



(10) **DE 10 2015 101 639 A1** 2016.08.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 101 639.7**

(22) Anmeldetag: **05.02.2015**

(43) Offenlegungstag: **11.08.2016**

(51) Int Cl.: **G01N 15/00** (2006.01)

G01N 21/25 (2006.01)

G01N 21/53 (2006.01)

G01N 21/55 (2006.01)

(71) Anmelder:
Schäfer, Walter, Dr., 69469 Weinheim, DE

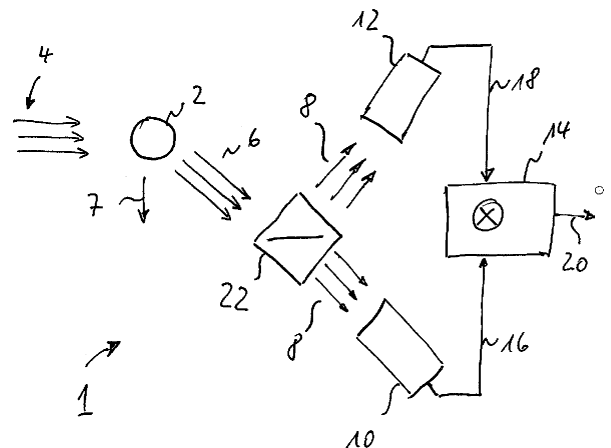
(72) Erfinder:
gleich Anmelder

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

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Auswertung des zeitaufgelösten Intensitätsverlaufs einer einem zu vermessenden Objekt zugeordneten Strahlung**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Auswertung des zeitaufgelösten Intensitätsverlaufs einer einem zu vermessenden Objekt zugeordneten Strahlung soll auf besonders günstige und zuverlässige Weise eine Erkennung des Nutzteils in den gemessenen Intensitätswerten und eine Unterdrückung oder Verminderung des Rauschanteils ermöglichen. Dazu wird erfindungsgemäß die Strahlung in einem Strahlteiler (22, 24, 26) in mindestens zwei Teilstrahlen (8, 28) aufgespalten, wobei für jeden Teilstrahl (8, 28) dessen zeitaufgelöster Intensitätsverlauf in einem ihm zugeordneten Detektor (10, 12, 30, 32, 34, 36) erfasst wird, und wobei die von den Detektoren (10, 12, 30, 32, 34, 36) für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen (8, 28) ausgegebenen Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals für eine Weiterverarbeitung miteinander multipliziert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Auswertung des zeitaufgelösten Intensitätsverlaufs einer einem zu vermessenden Objekt, insbesondere Teilchen oder Partikeln, zugeordneten Strahlung. Sie betrifft weiter eine Messeinrichtung zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften von Teilchen oder Partikeln, insbesondere zur Verwendung des Verfahrens.

[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 Flusssichte 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 kann 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 genutzt werden. Bei den Teilchen, deren Eigenschaften bestimmt werden sollen, kann es sich beispielsweise um Flüssigkeitströpfchen in einem Gas wie beispielsweise Luft handeln, aber auch je nach Anwendung um Feststoffpartikel, Gasbläschen in einer Flüssigkeit oder auch eine Tröpfchenemulsion einer ersten Flüssigkeit, die in einer zweiten Flüssigkeit verteilt ist.

[0004] Zur Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften der Teilchen oder Partikel sind in vielen Fällen sind optische Messverfahren vorteilhaft, da sie berührungslos eingesetzt werden können und die einzelnen Teilchen bei der Messung nicht oder nicht nennenswert beeinflussen. Derartige optische Messverfahren beinhalten beispielsweise zeitlich hochauflösende Abbildungstechniken, Intensitätsmessungen, Interferometrie oder die Auswertung von reflektierten und gebrochenen oder refraktierten Lichtstrahlen, die von einem zu messenden Teilchen gestreut werden. Bei derartigen Verfahren wird üblicherweise der zeitaufgelöste Intensitätsverlauf der dem zu vermessenden Objekt oder dem zu vermessenden Teilchen zugeordneten Strahlung, also insbesondere eines gestreuten oder reflektierten Lichtstrahls oder

auch einer von dem zu vermessenden Objekt infolge äußerer Anregung (beispielsweise laserinduzierte Fluoreszenz) emittierten Strahlung, erfasst und ausgewertet.

[0005] Ein für die genannten Anwendungen, also insbesondere die Verbesserung der Prozessabläufe bei der bedarfsgerechten Einspeisung von Tröpfchen, Partikeln oder Aerosolen in einen Nachfolgeprozess, besonders interessantes Verfahren ist beispielsweise das so genannte Zeitverschiebungsverfahren, welches für transparente und nahezu transparente 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.

