

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Juli 2022 (28.07.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/157033 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01P 5/20 (2006.01) *G01N 15/14* (2006.01)
G01N 15/10 (2006.01) *G01N 15/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/050386
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. Januar 2022 (11.01.2022)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2021 101 409.3
22. Januar 2021 (22.01.2021) DE
- (71) Anmelder: **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, VERTRETEN DURCH DAS BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, [DE/DE]**; dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig (DE).
- (72) Erfinder: **GROSSHANS, Holger**; Kastanienallee 46a, 38104 Braunschweig (DE).
- (74) Anwalt: **GRAMM, LINS & PARTNER PATENT- UND RECHTSANWÄLTE PARTGMBB**; Frankfurter Straße 3c, 38122 Braunschweig (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GI, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING AT LEAST ONE CHARGE CHARACTERISTIC VALUE OF ELECTRIC CHARGES OF PARTICLES IN A FLUID STREAM, AND FLUID STREAM CHARGE MEASURING DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BESTIMMEN ZUMINDEST EINES LADUNGSKENNWERTS VON ELEKTRISCHEN LADUNGEN VON PARTIKELN IN EINEM FLUIDSTROM UND FLUIDSTROMLADUNGSMESSGERÄT

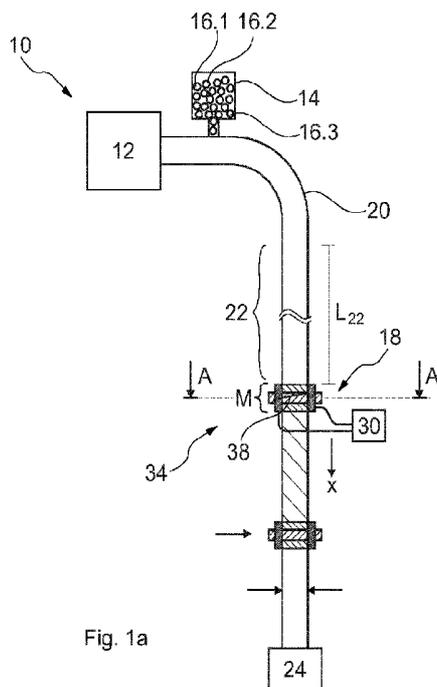


Fig. 1a

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining at least one charge characteristic value (K) of electrical charges of particles (16) in a fluid stream, having the steps of: (a) conducting the fluid stream containing particles (16) through a fluid line (20), (b) determining a measuring-fieldless particle speed (v) in a spatially resolved manner in a measuring region without an electric measuring field, (c) applying an electric measuring field transversely to the flow direction (S) in the measuring region, (d) determining a with-field particle speed (vE) in a spatially resolved manner in the measuring region, and (e) determining the at least one charge characteristic value (K), which describes an electrostatic charge of the particles (16), from the spatially resolved particle speeds.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts (K) von elektrischen Ladungen von Partikeln (16) in einem Fluidstrom, mit den Schritten (a) Leiten des Fluidstroms, der Partikel (16) enthält, durch eine Fluidleitung (20), (b) orts aufgelöstes Bestimmen einer Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit (v), in einem Messbereich ohne elektrisches Messfeld, (c) Anlegen eines elektrischen Messfelds quer zur Strömungsrichtung (S) im Messbereich, (d) orts aufgelöstes Bestimmen einer Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (vE) im Messbereich und (e) Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts (K), der eine elektrostatische Aufladung der Partikel (16) beschreibt, aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten.

WO 2022/157033 A1

RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Verfahren zum Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts von elektrischen Ladungen von Partikeln in einem Fluidstrom und Fluidstromladungsmessgerät

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts von elektrischen Ladungen in Partikeln in einem Fluidstrom. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Fluidstromladungsmessgerät.

- 5 Beim Transport von Partikeln in einem Fluidstrom wie einem Gasstrom, insbesondere einem Luftstrom, kommt es oft zu einer elektrostatischen Aufladung der Partikel. Wird diese elektrostatische Aufladung zu groß, kann es zu einer Funkenentladung kommen. Das ist besonders dann nachteilig, wenn eine exotherme chemische Reaktion zwischen den Partikeln und dem Gas des Gasstroms möglich ist. Es kann dann
10 zu einer Explosion kommen.

Die Entstehung von elektrostatischer Aufladung von Partikeln, die mittels eines Fluidstroms gefördert werden, ist Gegenstand intensiver Forschungen, wird bislang aber nur schlecht verstanden.

15

- Zur Bestimmung eines Ladungskennwertes in Form einer Gesamtladung von elektrischen Ladungen von Partikeln in dem Fluidstrom werden im Moment sogenannte Faraday-Becher verwendet. Die Partikel induzieren Ladungen am Faraday-Becher. Diese werden gemessen. Ein solcher Aufbau ist im Paper von Susanti und Großhans
20 "Measurement of the deposit formation during pneumatic transport of PMMA powder", in: Advanced powder technology, Vol. 31, 2020, S. 3597-3609. - ISSN 0921-8831 beschrieben. Nachteilig an diesem Messverfahren ist, dass nur die Summe der Ladungen erfasst wird, nicht aber die jeweilige positive und negative Aufladung.

25

Nachteilig ist zudem, dass die elektrostatische Ladung nicht orts aufgelöst messbar ist.

Aus der WO 2014/106078 A2 sind Sonden zur Überwachung elektrostatischer Phänomene in schwierigen Umgebungen, wie beispielsweise in Wirbelschichtreaktoren, bekannt. Diese Sonden umfassen eine beschichtete oder unbeschichtete Statik-Sonde zur Messung des elektrischen Feldes und/oder des Ladungszustands der Partikel, eine oszillierende elektrische Feldsonde zur Messung des elektrischen Feldes, eine Sonde mit geteiltem elektrischem Feld zur Messung des elektrischen Feldes und eine Hochfrequenz-Antennensonde zum Aufspüren elektrostatischer Entladungen. Mittels einer modifizierten Oberfläche wird erreicht, dass auf die Elektrode auftreffende Partikel die triboelektrische Aufladung der Sonde vermindern.

