 36b, 36c, 36d) charakteristische Streulichtpeaks (38a, 38b, 38c, 38d) bestimmt werden und die Zeitverschiebung  $t_{ZV}$  anhand der Zeitdifferenz zwischen zwei charakteristischen Streulichtpeaks (38a, 38b, 38c, 38d) bestimmt wird.

5. Verfahren zur Bestimmung des Volumenstromes von Teilchen (8) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und zweite Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) eine Anzahl von Strahlungsdetektoren (6a, 6b) umfasst, die unter vorgegebenen Streuwinkeln  $\Theta_{a,b}$  jeweils einen zeitaufgelösten Intensitätsverlauf (36a, 36b, 36c, 36d) von an dem Teilchen (8) gestreutem Licht der zugeordneten Lichtquelle (2) gemessen wird, wobei in den Intensitätsverläufen (36a, 36b, 36c, 36d) charakteristische Streulichtpeaks (38a, 38b, 38c, 38d) bestimmt werden und die Zeitverschiebung  $t_{FZ}$  anhand der Zeitdifferenz zwischen gleichartigen Streulichtpeaks (38a, 38b, 38c, 38d) der Intensitätsverläufe (36a, 36b, 36c, 36d) eines Strahlungsdetektors der ersten und zweiten Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) bestimmt wird.

6. Verfahren zur Bestimmung des Durchsatzes von Teilchen (8) durch eine Fläche (34) oder des Volumenstromes von Teilchen (8) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Identifikation der Teilchen in den Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (1a, 1b) vorgenommen wird.

7. Verfahren zur Bestimmung des Durchsatzes von Teilchen (8) durch eine Fläche (34) oder des Volumenstromes von Teilchen (8) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen der ersten und zweiten Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) einen Winkel von  $10^\circ$ – $30^\circ$  einschließen.

8. Verfahren zum Betreiben einer Lackieranlage, wobei der Durchsatz der Lacktröpfchen durch eine Fläche (34) bzw. der Volumen- oder Massenstrom der Lacktröpfchen nach einem der Ansprüche 2 bis 7 ermittelt wird und als Eingangsgröße für die Einstellung der Lackieranlage verwendet wird.

9. Verfahren zum Betreiben einer Sprühtrocknungsanlage, wobei der Durchsatz der Speiseteilchen durch eine Fläche (34) bzw. der Volumen- oder Massenstrom der Speiseteilchen nach einem der Ansprüche 2 bis 7 ermittelt wird und als Eingangsgröße für die Einstellung der Sprühtrocknungsanlage verwendet wird.

10. Messvorrichtung (32) zum Bestimmen von für sich in einer Teilchenflussrichtung bewegende Teilchen (8) charakteristischen Parametern wie beispielsweise Partikelgröße und/oder Geschwindigkeit, mit einer Mehrzahl von Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (1a, 1b) mit jeweils einer Lichtquelle (2) zur Erzeugung jeweils eines Lichtstrahls (4a, 4b), wobei die Lichtquellen (2) der Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (1a, 1b) derart ausgerichtet sind, dass die Lichtstrahlen (4a, 4b) windschiefe Geraden bilden und eine durch die Schnittfläche (34) der Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen (4a, 4b) definierte Messfläche (34) aufspannen.

11. Messvorrichtung (32) zum Bestimmen des Durchsatzes oder des Volumenstroms von Teilchen (8) durch eine Messfläche nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Parallelprojektionen bezogen auf die Teilchenflussrichtung der Lichtstrahlen (4a, 4b) der ersten und zweiten Zeitverschiebungseinrichtung (1a, 1b) einen Winkel von  $\varphi = 10^\circ$ – $30^\circ$  einschließen.

12. Messvorrichtung (32) zum Bestimmen des Durchsatzes oder des Volumenstroms von Teilchen (8) durch eine Messfläche nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Zeitverschiebungsmesseinrichtungen (1a, 1b) vorgesehen sind.