[0006] Weitere diesbezüglich einschlägige Publikationen sind:

- [1] Albrecht, H.-E., Borys, M., Damaschke, N., Tropea, C.: Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques. Heidelberg: Springer-Verlag, (2003)
- [2] Schäfer, W.: Time-shift technique for particle characterization in sprays. Ph.D. Thesis, Technische Universität Darmstadt, Institute for Fluid Mechanics and Aerodynamics, (2013)
- [3] Schäfer, W., Tropea, C.: "Time-shift technique for simultaneous measurement of size, velocity, and relative refractive index of transparent droplets or particles in a flow", Appl. Opt. 53, 588–597 (2014)
- [4] Schäfer, W., Tropea, C.: "The time-shift technique for measurement size of non-transparent spherical particles", Proc. SPIE 9232, International Conference on Optical Particle Characterization (OPC 2014), 92320H (2014))

[0007] In einem derartigen Zeitverschiebungsverfahren wird üblicherweise eine Messeinrichtung verwendet, die zum einen eine Lichtquelle zur Aussendung eines üblicherweise fokussierten Lichtstrahles umfasst, den die zu messenden Teilchen durchqueren. Zum anderen umfasst die Messeinrichtung 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. Bei diesen unterschiedlichen Streuanteilen handelt es sich unter anderem um Reflektionen, Oberflächenwellen und Brechun-

gen verschiedenster Ordnung und deren Moden, die zeitversetzt die Strahlungsdetektoren erreichen. Dabei ist die Zeit zwischen den detektierten Intensitätspeaks bzw. Streuanteilen proportional zu der Größe und der Geschwindigkeit des Teilchens.

[0008] Ein weiteres optisches Verfahren, nunmehr vorgesehen zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Teilchen, ist die so genannte Flugzeit-Messmethode, bei der eine Mehrzahl von Lichtquellen derart angeordnet sind, dass die von diesen 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. Insbesondere mit einer Kombination dieser beiden Messverfahren lässt sich eine Vielzahl von relevanten Tröpfcheneigenschaften bestimmen.

[0009] Die genannten optischen oder strahlungs-basierten Messverfahren beruhen allerdings auf einer zuverlässigen und vergleichsweise präzisen Auswertung der gemessenen zeitaufgelösten Intensitätsverläufe der jeweiligen Strahlen oder Strahlungen. Problematisch hierbei kann jedoch sein, dass situationsabhängig und je nach Art und Beschaffenheit der verwendeten Strahlung einerseits und der Eigenschaften der zu vermessenden Objekte, Teilchen oder Partikel das für die Auswertung zugrunde zu legende Nutzsignal im Verhältnis zu den Rauschanteilen im jeweils gemessenen Intensitätswert vergleichsweise gering sein kann. Zwar werden in verschiedenen Ansätzen verschiedene Koinzidenzkriterien und dergleichen diskutiert, die die Identifikation der Nutzanteile in den gemessenen Intensitätswerten und das Ausfiltern der Rauschanteile erleichtern und verbessern sollen (wie z. B. in der DE 10 2012 102 364 A1, der WO 2013/024167 A1 oder der DE 10 2012 120363 A1 beschrieben). Trotzdem ist es wünschenswert, die genannten optischen oder strahlungsbasierten Auswertemethoden im Hinblick auf die Identifikation des Nutzanteils des Signals noch weiter zu verbessern, um den Einsatzbereich der genannten Verfahren noch weiter zu erweitern.

[0010] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der oben genannten Art anzugeben, mit dem auf besonders günstige und zuverlässige Weise der Nutzanteil in den gemessenen Intensitätswerten erkannt und der Rauschanteil unterdrückt werden kann. Des weiteren soll eine für die Durchführung des Verfahrens besonders geeignete Messeinrichtung angegeben werden.

[0011] Bezüglich des Verfahrens wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem die dem zu vermessenden Objekt, Teilchen oder Partikel zugeordnete Strahlung in einem Strahlteiler in mindestens zwei Teilstrahlen aufgespalten wird, wobei für jeden Teilstrahl dessen zeitaufgelöster Intensitätsverlauf in einem ihm zugeordneten Detektor erfasst wird, und wobei die von den Detektoren für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen ausgegebenen Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals für eine Weiterverarbeitung miteinander multipliziert werden.

[0012] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0013] Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass für die angestrebte Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses im auszuwertenden Intensitätsverlauf der dem Objekt zugeordneten Strahlung die spezifische zeitliche Charakteristik des Nutzanteils des Intensitätsverlaufs einerseits und des Rauschanteils andererseits berücksichtigt und gezielt genutzt werden sollte. Insbesondere sollte dabei berücksichtigt werden, dass der Nutzanteil des Intensitätsverlaufs systematisch und deterministisch auf das zu vermessende Objekt und dessen Wechselwirkung mit der Umgebung (Anregung von außen, Bestrahlung mit Lichtquelle oder dergleichen) zurückzuführen ist. Demgegenüber ist der Rauschanteil im wesentlichen rein fluktuierend und aufgrund seiner statistischen Anteile im zeitlichen Mittelwert eher gering. Dies kann gezielt genutzt werden, indem die dem zu vermessenden Objekt zugeordnete Strahlung zunächst in eine Mehrzahl (vorzugsweise zwei) von Teilstrahlen zerlegt wird. Aufgrund der Signalcharakteristik enthält jeder dieser Teilstrahlen den gleichen Nutzanteil in seinem Intensitätsverlauf, wohingegen sich der Rauschanteil in den einzelnen Teilstrahlen fluktuationsbedingt unterscheiden sollte. Durch die Multiplikation der von den Detektoren ausgegebenen Signale wird somit erreicht, dass der in sämtlichen Teilsignalen gleichermaßen enthaltene Nutzanteil uneingeschränkt erhalten bleibt, wobei die mit Rauschanteilen multiplizierten Signalanteile aufgrund von deren Fluktuationen vergleichsweise stark reduziert werden.