In der US 6 049 382 A werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Charakterisierung von Sprays beschrieben, die aus kugelförmigen Partikeln bestehen. Eine Laserquelle erzeugt einen kollimierten Laserstrahl, der durch das zu charakterisierende Spray geführt wird. Der Laserstrahl fällt mit der x-Achse eines kartesischen Koordinatensystems zusammen, das sich in einer senkrecht zur Sprühachse verlaufenden Messebene befindet. 90°-Streuung, die von dem Spritzmaterial in einem kleinen Sondenvolumen erzeugt wird, das am Schnittpunkt des Laserstrahls und des Objektvolumens des Streuungsauffangmittels gebildet wird, wird erfasst. Zusätzliche Erfassungsmittel erfassen die Abschwächung des Laserstrahls, der die Messebene durchquert. Die optischen Systeme sind mit Fotodetektoren und Signalverarbeitungseinheiten gekoppelt, die in der Lage sind, elektrische Signale proportional zu den empfangenen Lichtintensitäten zu erzeugen. Eine Quereinrichtung bewegt den Sprühnebel in Richtung des Laserstrahls und senkrecht dazu, um nacheinander eine tomographische Aufzeichnung der Streu- und Dämpfungsaktivität in Punkten des Sprühnebels zu erhalten, die ein kartesisches Gitter innerhalb der Messebene bilden. Konzentrationsmessmittel sind mit den elektrischen Ausgangssignalen der Dämpfung und Streuung gekoppelt, um die Information über die Anzahldichte des Sprays in den Knoten des tomographischen Gittersystems zu gewinnen.

In der US 8 470 151 B2 wird ein mikrofluidischer Pumpansatz vorgestellt, der die Wanderwellen-Dielektrophorese (tw-DEP) von Mikropartikeln nutzt. Die Strömung

wird direkt in den mikrofluidischen Objekten erzeugt, indem elektromechanische Effekte in der Flüssigkeit durch Mikroelektroden induziert werden. Die fluidischen Antriebsmechanismen aufgrund der Partikel-Fluid- und Partikel-Partikel-Wechselwirkungen unter Wanderwellen-Dielektrophorese werden analysiert, und das induzierte Strömungsfeld wird aus numerischen Simulationen gewonnen.

In der EP 3 431 264 B1 ist ein 3D-Drucker beschrieben, der eine optische Bestimmungsvorrichtung aufweist, mittels der einen Parameter zur Charakterisierung der Strömungseigenschaften des die Prozesskammer durchströmenden Gasstroms eignet, bestimmt wird. Die optische Bestimmungsvorrichtung hat eine optische Messeinheit zum optischen Messen eines Messwerts innerhalb der Prozesskammer, wobei der Messwert in Beziehung mit dem Gasstrom steht. Eine Auswerteeinheit bestimmt aus dem Messwert den zumindest einen Parameter. Die Messwerte werden an unterschiedlichen Orten innerhalb der Prozesskammer gemessen. Dadurch der Partikelstrom beim Drucken gut gesteuert werden.

Im Paper von Großhans et al "Exploring the mechanism of inter-particle charge diffusion. In: The European physical journal: applied physics, Vol. 82, 2018, No. 1, Art. 11101 (9 8.), ISSN 1286-0042 wird ein numerisches mathematisches Modell zur interpartikulären Ladungsübertragung vorgestellt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren zum Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts von elektrischen Ladungen von Partikeln in einem Fluidstrom, mit den Schritten: (a) Leiten des Fluidstroms, der Partikel enthält, durch eine Fluidleitung, (b) orts aufgelöstes Bestimmen einer Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit, in einem Messbereich ohne elektrisches Messfeld, (c) Anlegen eines elektrischen Messfelds quer zur Strömungsrichtung im Messbereich, (d) orts aufgelöstes Bestimmen einer Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit im Messbereich und (e) Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts, der eine elektrostatische Aufladung der Partikel beschreibt, aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten.

Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Fluidstromladungsmessgerät mit (a) einer Fluidleitung, (b) einem Messfelderzeuger zum Erzeugen eines elektrischen Messfelds in einem Messbereich der Fluidleitung, (c) einem Partikelgeschwindigkeitsmesser, der ausgebildet ist zum automatischen Bestimmen einer orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeitsverteilung mittels Partikelbildvelozimetrie und (d) einer Auswerteeinheit, die ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten: (i) Messen einer orts aufgelösten Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit mittels der Partikelbildvelozimetrie-Messeinheit, ohne dass der Messfelderzeuger ein elektrisches Messfeld erzeugt, (ii) Erzeugen des elektrischen Messfelds mittels des Messfelderzeugers und (iii) Messen einer orts aufgelösten Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit mittels der Partikelbildvelozimetrie-Messeinheit und (iv) Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts, der eine elektrostatische Aufladung der Partikel beschreibt, aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten.

15

Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass orts aufgelöste Informationen über die Ladungsverteilung im Fluidstrom erhalten werden können. Anders bei Verfahren nach dem Stand der Technik ist es möglich, etwaig vorhandene Bereiche positiver Ladung und negativer Ladung zu erfassen. Bei Verfahren, die einen Faraday-Becher verwenden, wird lediglich die Gesamtladung bestimmt. Elektrostatische Felder, die zwischen Bereichen des Fluidstroms und/oder zwischen Partikeln ausgebildet sein können, können mit Verfahren nach dem Stand der Technik nicht erfasst werden, wohl aber mit dem erfindungsgemäßen Verfahren.

25 Günstig ist es, dass eine Explosionsgefahr in der Regel deutlich besser erfasst werden kann, da die Voraussetzungen für Zündfunken, nämlich ein zu großes elektrostatisches Feld, das unabhängig von dem etwaig anliegenden elektrischen Messfeld vorhanden ist, mit höherer Sicherheit bestimmbar ist.

30 Günstig ist zudem, dass der Ladungskennwert berührungsfrei gemessen werden kann. Es kommt daher zu keiner nennenswerten Beeinflussung des Fluidstroms und/oder der Partikel aufgrund der Messung. Insbesondere wird zur Messung des Ladungskennwerts vorzugsweise kein Teilstrom aus dem Fluidstrom ausgekoppelt.

Günstig ist es daher, wenn der Ladungskennwert partikelverlustfrei gemessen wird. In anderen Worten ist es nicht notwendig, dem Fluidstrom zumindest zeitweise Partikel zu entnehmen, um den Ladungskennwert zu bestimmen.

- 5 Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem elektrischen Messfeld vorzugsweise ein zumindest im Wesentlichen homogenes Messfeld verstanden. Unter einem zumindest im Wesentlichen homogenen Messfeld wird insbesondere verstanden, dass das Messfeld zwar inhomogen sein kann, dass diese Inhomogenität aber so schwach ausgebildet ist, dass sie die Messunsicherheit bei der Bestimmung des Ladungskennwerts um höchstens 5 % erhöht. Es ist aber auch möglich, ein inhomogenes Messfeld zu verwenden.

Unter dem orts aufgelösten Bestimmen der Partikelgeschwindigkeit wird insbesondere verstanden, dass die Partikelgeschwindigkeit in Abhängigkeit von zumindest einer Raumkoordinate bestimmt wird. Insbesondere verläuft diese Raumkoordinate quer zu einer Strömungsrichtung des Fluidstroms.