13. Messvorrichtung (32) zum Bestimmen des Durchsatzes oder des Volumenstroms von Teilchen (8) durch eine Messfläche nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Zeitverschiebungsmesseinrichtung (1a, 1b) eine Anzahl von Strahlungsdetektoren (6a, 6b) umfasst, die in ei-

nem Winkel von  $\Theta_{a,b} = 150^\circ - 170^\circ$  zum zugeordneten  
Lichtstrahl (**4a**, **4b**) angeordnet sind.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1a

Stand der Technik

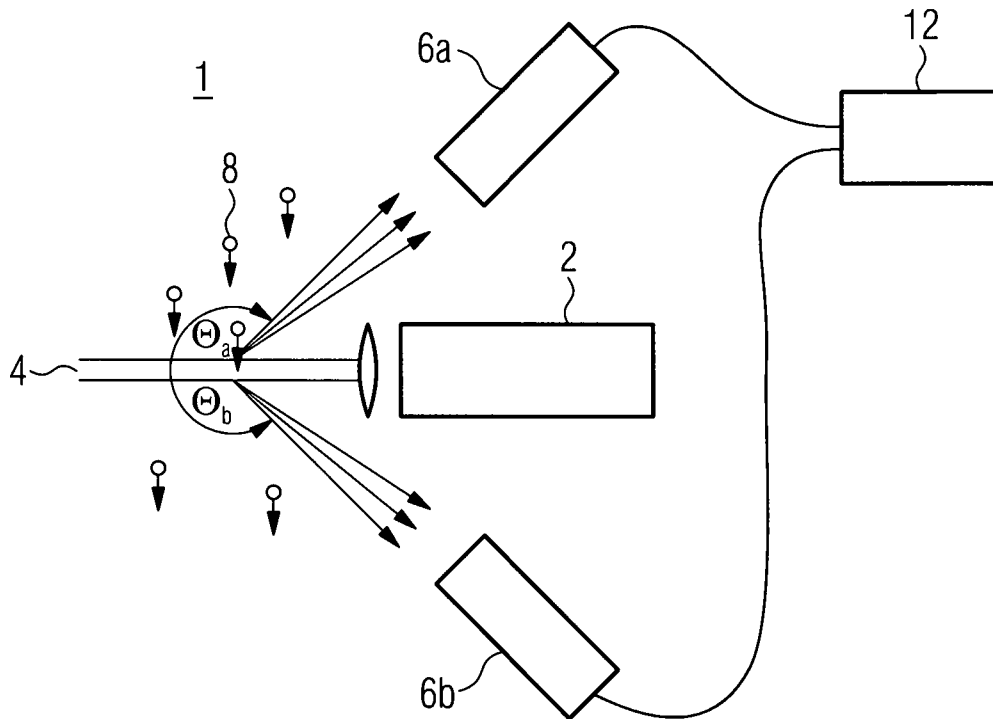


FIG. 1b

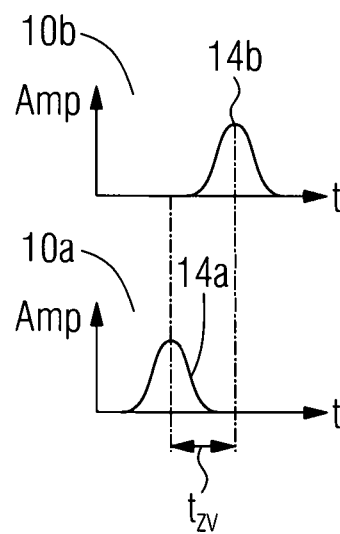


FIG. 2a

Stand der Technik

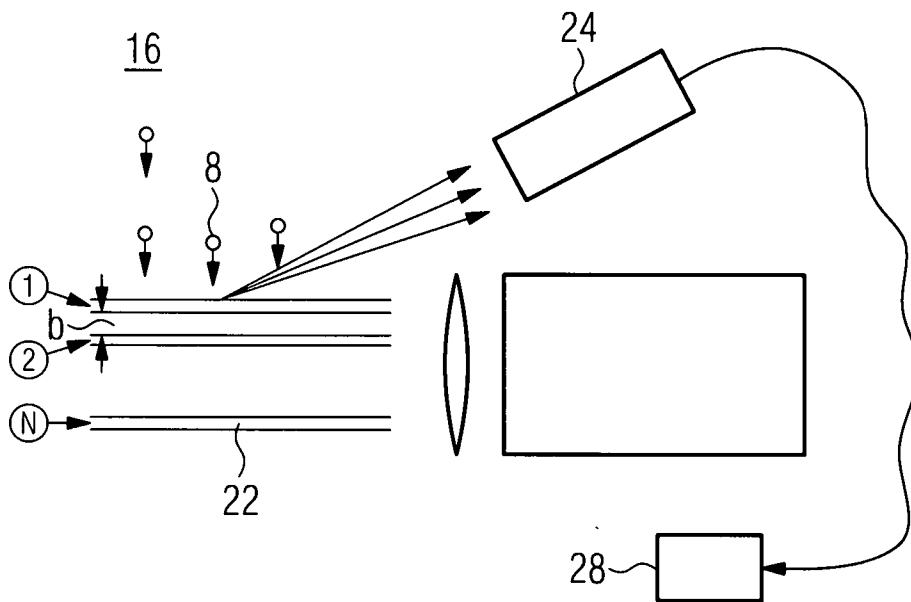


FIG. 2b

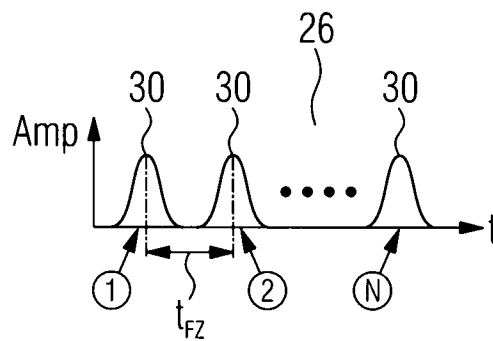


FIG. 3a

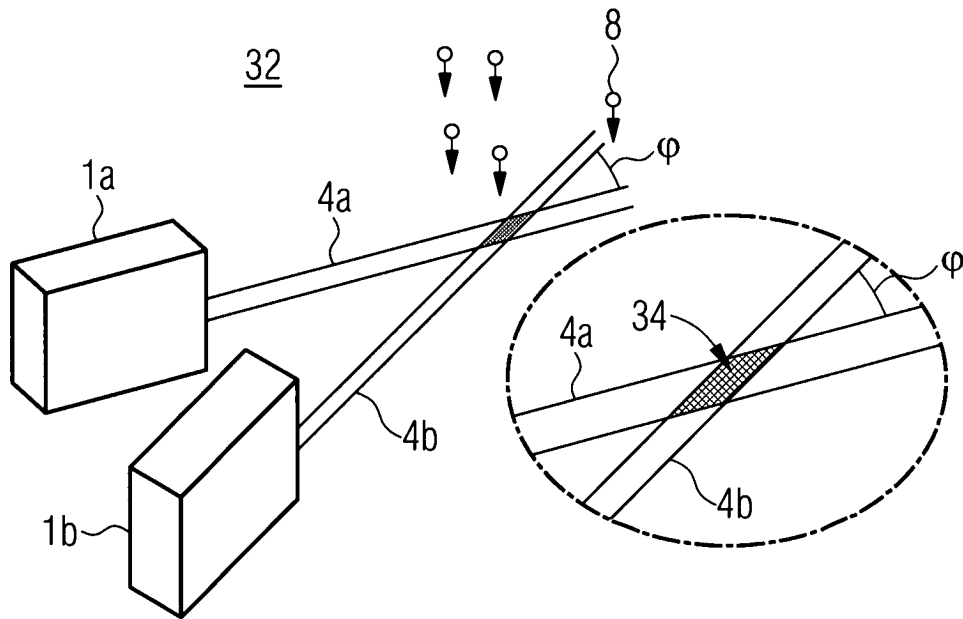


FIG. 3b