[0014] Durch dieses Konzept und seine Anwendung auf die oben genannten Verfahren werden diese auch für die Verwendung bei nicht-transparenten oder opaktransluzenten Teilchen ertüchtigt. Die Intensität von refraktierten Strahlen ist bei opaken Teilchen nämlich üblicherweise derart gering, dass keine sinnvolle Auswertung der Messergebnisse möglich ist, vgl. hierzu beispielsweise auch Schäfer, W., Tropea, C.: "The time-shift technique for measurement size of non-transparent spherical particles", Proc. SPIE 9232, International Conference on Optical Particle Characterization (OPC 2014), 92320H (2014).

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.

[0015] Je nach Anwendungsfall kann die Aufspaltung der Strahlung in einem hierfür vorgesehenen Strahlteiler erfolgen. Alternativ kann aber auch die Streuung oder Brechung des Lichtstrahls am Teilchen oder Partikel selber zur Strahlteilung genutzt werden, indem die Intensitätsverläufe zweier unterschiedlicher vom Teilchen oder Partikel reflektierter oder gebeugter Strahlen multiplikativ miteinander überlagert werden.

[0016] Besonders bevorzugt wird als Strahlung ein von einem mit Licht aus einer Lichtquelle beleuchteten Teilchen gestreuter oder reflektierter Lichtstrahl ausgewertet. Damit kann das Verfahren auf besonders günstige Weise mit den bereits beschriebenen optischen Verfahren zur Bestimmung charakteristischer Teilcheneigenschaften kombiniert werden, wie sie beispielsweise in den Druckschriften WO 2013/139691 A2 (für opake transluzente Teilchen), WO 2013/024167 A1 und WO 2013/024166 A1 (jeweils für transparente Teilchen) und der nicht vorveröffentlichten Deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2014 211 514.0 (für Verfahren zur Bestimmung des Durchsatzes oder Volumenstroms von Teilchen) beschrieben sind. Die Offenbarung dieser Druckschriften wird ausdrücklich und vollumfänglich mit einbezogen („incorporation by reference“). Durch derartige Verfahren ist es insbesondere möglich, bei gemessenen Signalen unterschiedlicher Teilchen eine irrtümliche Zuordnung zu einem einzigen Teilchen zu vermeiden und die gemessenen Streulichtpeaks einzelnen Teilchen individualisiert zuzuordnen. Somit ist es möglich, auch bei mehreren Teilchen, die in den Strahlungsdetektoren gemessen werden und somit mehrere, sich überlappende Intensitätsverläufe erzeugen, jeweils die charakteristischen Streulichtpeaks eines Teilchens zu identifizieren und entsprechend auszuwerten.

[0017] Vorteilhafterweise wird das genannte Verfahren für die Auswertung von mit der so genannten „Time Shift“- oder Zeitverschiebungsmethode wie oben beschrieben gemessenen Daten eingesetzt.

[0018] Ganz besonders bevorzugt wird das Verfahren verwendet für die Bestimmung der Fluggeschwindigkeit von sich in einer Flugrichtung bewegendem Teilchen, indem als Strahlung die von den mit Licht aus einer Mehrzahl von in Flugrichtung der Teilchen gesehen beabstandet angeordneten Lichtquel-

len beleuchteten Teilchen gestreuten oder reflektierten Lichtstrahlen ausgewertet werden und die Zeitdifferenz der einander entsprechenden Intensitätspeaks der jeweiligen Produktsignale ermittelt wird.

[0019] 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 können 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.

[0020] 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 Zeitverschiebungsmesseinrichtungen 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.

[0021] Bezüglich der Messvorrichtung zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften von Teilchen oder Partikeln wird die genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst mit einer Anzahl von Auswertesystemen für den Teilchen oder Partikeln zugeordnete Strahlung, wobei das oder jedes Auswertesystem mindestens zwei jeweils einem Teilstrahl der auszuwertenden Strahlung zugeordneten Detektoren umfasst, die signalausgangsseitig mit einer Multipliziereinheit für die von den Detektoren für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen ausgegebenen Ausgangssignale verbunden ist.