Die Partikelgeschwindigkeiten werden vorzugsweise zumindest bezüglich zweier Raumkoordinaten bestimmt. Insbesondere umfasst das Bestimmen der Partikelgeschwindigkeiten eine Partikelgeschwindigkeitskomponente quer zur Strömungsrichtung und/oder längs der Strömungsrichtung. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Partikelgeschwindigkeit in allen drei Raumkoordinaten bekannt ist. Es ist zudem möglich, nicht aber notwendig, dass die Partikelgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von zwei oder drei Raumkoordinaten bekannt sind, es reicht aber grundsätzlich aus, wenn die Partikelgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von einer Raumkoordinate bekannt sind.

Unter dem Merkmal, dass das Messfeld quer zur Strömungsrichtung angelegt wird, wird insbesondere verstanden, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass das elektrische Messfeld im mathematischen Sinne senkrecht zur Strömungsrichtung angelegt wird. Unter der Strömungsrichtung wird die makroskopische Strömungsrichtung des Fluidstroms verstanden. Ist die Fluidleitung im Messbereich, wie gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, prismatisch, handelt es sich also beispielsweise um ein nicht gekrümmtes Rohr, entspricht die Strömungsrichtung der Längsrichtung der Fluidleitung.

Unter dem Merkmal, dass zumindest ein Ladungskennwert bestimmt wird, wird insbesondere verstanden, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass genau ein Ladungskennwert ermittelt wird. Es kann sich bei diesem Ladungskennwert
5 beispielsweise um einen Maximalwert der Ladungsdichte handeln. Alternativ oder zusätzlich kann es sich um den Betrag des maximalen Gradienten handeln.

Unter dem Bestimmen der Partikelgeschwindigkeit wird insbesondere das Bestimmen von zeitlichen Mittelwerten verstanden. Die zeitlichen Mittelwerte beziehen sich
10 vorzugsweise auf eine Mittlungszeit zwischen einer Sekunde und einer Minute.

Unter einem Durchmesser gesprochen wird der Sauterdurchmesser nach DIN ISO 9276 verstanden.

15 Besonders günstig ist es aber, wenn das Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts das Bestimmen einer Vielzahl an Ladungskennwerten ist. Insbesondere handelt es sich bei den Ladungskennwerten um Funktionswerte einer orts aufgelösten Ladungsverteilung. Die Ladungsverteilung ordnet zumindest einer Raumkoordinate quer zur Strömungsrichtung die Ladungsdichte zu oder eine Größe, aus der die
20 Ladungsdichte bestimmt werden kann. Die Ladungsdichte wird angegeben in Ladung pro Volumeneinheit oder Ladung pro Flächeneinheit.

Alternativ oder zusätzlich ist das Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts ein Bestimmen zumindest eines Ladungsgradienten. Der Ladungsgradient ergibt sich
25 durch Ableitung der Ladungsverteilung. Aus dem Ladungsgradienten kann das lokal vorliegende elektrische Feld bestimmt werden, das aufgrund der elektrostatischen Aufladung der Partikel entsteht.

Bei dem Fluid handelt es sich vorzugsweise um ein Gas, insbesondere um Luft.
30 Vorzugsweise ist der partikelhaltige Fluidstrom durch elektrischen Funken zündbar. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass es aufgrund eines Zündfunken zu einer chemischen Reaktion zwischen den Partikeln und zumindest einem Bestandteil des Fluidstroms oder zwischen Bestandteilen des Fluidstroms kommen kann. In diesem Fall ist es besonders wichtig, sicherzustellen, dass die elektrostatische Aufladung
35 nicht zu stark wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird das Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit mittels Partikelbildvelozimetrie durchgeführt. Alternativ oder zusätzlich wird das Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit mittels
5 Laser-Doppler-Anemometrie durchgeführt. Alternativ oder zusätzlich wird das orts- aufgelöste Bestimmen der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit vorzugsweise mittels Partikelbildvelozimetrie und/oder mittels Laser-Doppler-Anemometrie durchgeführt. Mit diesen Messverfahren sind vergleichsweise hohe Messgeschwindigkeiten, Orts- auflösungen und geringe Messunsicherheiten erreichbar.

10

Das orts aufgelöste Bestimmen umfasst die folgenden Schritte: (a) der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit: (i) Aufnehmen eines ersten Messfeldlos-Bilds einer Vielzahl an Partikeln zu einem ersten Zeitpunkt, (ii) Aufnehmen eines zweiten Messfeldlos- Bilds der Partikel zu einem zweiten Zeitpunkt, der um einen Zeitversatz später liegt,
15 (iii) Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit aus den Messfeldlos-Bildern und (b) der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit: (i) Aufnehmen eines ersten Mitfeld-Bilds einer Vielzahl an Partikeln zu einem dritten Zeitpunkt, (ii) Aufnehmen eines zweiten Bild der Partikel zu einem vierten Zeitpunkt, der um einen, insbesondere den gleichen, Zeitversatz später liegt, und (iii) Bestimmen der Mitfeld-Partikelge-
20 schwindigkeit aus den Mitfeld-Bildern.

Beim Aufnehmen der Bilder werden die Partikel im Fluidstrom vorzugsweise mit einem Lichtblatt bestrahlt, das vorzugsweise mittels eines Lasers erzeugt wird. Auf diese Weise werden die Positionen derjenigen Partikel bestimmt, die vom Lichtblatt
25 erfasst werden. Das Aufnehmen der Bilder erfolgt vorzugsweise mit einer Kamera, die in optischer Achse quer zur Strömungsrichtung verläuft. Damit verläuft die optische Achse vorzugsweise zumindest im Wesentlichen senkrecht zum Lichtblatt.

Vorzugsweise beträgt ein Winkel β_H zwischen dem Lichtblatt und einer Horizontalen
30 höchstens 22° , insbesondere höchstens 15° . In diesem Fall ist die Gravitationskraft vernachlässigbar.

Günstig ist es, wenn der Zeitversatz höchstens drei Sekunden, insbesondere höchstens eine Sekunde, vorzugsweise höchstens 0,5 Sekunden beträgt. Alternativ oder
35 zusätzlich ist es günstig, wenn der Zeitversatz so gewählt ist, dass sich die Partikel

zwischen dem ersten Zeitpunkt und dem zweiten Zeitpunkt um höchstens 30 Millimeter, insbesondere höchstens 15 Millimeter, fortbewegt haben. Hierbei handelt es sich jeweils um Mittelwerte.

- 5 Es ist möglich, dass die Zahl der Partikel, mittels derer die Mitfeld-
Partikelgeschwindigkeit bestimmt wird, sich von der Zahl der Partikel, mittels derer
die Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit und die Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit
bestimmt wird, um höchstens 30 % unterscheidet. In der Regel werden die
Messzeitlos-Partikelgeschwindigkeit und die Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit aber
10 zumindest überwiegend an unterschiedlichen Partikeln bestimmt.

Günstig ist es, wenn das orts aufgelöste Bestimmen der Messzeitlos-Partikelge-
schwindigkeit die folgenden Schritte aufweist: (i) in einem ersten Zeitraum Aufneh-
men eines Messfeldlos-Bilds einer Vielzahl von Partikeln, die von einem Lichtblatt
15 bestrahlt werden, wobei sich das Lichtblatt entlang der Strömungsrichtung des Fluid-
stroms erstreckt, (ii) im ersten Zeitraum Verändern einer Lichteigenschaft, ins-
besondere einer Helligkeit oder einer Farbe, des Lichtblatts und (iii) Bestimmen der
Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit aus dem Messfeldlos-Bild. Alternativ oder
zusätzlich weist das orts aufgelöste Bestimmen der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit
20 die folgenden Schritte aufweist: (i) in einem zweiten Zeitraum Aufnehmen eines
zweiten Mitfeld-Bilds einer Vielzahl von Partikeln, die vom Lichtblatt bestrahlt werden,
(ii) im zweiten Zeitraum Verändern einer Lichteigenschaft, insbesondere einer
Helligkeit oder einer Farbe, des Lichtblatts und (iii) Bestimmen der Mitfeld-
Partikelgeschwindigkeit aus dem Mitfeld-Bild.

25

Um den Einfluss des Anlegens des elektrischen Messfelds vom Einfluss von
Turbulenzen auf die Partikel unterscheiden zu können, umfasst das Verfahren
vorzugsweise die Schritte: (a) Hinzufügen von Tracerpartikeln zum Fluidstrom,
(b) Bestimmen einer Luftgeschwindigkeit des Fluidstroms mittels Partikelbildvelozi-
30 metrie und (c) Bestimmen des Ladungskennwerts aus der orts aufgelösten Luftge-
schwindigkeit, der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit und der Mitfeld-Partikel-
geschwindigkeit (mit und ohne elektrischem Feld). Diese Schritte werden vorzugs-
weise zumindest dann durchgeführt, wenn sich die Reynolds-Zahl um mehr als 10%,
insbesondere zumindest 20%, geändert hat.

35

Vorzugsweise wird das Verfahren an Partikeln durchgeführt, deren Durchmesser zumindest 10 Mikrometer beträgt. Vorzugsweise beträgt deren Durchmesser höchstens 500 Mikrometer. Ein Durchmesser der Tracerpartikel ist vorzugsweise kleiner als der Durchmesser der Partikel, insbesondere beträgt er vorzugsweise höchstens ein Fünftel des Durchmessers der Partikel. Günstig ist es, wenn Tracerpartikel einen Durchmesser von zumindest 1 Mikrometer und/oder höchstens 10 Mikrometer haben.

Günstig ist es, wenn der zumindest eine Ladungskennwert eine ortsaufgelöste Ladungsverteilung ist.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren den Schritt eines Ausgebens einer Warnmeldung, wenn der zumindest eine Ladungskennwert außerhalb eines Soll-Ladungskennwertintervalls liegt. Beispielsweise handelt es sich bei dem Soll-Ladungskennwertintervall um einen Intervall, in dem ein Maximum der Ladungsverteilung liegt. Liegt zumindest einer der Ladungskennwerte außerhalb des Soll-Ladungskennwertintervalls, so deutet das darauf hin, dass die elektrostatische Aufladung der Partikel im Fluidstrom zu groß geworden ist.

Vorzugsweise erfolgt das Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten, die anhand der Formel

$$Q(y, z) = \frac{\pi \rho C_d r^2}{2E \cdot \cos \beta} \left[|\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta, E}| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta, E}) - |\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta) \right] \text{ erfolgt, mit}$$

- 5 ρ der Luftdichte,
 β dem Winkel zwischen den elektrischen Messfeldlinien und dem Lichtblatt,
 C_d dem Strömungswiderstandskoeffizienten,
 r dem Sauterdurchmesser nach DIN ISO 9276 der Partikel,
 \bar{u}_β der Geschwindigkeitskomponente des Fluidstroms im Lichtblatt quer zur
10 Strömungsrichtung,
 \bar{v}_β der Geschwindigkeitskomponente der Partikel im Lichtblatt quer zur Strömungsrichtung ohne elektrisches Messfeld und
 $\bar{v}_{\beta, E}$ der Geschwindigkeitskomponente der Partikel im Lichtblatt quer zur Strömungsrichtung bei angelegtem elektrischem Messfeld.

- 15 Die Herleitung dieser Formel wird weiter unten angegeben. Unter dem Merkmal, dass der zumindest eine Ladungskennwert anhand der angegebenen Formel bestimmt wird, wird insbesondere verstanden, dass eine Rechnung durchgeführt wird, deren Ergebnis um maximal 10 %, insbesondere maximal 5 %, von dem Ergebnis
20 abweicht, was mit der angegebenen Formel erreicht worden wäre. In anderen Worten ist es unbeachtlich, ob die Formel direkt bei der Berechnung implementiert, das heißt verwendet wird. Maßgeblich ist lediglich, dass die Messergebnisse so verrechnet werden, dass sie zumindest im Wesentlichen dem Ergebnis entsprechen, das anhand der angegebenen Formel erhalten wird.

- 25 Alternativ oder zusätzlich wird das Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten anhand der Formel

$$Q(y, z) = \pi \rho C_d r^2 \left| \bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta + \bar{v}_{\beta, E} \right| \frac{\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta + \bar{v}_{\beta, E}}{2E \cdot \cos \beta} \text{ durchgeführt.}$$

- 30 Vorzugsweise wird das Verfahren an einem turbulenten Fluidstrom durchgeführt. An turbulenten Fluidströmen ist bislang keine aussagekräftige Messung eines Ladungskennwerts möglich.

Günstig ist es, wenn der Fluidstrom zumindest im Wesentlichen vertikal verläuft. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass ein Winkel zwischen dem Vektor der Strömungsgeschwindigkeit und der Vertikalen höchstens 25° , insbesondere höchstens 15° , beträgt.

5

Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte (a) Verändern einer Lage des Lichtblatts relativ zur Fluidleitung und (b) Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten. Günstig ist es, wenn der zumindest eine Ladungskennwert für eine Vielzahl an unterschiedlichen Lagen des Lichtblatts erfasst wird.