[0022] Die Detektoren können dabei zur Erfassung von unterschiedlichen, vom Teilchen oder Partikel reflektierten, gebeugten oder emittierten Strahlen vorgesehen sein, so dass die Teilchen oder Partikel selber zur Strahlteilung genutzt werden. Besonders bevorzugt umfasst aber das oder jedes Auswertesystem jeweils einen Strahlteiler zur Aufspaltung der den

Teilchen oder Partikeln zugeordneten Strahlung in eine Anzahl von Teilstrahlen.

[0023] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die multiplikative Auswertung der Intensitätsverläufe, die aufgrund der vorausgegangen Aufteilung des Strahls in mehrere Teilstrahlen aus ein und derselben Quelle stammen, die systematisch im Intensitätsverlauf enthaltenen Anteile, also das Nutzsignal, konsequent verstärkt werden, wohingegen die statistischen und fluktuationsbedingten Anteile, also die Rauschanteile, weitgehend unterdrückt oder zumindest geschwächt werden. Somit ist auf vergleichsweise einfache und zuverlässige Weise eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses erreichbar.

[0024] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

[0025] Fig. 1 schematisch eine Messeinrichtung zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften von Teilchen oder Partikeln,

[0026] Fig. 2 schematisch eine alternative Messeinrichtung zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften von Teilchen oder Partikeln,

[0027] Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0028] Die Messeinrichtung 1 nach Fig. 1 ist zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften eines Partikels oder Teilchens 2, oder auch einer Mehrzahl von Teilchen 2 oder Partikeln, wie beispielsweise die Größe, die Formgebung, die Geschwindigkeit und/oder den Brechungsindex einzelner Teilchen 2 auf berührungslose Weise vorgesehen. Dazu ist die Messeinrichtung 1 zur Auswertung des zeitaufgelösten Intensitätsverlaufs einer dem zu vermessenden Objekt oder Teilchen 2 zugeordneten Strahlung ausgelegt. Bei dieser Strahlung könnte es sich um eine Emission aufgrund einer vorherigen Anregung des Teilchens 2 auf chemischem oder physikalischem Wege, beispielsweise laserinduzierter Fluoreszenz, handeln; im Ausführungsbeispiel ist als dem Teilchen 2 zugeordnete Strahlung aber ein von dem mit einem fokussierten Lichtstrahl 4 aus einer nicht näher dargestellten Lichtquelle beleuchteten Teilchen 2 gestreuter oder reflektierter Lichtstrahl 6 vorgesehen. Wie durch den Pfeil 7 angedeutet, bewegt sich das Teilchen 2 dabei in einer Flugrichtung im Wesentlichen quer zum Lichtstrahl 4 durch diesen hindurch.

[0029] Um eine vergleichsweise genaue Auswertung des Intensitätsverlaufs des gestreuten Lichtstrahls 6 mit verbessertem Signal-Rausch-Verhältnis zu ermöglichen, ist die Messeinrichtung 1 dafür ausgelegt, den auszuwertenden gestreuten Lichtstrahl 6

zunächst in (mindestens) zwei Teilstrahlen 8 aufzuspalten, für jeden Teilstrahl 8 dessen zeitaufgelösten Intensitätsverlauf in einem ihm zugeordneten Detektor 10, 12 zu erfassen und die von den Detektoren 10, 12 für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen 8 ermittelten Ausgangssignale an eine gemeinsame Auswerteeinheit 14 auszugeben. In der Auswerteeinheit 14, mit der die Detektoren 10, 12 signalausgangsseitig jeweils über eine Datenleitung 16, 18 verbunden sind, werden die übermittelten Ausgangssignale zur Bereitstellung eines über die Ausgangsleitung 20 abrufbaren Produktsignals für eine Weiterverarbeitung miteinander multipliziert. Zur Aufspaltung des gestreuten Lichtstrahls 6 in die Teilstrahlen 8 umfasst die Messeinrichtung 1 im in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel einen Strahlteiler 22.

[0030] Das Verzweigungsverhältnis des Strahlteilers 22, durch das die Aufteilung der Intensitäten der Teilstrahlen 8 charakterisiert ist, beträgt im dargestellten Beispiel 50/50, d. h. beide Teilstrahlen 8 verlassen den Strahlteiler 22 mit gleicher Basisintensität. Alternativ können – bedarfsabhängig und je nach auszuwertendem Parameter – aber auch andere Verzweigungsverhältnisse vorgesehen sein, beispielsweise 10/90, 80/20 oder andere.

[0031] Der in der Messeinrichtung 1 vorgesehenen Signalverarbeitung durch Multiplikation der Signale der Teilstrahlen 8 liegt folgende Erwägung zugrunde: Diese Strahlungsintensität besteht sowohl für den Lichtstrahl 6 als auch für jeden der beiden Teilstrahlen 8 zunächst jeweils aus der aktiven Strahlungsintensität (I_{aktiv}), die von dem zu vermessenden Teilchen 2 erzeugt wird und das eigentliche, für die spätere Auswertung relevante Nutzsignal darstellt. Diesem ist additiv ein Beitrag charakteristisch für das „Rauschen“ – die Intensität (I_{rauschen}) – überlagert, die das Ergebnis eines Hintergrundrauschens und/oder eines Rauschens von Detektoren, Auswerteelektronik oder dergleichen ist.