10

Ein erfindungsgemäßes Fluidstromladungsmessgerät ist vorzugsweise ausgebildet zum automatischen Abgeben eines Warnsignals, wenn der Ladungskennwert außerhalb des Soll-Ladungskennwertintervalls liegt. Das Abgeben eines Warnsignals kann beispielsweise das Abgeben eines akustischen, optischen, elektrischen oder elektromagnetischen Signals sein. Vorzugsweise ist das Warnsignal ein elektronisches Signal, das die Nachricht kodiert, dass der Ladungskennwert außerhalb des Soll-Ladungskennwertintervalls liegt. Günstig ist es, wenn das Fluidstromladungsmessgerät ausgebildet ist zum Abgeben dieser Warnmeldung über ein Bus-System.

15

20

Erfindungsgemäß ist zudem eine Pneumatikfördervorrichtung zum Transportieren von Partikeln mittels eines Fluidstroms mit (a) einem Fluidstromerzeuger, insbesondere einem Gebläse oder einem Kompressor, zum Erzeugen des Fluidstroms, insbesondere eines Gasstroms, (b) einem erfindungsgemäßen Fluidstromladungsmessgerät. Vorzugsweise besitzt die Pneumatikfördervorrichtung eine Partikelzuführung zum Zuführen von Partikeln zum Fluidstrom. Bei einer derartigen Pneumatikfördervorrichtung führt das erfindungsgemäße Fluidstromladungsmessgerät dazu, dass Schäden durch zu große elektrostatische Ladungen der Partikel stark vermindert werden können.

25

30

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

5 Figur 1 in der Teilfigur 1a eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemä-
 ßen Pneumatikfördervorrichtung mit einem erfindungsgemäßen Flu-
 idstromladungsgerät zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfah-
 rens, in d Teilfigur 1b einen Querschnitt A-A gemäß Figur 1 und in Teilfigur
 1c eine Vergrößerung des Bereichs B gemäß Figur 1a.

10 Figur 1a zeigt eine erfindungsgemäße Pneumatikfördervorrichtung 10 mit einem
 Fluidstromerzeuger 12 in Form eines Gebläses zum Erzeugen eines Fluidstroms,
 einer Partikelzuführung 14 zum Zuführen von schematisch eingezeichneten Partikeln
 16.i und einem erfindungsgemäßen Fluidstromladungsmessgerät 18.

15 Der Fluidstromerzeuger 12 ist im vorliegenden Fall ein Gebläse zum Erzeugen eines
 Fluidstroms in Form eines Druckluftstroms mit einem Druck von beispielsweise
 $p = 300 \text{ kPa}$. Bei den Partikeln 16.i kann es sich beispielsweise um Lebensmittel-
 partikel handeln, beispielsweise Tee, Kaffee oder Mehl.

20 Der Fluidstrom strömt durch eine Fluidleitung 20. Es ist günstig, wenn die Fluid-
 leitung 20 einen Turbulenzbildungsabschnitt 22 aufweist, dessen Länge L_{22}
 vorzugsweise zumindest 2 Meter, insbesondere zumindest 3 Meter beträgt. Vorzugs-
 weise beträgt die Länge L_{22} höchstens 100 Meter. Im Turbulenzbildungsabschnitt
25 22 bildet sich eine turbulente Strömung des Fluidstroms, die sich im in Strömungs-
 richtung S hinteren Abschnitt hinsichtlich ihres Turbulenzmaßes nicht mehr ändert.
 Günstig ist es, wenn die Länge L_{22} zumindest das Zehnfache eines Durchmessers
 der Fluidleitung 20 beträgt.

 In Strömungsrichtung S hinter dem Turbulenzbildungsabschnitt 22 ist das Fluid-
30 stromladungsmessgerät 18 angeordnet. In Strömungsrichtung S hinter dem Fluid-
 stromladungsmessgerät 18 ist schematisch eine Partikelsenke 24 angeordnet. Bei
 der Partikelsenke 24 kann es sich beispielsweise um ein Lager für die Partikel 16.i
 handeln. Alternativ kann es sich bei der Partikelsenke aber auch um eine Maschine
 zum Weiterverarbeiten der Partikel, beispielsweise zum Verpacken, Umformen, Pres-
35 sen oder dergleichen handeln.

Es ist günstig und stellt unabhängig von den ansonsten für die Ausführungsform genannten Merkmalen eine bevorzugte Ausführungsform dar, dass die Fluidleitung 20 im Turbulenzbildungsabschnitt 22 und einem Messabschnitt 26 gleiche Querschnitte hat. Es handelt sich hierbei um eine Gleichheit im technischen Sinne, das heißt, dass es möglich ist, dass sich die Querschnitte und/oder die Querschnittsformen der Fluidleitung 20 ändern können, dass diese Änderung jedoch so klein ist, dass sie Messunsicherheit bei der Messung eines zu messenden Ladungskennwerts K zu einer Messunsicherheit von höchstens 10 % führt.

10

Figur 1b zeigt einen Querschnitt A – A gemäß Figur 1a. Es ist zu erkennen, dass das Fluidstrom-Ladungsmessgerät 18 einen Messfelderzeuger 28 aufweist. Der Messfelderzeuger 28 umfasst eine Spannungsquelle 30 sowie Elektroden 32.1, 32.2. Zwischen den Elektroden 32.1, 32.2 bildet sich ein elektrisches Feld E, dass in guter Näherung als homogen betrachtet werden kann. Der Messfelderzeuger 28 ist eingerichtet zum Erzeugen eines Felds von zumindest $E = 1 \text{ kV/m}$. Vorzugsweise ist das elektrische Feld kleiner als $E = 2 \text{ MV/m}$.

Das elektrische Feld liegt in einem Messbereich M an. Das Fluidstromladungsmessgerät 18 umfasst zudem einen Partikelgeschwindigkeitsmesser 34, der im vorliegenden Fall durch eine Partikelbildvelozimetrie-Messeinheit gebildet ist. Die Partikelbildvelozimetrie-Messeinheit 34 umfasst einen Laser 36 (siehe Figur 1b) zum Erzeugen eines Lichtblatts 38 sowie eine Kamera 40. Mittels einer Auswerteeinheit 40 werden von der Kamera 40 aufgenommene Bilder analysiert und daraus eine Partikelgeschwindigkeitsverteilung $v(y,z)$ bestimmt. Durch Mitteln über eine Mittelungszeit τ_M von beispielsweise $\tau_M = 60$ Sekunden wird eine gemittelte Partikelgeschwindigkeitsverteilung $\bar{v}(y,z)$.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren wird dadurch durchgeführt, dass zunächst die Partikelgeschwindigkeit ortsaufgelöst bestimmt wird, sodass die Partikelgeschwindigkeitsverteilung $v(y,z)$ erhalten wird. Dazu werden beispielsweise zwei Bilder, die Messfeldlos-Bilder genannt werden, da kein elektrisches Feld E anliegt, aufgenommen. Die beiden Messfeldlos-Bilder werden nacheinander zu einem ersten Zeitpunkt t_1 und t_2 aufgenommen. Die beiden Zeitpunkte sind um einen Zeitversatz $\tau_V = t_2 - t_1$ voneinander zeitlich beabstandet.

35

Nach einer Wartezeit τ_W nach dem zweiten Zeitpunkt t_2 steuert die Auswerteeinheit 42 die Spannungsquelle 30 so an, dass eine Spannung U_{38} zwischen den Elektroden 32.1, 32.2 angelegt wird. Die Wartezeit τ_W ist möglichst klein und beträgt im Idealfall
5 höchstens 500 Millisekunden.

Es werden dann von der Kamera 40 zwei Mitfeld-Bilder zu einem dritten Zeitpunkt t_3 bzw. einem vierten Zeitpunkt t_4 aufgenommen. Aus diesen Bildern wird eine Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit v_E bestimmt. Es sei darauf hingewiesen, dass es unbeacht-
10 lich ist, ob zuerst die Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit v_E bestimmt wird und danach die Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit v oder umgekehrt.

Alternativ kann die Partikelgeschwindigkeitsverteilung $v(y,z)$ auch mittels Laser-Doppler-Anemometrie bestimmt werden. Wiederum alternativ ist es möglich, dass die
15 Partikelgeschwindigkeitsverteilung $v(y,z)$ mittels Einbild-Partikelbildvelozimetrie bestimmt wird. Bei diesem Verfahren wird eine Lichteigenschaft, beispielsweise die Helligkeit oder die Farbe, des Lichtblatts 38 während der Aufnahme des jeweiligen Bilds geändert. Auf dem jeweiligen Bild, also dem Messfeldlos-Bild und dem Mitfeld-
Bild sind dann Trajektorien der Partikel 16.i zu sehen, wobei die Änderung der Licht-
20 eigenschaft die Änderung der Zeit kodiert.

Figur 1c zeigt schematisch das Partikel 16.1, das zum Zeitpunkt t_1 an der Position x_1 ist. Die x-Koordinate wird in Strömungsrichtung S gemessen, die y- und die z-Koordinate senkrecht dazu, sodass sich ein Rechtssystem ergibt.
25

Zum Zeitpunkt t_2 ergibt sich die Position x_2 , wenn kein elektrisches Feld anliegt, das heißt, wenn $E = 0$ gilt. Liegt das elektrische Feld an, ergibt sich die Position $x_{2,E}$.

Um die Strömungsverhältnisse des Fluidstroms zu charakterisieren, werden in einem
30 Vorversuch ausschließlich Tracerpartikel, beispielsweise mittels der Partikelzuführung 14 in den Fluidstrom eingebracht. Die Tracerpartikel sind deutlich kleiner als die Partikel 16.i, deren elektrostatische Aufladung mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmt werden soll. Es wird angenommen, dass die Tracerpartikel so leicht sind, dass eine Tracerpartikel-Geschwindigkeitsverteilung $u(y,z)$ in guter Nähe-

zung bei der Geschwindigkeitsverteilung der Fluidvolumina des Fluidstroms entspricht. Es sei darauf hingewiesen, dass die Geschwindigkeiten der Tracerpartikel mit u bezeichnet werden, die Geschwindigkeiten der Partikel 16.i jedoch mit v .

- 5 Aus einer Mehrzahl an Messungen mit den Tracerpartikeln werden jeweils jeweilige Trefferpartikelgeschwindigkeitsverteilungen $u_{j(y,z)}$ erhalten. Durch Mitteln einer Mittelungszeit T wird eine durchschnittliche orts aufgelöste Tracerpartikelgeschwindigkeit $\bar{u}(y,z)$ erhalten. Querstrich signalisiert den zeitlichen Mittelwert.
- 10 Ohne elektrisches Feld wirkt die aerodynamische Kraft auf die Partikel 16.i:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_o \pi r^2 |\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta) \quad (1)$$

Wird das elektrische Feld angelegt, so ergibt sich:

$$F_{d,E} = \frac{1}{2} \rho C_D \pi r^2 |\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta,E}| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta,E}) \quad (2)$$

- 15 Auf die Partikel wirkt die elektrostatische Kraft:

$$F_e = QE \cos \beta \quad (3)$$

Ein Winkel β_H zwischen dem Lichtblatt 38 und einer Horizontalen H beträgt im vorliegenden Fall $\beta_H = 22^\circ$. Die Gravitationskraft ist daher vernachlässigbar.

Durch Bilden der Differenz aus Gleichungen (1) und (2) ergibt sich

$$Q(y,z) = \frac{\pi \rho C_d r^2}{2E \cdot \cos \beta} [|\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta,E}| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta,E}) - |\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta)] \quad (4)$$

20

Die geraden Klammern bezeichnen den Absolutbetrag. Es gibt sich so die Ladungsverteilung $Q(y,z)$. Diese Ladungsverteilung hat einen Maximalwert Q_{\max} , der einen Ladungskennwert K darstellt. Die Ladungsverteilung $Q(y,z)$ hat zudem ein Gradientenfeld $\nabla Q(y,z)$. Dieses Gradientenfeld hat einen Maximalgradienten, was der Gradienten maximalen Betrages ist. Auch dieser stellt einen Ladungskennwert K dar.

25

Auch alle einzelnen Funktionswerte der Ladungsverteilung $Q(y,z)$ stellen Ladungskennwerte K dar.

Das Projekt, das zu dieser Patentanmeldung geführt hat, wurde vom Europäischen Forschungsrat unter der Nr. 947606 im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms European Union's Horizon 2020 gefördert.