[0032] Außerdem gibt es die störende Strahlungsintensität ($I_{\text{störung}}$), die durch benachbarte Strahlungsobjekte oder andere Prozesse erzeugt werden kann. Demzufolge kann die gesamte Strahlungsintensität durch

$$I_{\text{gesamt}} = I_{\text{aktiv}} + I_{\text{rauschen}} + I_{\text{störung}}$$

beschrieben werden. Bei einer Multiplikation dieser Terme für die beiden Teilstrahlen 8 ergibt sich einerseits ein Beitrag I_{aktiv}^2 , der dem Quadrat des Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals miteinander multipliziert werden. Die Auswerteeinheiten 42, 48 sind sodann ihrerseits signalausgangsseitig jeweils über eine Datenleitung 50, 52 mit einer weiteren Auswerteeinheit 54 verbunden, die die ihr zugeführten Produktsignale erneut miteinander multipliziert.

[0033] Durch eine derartige mehrfache Multiplikation entstehen Terme vierter Ordnung, so dass die zeitlich fluktuierenden Rauschbeiträge besonders effizient ausgelöscht eigentlichen Nutzsignals entspricht. Andererseits entstehen Mischterme, in denen der Rauschbeitrag des Signals entweder linear oder sogar quadratisch vertreten ist. Aufgrund der statistischen, fluktuierenden Natur dieser Rauschterme sind diese somit vom Betrag her deutlich kleiner als der Term für das eigentlichen Nutzsignal. Durch die Multiplikation der Intensitätswerte für die Teilstrahlen **8** kann somit das Signal-Rausch-Verhältnis deutlich gesteigert werden, insbesondere da die Nutzsignal-Anteile beider Teilströme **8** aus derselben Quelle stammen, somit autokerreliert sind und sich damit nicht auslöschen können.

[0034] Eine alternative Messeinrichtung **1'** zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften eines Partikels oder Teilchens **2'** ist in **Fig. 2** dargestellt. Dabei ist eine Ausgestaltung gezeigt, bei der das Teilchen **2'** – in diesem Fall nicht mit runder Außenkontur und kugelförmiger Gestalt, sondern vielmehr mit unregelmäßiger Außenoberfläche – an sich bereits die Funktion des Strahlteilers übernimmt. In dieser Variante streut somit das Teilchen **2'** an sich den einfallenden Lichtstrahl **4** in die beiden Teilstrahlen **8** ab, die somit für die genannte Aufbereitung durch Multiplikation herangezogen werden können. Damit kann bereits auf dieser Basis ein dem Signal etwa überlagertes Hintergrundrauschen oder sonstige störende Intensitätsbeiträge eliminiert oder zumindest reduziert werden.

[0035] Eine Kombination der beiden genannten Ansätze ist im Ausführungsbeispiel gem. **Fig. 3** gezeigt. Die dort dargestellte alternative Messeinrichtung **1''** nutzt in einer ersten Stufe ebenfalls das zu messende Teilchen **2'** zur Aufspaltung des einfallenden Lichtstrahls **4** in zwei Teilstrahlen **8**. Diese werden dann jeweils ihrerseits in einem zugeordneten Strahlteiler **24** bzw. **26** erneut in mehrere Teilstrahlen **28** aufgespalten. Jeder der so gewonnenen Teilstrahlen **28** wird in einem zugeordneten Detektor **30, 32, 34, 36** erfasst. Die Detektoren **30, 32** sind dabei signalausgangsseitig jeweils über eine Datenleitung **38, 40** mit einer Auswerteeinheit **42** verbunden, in der die übermittelten Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals miteinander multipliziert werden. Analog sind die Detektoren **34, 36** signalausgangsseitig jeweils über eine Datenleitung **44, 46** mit einer Auswerteeinheit **48** verbunden, in der ebenfalls die übermittelten Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals miteinander multipliziert werden. Strukturell betrachtet umfasst die Messeinrichtung **1''** somit in der Art von von ihrem Aufbau her der Messeinrichtung **1** gleichenden Untersystemen eine Anzahl von Auswertesystemen **60, 62**, die jeweils (mindestens) zwei jeweils einem Teilstrahl **28** der auszuwertenden Strahlung zugeordneten Detektoren **30, 32, 34, 36**

umfassen, die signalausgangsseitig mit einer Multipliziereinheit **42, 48** für die von den Detektoren **30, 32, 34, 36** für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen **28** ausgegebenen Ausgangssignale verbunden sind.

[0036] Die Auswerteeinheiten **42, 48** sind ihrerseits signalausgangsseitig jeweils über eine Datenleitung **50, 52** mit einer weiteren Auswerteeinheit **54** verbunden, in der ebenfalls die übermittelten Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals erneut miteinander multipliziert werden. Damit entstehen in der Gesamtheit betrachtet Terme vierter Ordnung, in denen die Rauschbeiträge aufgrund ihres fluktuierenden Verhaltens besonders wirksam eliminiert oder unterdrückt werden.