Bezugszeichenliste

10	Pneumatikfördervorrichtung	S	Strömungsrichtung
12	Fluidstromerzeuger	T	Mittlungszeit
14	Partikelzuführung	t	Zeit
16	Partikel	U_{38}	Spannung
18	Fluidstromladungsmessgerät	$u(y,z)$	Fluidgeschwindigkeitsverteilung
20	Fluidleitung	$\bar{u}(y,z)$	zeitlich gemittelte Fluidgeschwindigkeitsverteilung
22	Turbulenzbildungsabschnitt		
24	Partikelsenke	$v(y,z)$	Partikelgeschwindigkeitsverteilung
26	Messabschnitt	$\bar{v}(y,z)$	zeitlich gemittelte Partikelgeschwindigkeitsverteilung
28	Messfelderzeuger		
30	Spannungsquelle	v	Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit
32	Elektrode	v_E	Partikelgeschwindigkeit
34	Partikelgeschwindigkeitsmesser		
36	Laser		
38	Lichtblatt		
40	Kamera		
42	Auswerteeinheit		
τ_W	Wartezeit		
τ_v	Zeitversatz		
$\nabla Q(y,z)$	Gradientenfeld		
E	elektrisches Feld		
H	Horizontal		
i	Laufindex		
K	Ladungskennwert		
L_{22}	Länge		
M	Messbereich		
p	Fluiddruck		
$Q(y,z)$	Ladungsverteilung		
Q_{\max}	Maximalwert der Ladungsverteilung		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts (K) von elektrischen Ladungen von Partikeln (16) in einem Fluidstrom, mit den Schritten:
 - 5 (a) Leiten des Fluidstroms, der Partikel (16) enthält, durch eine Fluidleitung (20),
 - (b) orts aufgelöstes Bestimmen einer Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit (v), in einem Messbereich ohne elektrisches Messfeld,
 - (c) Anlegen eines elektrischen Messfelds quer zur Strömungsrichtung (S) im Messbereich,
 - 10 (d) orts aufgelöstes Bestimmen einer Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) im Messbereich und
 - (e) Bestimmen des zumindest einen Ladungskennwerts (K), der eine elektrostatische Aufladung der Partikel (16) beschreibt, aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten.
 - 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das orts aufgelöste Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit (v) und/oder der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) mittels Partikelbildvelozimetrie erfolgt.- 20
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das orts aufgelöste Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit (v) und Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) mittels Laser-Doppler-Anemometrie erfolgt.- 25

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- (a) das orts aufgelöste Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit die folgenden Schritte aufweist:
- 5 (i) Aufnehmen eines ersten Messfeldlos-Bilds einer Vielzahl an Partikeln (16) zu einem ersten Zeitpunkt (t_1),
- (ii) Aufnehmen eines zweiten Messfeldlos-Bilds der Partikel zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2), der um einen Zeitversatz (τ_v) später liegt,
- (iii) Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit aus den Messfeldlos-Bildern,
- 10 (b) das orts aufgelöste Bestimmen der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) die folgenden Schritte aufweist:
- (i) Aufnehmen eines ersten Mitfeld-Bilds einer Vielzahl an Partikeln (16) zu einem dritten Zeitpunkt (t_3),
- 15 (ii) Aufnehmen eines zweiten Bild der Partikel (16) zu einem vierten Zeitpunkt, der um einen, insbesondere den gleichen, Zeitversatz (τ_v) später liegt, und
- (iii) Bestimmen der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) aus den Mitfeld-Bildern.

20

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- (a) das orts aufgelöste Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit die folgenden Schritte aufweist:
- 5 (i) in einem ersten Zeitraum Aufnehmen eines Messfeldlos-Bilds einer Vielzahl von Partikeln (16), die von einem Lichtblatt (38) bestrahlt werden, wobei sich das Lichtblatt entlang der Strömungsrichtung (S) des Fluidstroms erstreckt,
- (ii) im ersten Zeitraum Verändern einer Lichteigenschaft, insbesondere einer Helligkeit oder einer Farbe, des Lichtblatts (38) und
- 10 (iii) Bestimmen der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit aus dem Messfeldlos-Bild, und/oder
- (b) das orts aufgelöste Bestimmen der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) die folgenden Schritte aufweist:
- 15 (i) in einem zweiten Zeitraum Aufnehmen eines zweiten Mitfeld-Bilds einer Vielzahl von Partikeln (16), die vom Lichtblatt (38) bestrahlt werden,
- (ii) im zweiten Zeitraum Verändern einer Lichteigenschaft, insbesondere einer Helligkeit oder einer Farbe, des Lichtblatts (38) und
- 20 (iii) Bestimmen der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) aus dem Mitfeld-Bild.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Schritte:
- 25 (a) Hinzufügen von Tracerpartikeln zum Fluidstrom,
- (b) Bestimmen einer Luftgeschwindigkeit des Fluidstroms mittels Partikelbild-velozimetrie und
- (c) Bestimmen des Ladungskennwerts (K) aus der orts aufgelösten Luftgeschwindigkeit, der Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit und der Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E).
- 30
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Ladungskennwert (K) eine orts aufgelöste Ladungsverteilung ($Q(y,z)$) ist.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Schritte: Ausgeben einer Warnmeldung, wenn der zumindest eine Ladungskennwert (K) außerhalb eines Soll-Ladungskennwertintervalls liegt.
- 5 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts (K) aus den ortsaufgelösten Partikelgeschwindigkeiten ein Bestimmen der ortsaufgelösten Ladungsverteilung (Q(y,z)) anhand der folgenden Formel ist:
- $$Q(y, z) = \frac{\pi \rho C_d r^2}{2E \cdot \cos \beta} \left[|\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta,E}| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_{\beta,E}) - |\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta| (\bar{u}_\beta - \bar{v}_\beta) \right] \text{ erfolgt, mit}$$
- 10 ρ der Luftdichte,
 β dem Winkel zwischen den elektrischen Messfeldlinien und dem Lichtblatt (38),
 C_d dem Strömungswiderstandskoeffizienten,
 r dem Sauterdurchmesser nach DIN ISO 9276 der Partikel (16),
- 15 \bar{u}_β der Geschwindigkeitskomponente des Fluidstroms im Lichtblatt (38) quer zur Strömungsrichtung (S),
 \bar{v}_β der Geschwindigkeitskomponente der Partikel (16) im Lichtblatt (38) quer zur Strömungsrichtung (S) ohne elektrisches Messfeld und
 $\bar{v}_{\beta,E}$ der Geschwindigkeitskomponente der Partikel (16) im Lichtblatt (38) quer
- 20 zur Strömungsrichtung (S) bei angelegtem elektrischem Messfeld.

10. Fluidstromladungsmessgerät (18) mit
- (a) einer Fluidleitung (20),
 - (b) einem Messfelderzeuger (28) zum Erzeugen eines elektrischen Messfelds in einem Messbereich der Fluidleitung (20),
 - 5 (c) einem Partikelgeschwindigkeitsmesser, der ausgebildet ist zum automatischen Bestimmen einer orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeitsverteilung mittels Partikelbildvelozimetrie und
 - (d) einer Auswerteeinheit (42), die ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:
- 10 (i) Messen einer orts aufgelösten Messfeldlos-Partikelgeschwindigkeit mittels der Partikelbildvelozimetrie-Messeinheit, ohne dass der Messfelderzeuger (28) ein elektrisches Messfeld erzeugt,
 - (ii) Erzeugen des elektrischen Messfelds mittels des Messfelderzeugers (28) und
 - 15 (iii) Messen einer orts aufgelösten Mitfeld-Partikelgeschwindigkeit (v_E) mittels der Partikelbildvelozimetrie-Messeinheit und
 - (iv) Bestimmen zumindest eines Ladungskennwerts (K), der eine elektrostatische Aufladung der Partikel (16) beschreibt, aus den orts aufgelösten Partikelgeschwindigkeiten.
- 20
11. Fluidstromladungsmessgerät (18) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass es ausgebildet ist zum automatischen Abgeben eines Warnsignals, wenn der Ladungskennwert (K) außerhalb des Soll-Ladungskennwertintervalls liegt.
- 25
12. Pneumatikfördervorrichtung (10) zum Transportieren von Partikeln (16) in einem Fluidstrom, mit
- (a) einem Fluidstromerzeuger, insbesondere einem Gebläse oder einem Kompressor, zum Erzeugen des Fluidstroms,
 - (b) einer Partikelzuführung zum Zuführen von Partikeln (16) zum Fluidstrom und
 - 30 (c) einem Fluidstromladungsmessgerät (18) nach einem der Ansprüche 10 bis 11.