[0037] Besonders vorteilhaft kommt das genannte Konzept in Kombination mit anderen Verfahren zur Validierung der Teilchen **2, 2'** zum Einsatz, wie sie aus dem Stand der Technik 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.

Bezugszeichenliste

1	Messeinrichtung
2	Teilchen
4	Lichtstrahl
6	gestreuter Lichtstrahl
8	Teilstrahl
10, 12	Detektor
14	Auswerteeinheit
16, 18	Datenleitung
20	Ausgangsleitung
22, 24, 26	Strahlteiler
28	Teilstrahl
30, 32, 34, 36	Detektor
38, 40	Datenleitung
42	Auswerteeinheit
44, 46	Datenleitung
48	Auswerteeinheit
50, 52	Datenleitung
54	Auswerteeinheit
60, 62	Auswertesystem

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102012102364 A1 [0009]
- WO 2013/024167 A1 [0009, 0016, 0037]
- DE 102012120363 A1 [0009]
- WO 2013/139691 A2 [0016, 0037]
- WO 2013/024166 A1 [0016, 0037]
- DE 102014211514 [0016]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- N. Damaschke, H. Nobach, N. Semidetnov, C. Tropea (2002) Optical Particle Sizing in Backscatter, Applied Optics 41, 5713–5727 [0005]
- 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 [0005]
- Albrecht, H.-E., Borys, M., Damaschke, N., Tropea, C.: Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques. Heidelberg: Springer-Verlag, (2003) [0006]
- Schäfer, W.: Time-shift technique for particle characterization in sprays. Ph.D. Thesis, Technische Universität Darmstadt, Institute for Fluid Mechanics and Aerodynamics, (2013) [0006]
- Schäfer, W., Tropea, C.: "Time-shift technique for simultaneous measurement of size, velocity, and relative refractive index of transparent droplets or particles in a flow", Appl. Opt. 53, 588–597 (2014) [0006]
- Schäfer, W., Tropea, C.: "The time-shift technique for measurement size of non-transparent spherical particles", Proc. SPIE 9232, International Conference on Optical Particle Characterization (OPC 2014), 92320H (2014) [0006]
- Schäfer, W., Tropea, C.: "The time-shift technique for measurement size of non-transparent spherical particles", Proc. SPIE 9232, International Conference on Optical Particle Characterization (OPC 2014), 92320H (2014) [0014]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Auswertung des zeitaufgelösten Intensitätsverlaufs einer einem zu vermessenden Objekt zugeordneten Strahlung, bei dem die Strahlung in einem Strahlteiler (**22, 24, 26**) in mindestens zwei Teilstrahlen (**8, 28**) aufgespalten wird, wobei für jeden Teilstrahl (**8, 28**) dessen zeitaufgelöster Intensitätsverlauf in einem ihm zugeordneten Detektor (**10, 12, 30, 32, 34, 36**) erfasst wird, und wobei die von den Detektoren (**10, 12, 30, 32, 34, 36**) für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen (**8, 28**) ausgegebenen Ausgangssignale zur Bereitstellung eines Produktsignals für eine Weiterverarbeitung miteinander multipliziert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Strahlung ein von einem mit Licht aus einer Lichtquelle beleuchteten Teilchen (**2, 2'**) gestreuter oder reflektierter Lichtstrahl (**6**) ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Fluggeschwindigkeit von sich in einer Flugrichtung bewegenden Teilchen (**2, 2'**) bestimmt wird, indem als Strahlung die von den mit Licht aus einer Mehrzahl von in Flugrichtung der Teilchen (**2, 2'**) gesehen beabstandet angeordneten Lichtquellen beleuchteten Teilchen (**2, 2'**) gestreuten oder reflektierten Lichtstrahlen (**6**) ausgewertet werden und die Zeitdifferenz der einander entsprechenden Intensitätsspeaks der jeweiligen Produktsignale ermittelt wird.

4. Messeinrichtung (**1, 1', 1''**) zur Bestimmung charakteristischer Eigenschaften von Teilchen (**2, 2'**) oder Partikeln, mit einer Anzahl von Auswertesystemen (**60, 62**) für den Teilchen (**2, 2'**) oder Partikeln zugeordnete Strahlung, wobei das oder jedes Auswertesystem (**60, 62**) mindestens zwei jeweils einem Teilstrahl (**28**) der auszuwertenden Strahlung zugeordneten Detektoren (**30, 32, 34, 36**) umfasst, die signalausgangsseitig mit einer Multipliziereinheit für die von den Detektoren (**30, 32, 34, 36**) für die Intensitätsverläufe der jeweiligen Teilstrahlen (**28**) ausgegebenen Ausgangssignale verbunden ist.