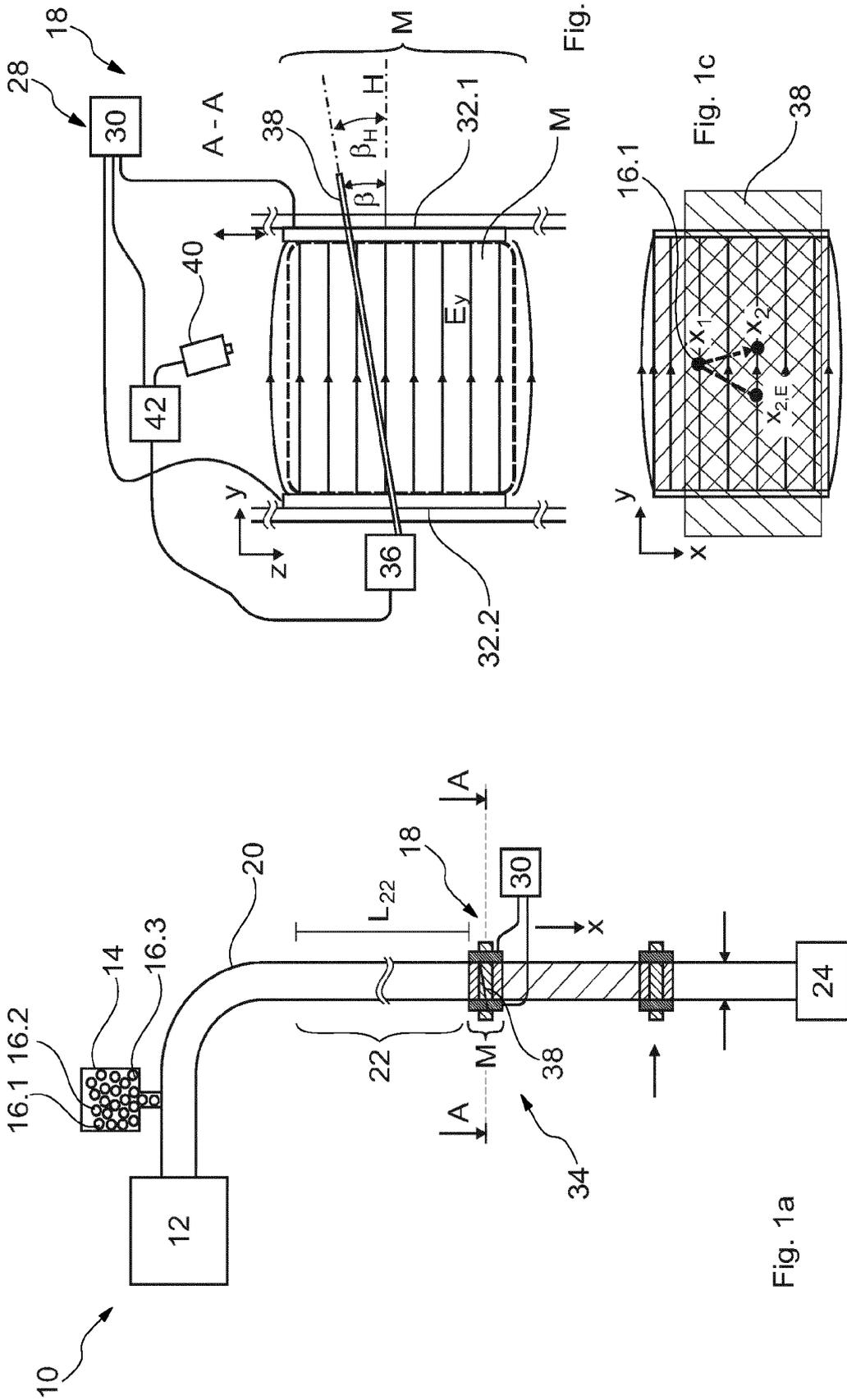


Fig. 1

Fig. 1a

Fig. 1b

Fig. 1c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/050386**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER***G01P 5/20*(2006.01); *G01N 15/10*(2006.01); *G01N 15/14*(2006.01); *G01N 15/00*(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01P; G01N; A47L; G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021005396 A1 (TOTAL SE [FR]) 14 January 2021 (2021-01-14) pages 3-5, 11, and 17; figures 4A, 5A	1-12
A	JP 2015102386 A (KAO CORP) 04 June 2015 (2015-06-04) paragraphs [0012], [0017], [0027]	3

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 April 2022

Date of mailing of the international search report

19 April 2022

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Kramer, Joanne

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/050386

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2021005396	A1	14 January 2021	BR	112022000097	A2	15 February 2022
				WO	2021005396	A1	14 January 2021
JP	2015102386	A	04 June 2015	JP	6313959	B2	18 April 2018
				JP	2015102386	A	04 June 2015

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/050386

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01P5/20 G01N15/10 G01N15/14 ADD. G01N15/00				
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC				
B. RECHERCHIERTE GEBIETE				
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01P G01N A47L G01S				
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen				
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal				
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN				
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.		
X	WO 2021/005396 A1 (TOTAL SE [FR]) 14. Januar 2021 (2021-01-14) Seiten 3-5, 11, und 17; Abbildungen 4A, 5A -----	1-12		
A	JP 2015 102386 A (KAO CORP) 4. Juni 2015 (2015-06-04) Absätze [0012], [0017], [0027] -----	3		
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist </td> </tr> </table>			* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist			
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts		
7. April 2022		19/04/2022		
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Kramer, Joanne		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/050386

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2021005396 A1	14-01-2021	BR 112022000097 A2	15-02-2022
		WO 2021005396 A1	14-01-2021

JP 2015102386 A	04-06-2015	JP 6313959 B2	18-04-2018
		JP 2015102386 A	04-06-2015