5. Messeinrichtung (**1, 1', 1''**) nach Anspruch 4, bei der das oder jedes Auswertesystem (**60, 62**) jeweils einen Strahlteiler (**24, 26**) zur Aufspaltung der den Teilchen (**2, 2'**) oder Partikeln zugeordneten Strahlung in eine Anzahl von Teilstrahlen (**28**) umfasst.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

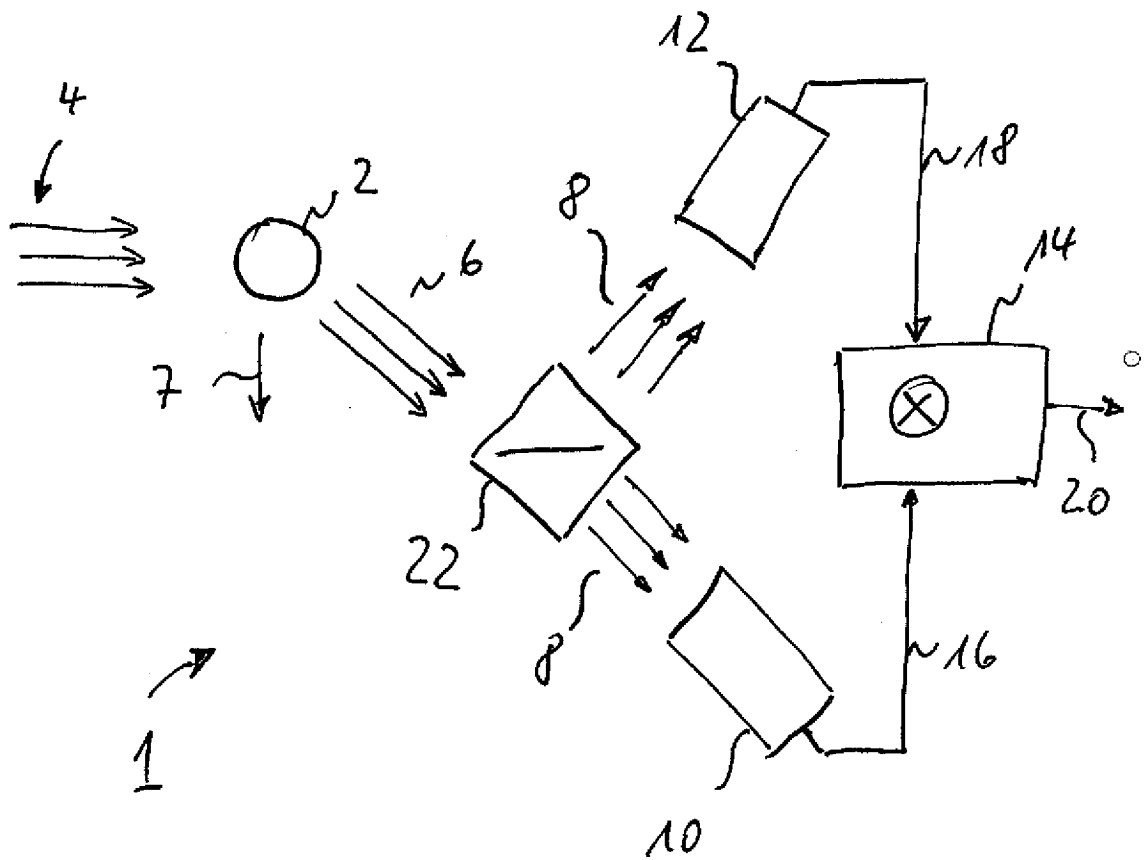


Fig. 1

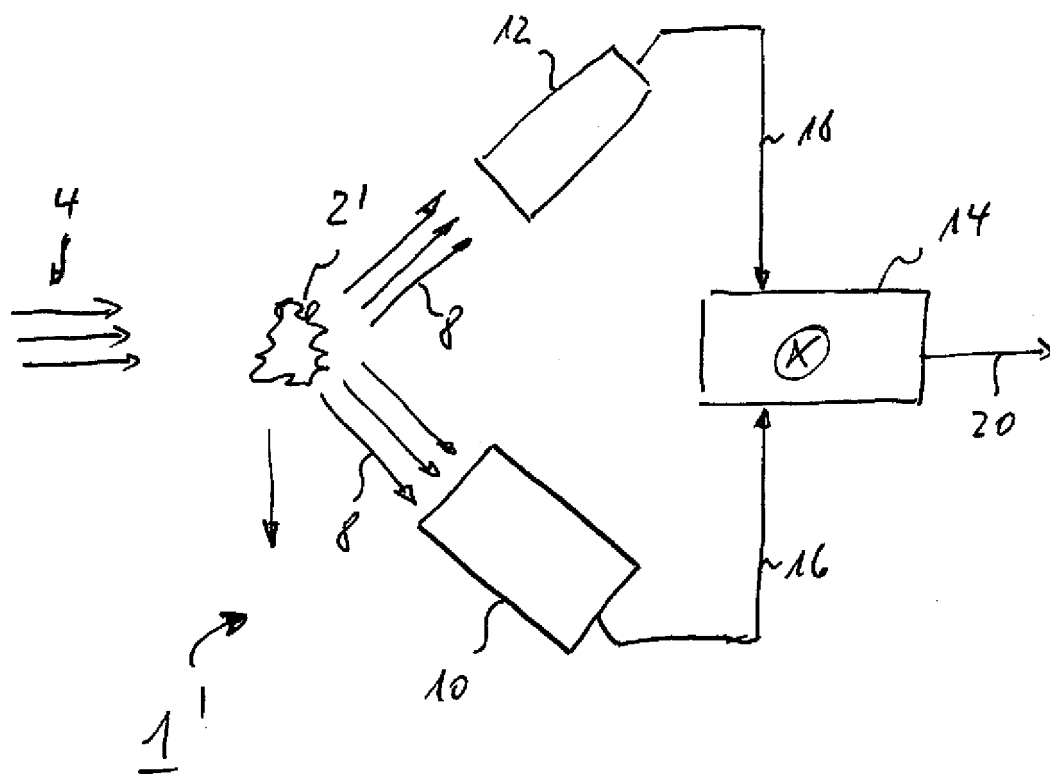


Fig. 2

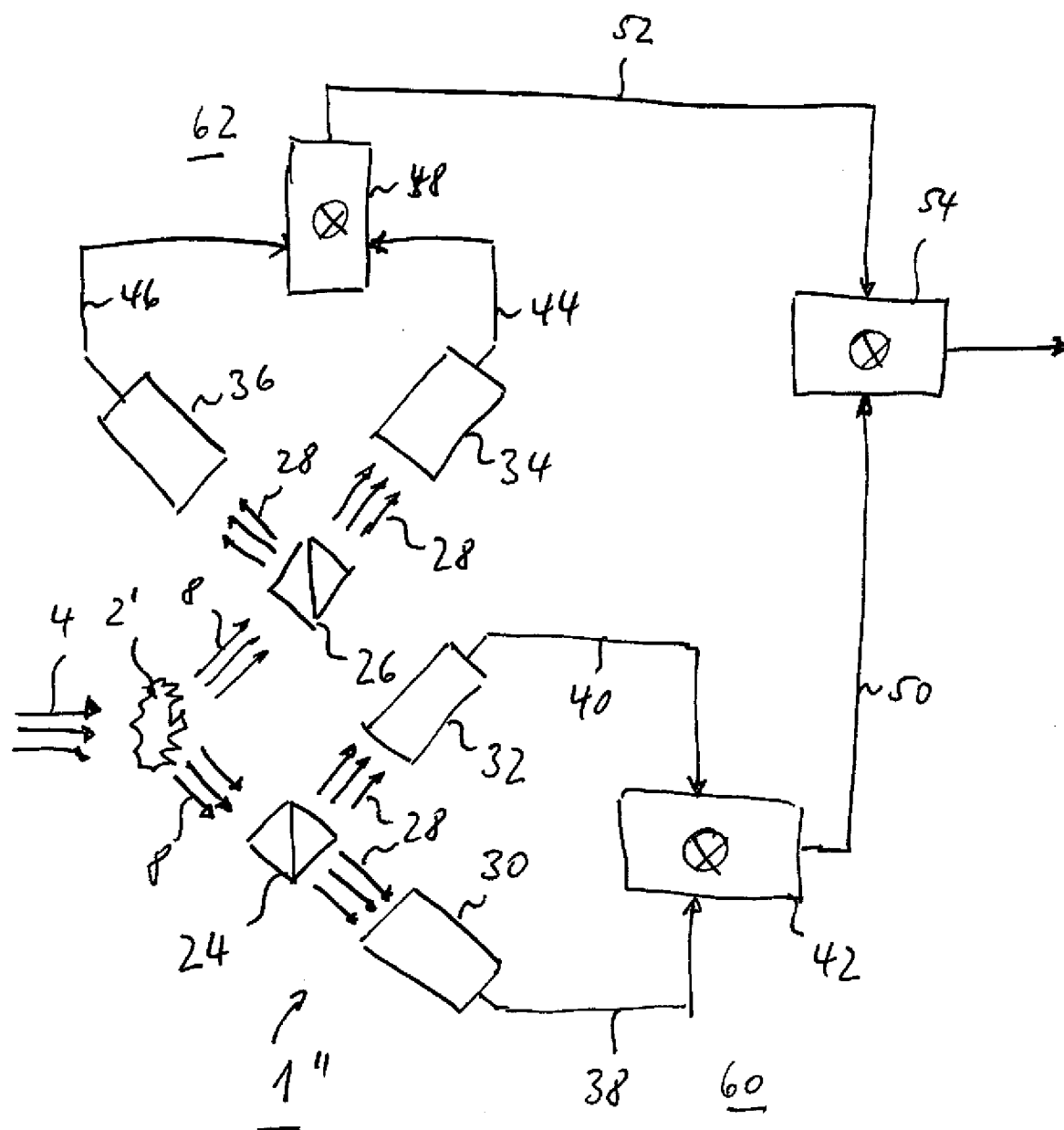


Fig. 3