

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 962 573**

51 Int. Cl.:

G01N 1/22 (2006.01)

G01N 15/14 (2006.01)

B01D 45/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.08.2019** **PCT/EP2019/072764**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2020** **WO20043688**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2019** **E 19756209 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2023** **EP 3844475**

54 Título: **Sistema de medición para el examen de partículas de aerosol concentradas en la fase gaseosa**

30 Prioridad:

28.08.2018 EP 18191098

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.03.2024

73 Titular/es:

SWISENS AG (100.0%)
Meierhofstrasse 5a
6032 Emmen, CH

72 Inventor/es:

ROOS LAUNCHBURY, DAVID;
WASER, ROGER;
NIEDERBERGER, ERNY;
ABT, RETO y
BURCH, PHILIPP

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 962 573 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de medición para el examen de partículas de aerosol concentradas en la fase gaseosa

La presente invención se refiere a un sistema de medición y a un procedimiento para el examen de partículas de aerosol (3) mayores concentradas de un aerosol (2) en fase gaseosa, así como al uso del sistema de medición y del procedimiento.

En nuestra sociedad, la aparición de la rinitis alérgica, también conocida como alergia al polen o fiebre del heno, aumenta constantemente y el número de afectados aumenta en todo el mundo. En Suiza, actualmente se considera que entre el 15 y el 20 % de la población es alérgica al polen. No solo esto representa una fracción considerable de los costes sanitarios, sino que tampoco se pueden descuidar los costes económicos.

Para poder proporcionar la información adecuada sobre la polinización a las personas alérgicas al polen en Europa, es necesario poder distinguir entre 10 y 20 tipos diferentes de polen. Es muy importante que tanto una determinación cualitativa, es decir, el tipo de polen, como una determinación cuantitativa, es decir, el número de partículas de polen por unidad volumétrica y, por tanto, la concentración de polen, se puedan realizar de forma fiable.

Un método más antiguo, pero todavía muy utilizado, para la medición del polen se basa en las trampas de polen Hirst. En estas se montan tiras adhesivas a las que se adhiere el polen del aire. El polen adherido a las tiras adhesivas recogido de este modo es examinado periódicamente en el laboratorio e identificado a continuación por un especialista cualificado, por ejemplo manualmente mediante microscopía óptica. Por tanto, los resultados de la determinación cualitativa y cuantitativa del polen se presentan generalmente con algunos días de retraso. Además, el esfuerzo es considerable y costoso, aunque se parte de una incertidumbre de medición de hasta 25 %.

Por este motivo, por ejemplo en Suiza, debido a la metodología de medición actualmente disponible, los datos sobre el polen solo están disponibles con un retraso de aproximadamente una semana, a pesar de una inexactitud nada despreciable. Además, la resolución geográfica es muy reducida, ya que actualmente solo hay 14 estaciones de medición en Suiza.

Recientemente se han propuesto diversos sistemas de medición para la determinación más rápida del polen. A menudo se propone como método adecuado la medición de la fluorescencia de los materiales a examinar.

Además, el polen suele estar muy diluido en el aire ambiental, lo que dificulta una identificación del polen. Especialmente para una determinación cuantitativa de polen, para obtener una cantidad razonable de datos sería necesario examinar una cantidad de aire muy grande durante un período de tiempo muy largo, por ejemplo de varias horas a días, con bajas concentraciones de polen. Sin embargo, tiempos de medición tan prolongados no solo no son practicable, sino que a veces tampoco son viables debido, por ejemplo, a los contenidos variables de polen. Esto contrasta claramente con la expectativa de los proveedores de informes de polinización de que incluso las cantidades mínimas de polen, por ejemplo solo 10 polen por m³ de aire y cada tipo de polen se pueden determinar de manera correcta cualitativa y cuantitativamente en menos de 1 hora. Un tiempo de medición corto es importante también para una buena alerta temprana en personas alérgicas al polen, especialmente si la concentración de polen ha superado un valor umbral, es decir, una concentración definida.

El documento EP-A-1109005 describe un procedimiento de conteo para granos de polen y un aparato de conteo de polen que comprende depositar partículas contenidas en una determinada cantidad de atmósfera, con excepción de partículas que son esencialmente menores que los granos de polen, y hacer que las partículas depositadas fluyan a través de una celda de flujo en un estado tal que se pueda medir la fluorescencia propia de cada partícula. En este caso, el número de granos de polen a medir en el aerosol permanece inalterado, disminuyendo el flujo volumétrico de aire y aumentando de este modo la concentración. Sin embargo, con el procedimiento de conteo propuesto no es posible la diferenciación suficientemente buena entre 10 y 20 tipos diferentes de polen, necesaria en Europa. El depósito de los granos de polen antes de su medición puede provocar igualmente un deterioro no deseado de los granos de polen. Aunque el polen a medir se concentra en un factor de 15, esto es claramente demasiado reducido para obtener datos cualitativos y cuantitativos fiables sobre el polen en un período de tiempo razonable, también con mínimas cantidades de polen. De este modo, no solo no se puede identificar con suficiente antelación el inicio de la polinización, sino que las cantidades de polen solo se pueden determinar a partir de una concentración claramente demasiado elevada para los alérgicos.

Por tanto, la tarea de la presente invención es proporcionar un sistema de medición con el que se puedan determinar cualitativa y/o cuantitativamente un gran número de las más diversas partículas de aerosol como polen en un tiempo corto y con seguridad elevada, también con mínimas cantidades de polen, por ejemplo para informar correctamente a los alérgicos al polen poco después de la primera polinización. El aparato de medición debe ser compacto, robusto y económico, de modo que pueda utilizarse de diversas maneras e idealmente de forma flexible, es decir, en diferentes lugares. Igualmente debe ser posible eliminar una mayor parte de partículas finas no relevantes para la medición, entre otras cosas para evitar posibles factores interferentes.

Esta tarea podría resolverse sorprendentemente con un sistema de medición (7) con entrada del sistema de medición (71) y salida del sistema de medición (72) para el examen de partículas de aerosol (3) mayores concentradas de un aerosol (2) en la fase gaseosa, que comprende un concentrador de partículas de aerosol multietapas (1) para la separación de la mayor parte de partículas finas (21) y de una parte de la fase gaseosa del aerosol (2), así como una cámara de medición (8) para el análisis de las partículas de aerosol mayores (3),

i) comprendiendo la cámara de medición (8) un aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3), en especial en tiempo real, y

ii) comprendiendo el concentrador de partículas de aerosol (1) una primera (4-1) y al menos una última (4-x) etapa de impactador virtual (4), en cada caso con una entrada de muestra (41), una salida lateral (4) y una salida de muestra (43), separando las etapas de impactador virtual (4) una mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21) y concentrando las partículas de aerosol mayores (3) en la parte menor del aerosol (2), comprendiendo el concentrador de partículas de aerosol (1)

- una bomba de succión de aerosol (6) con entrada de aerosol (61) y salida de aerosol (62) para la generación de una presión negativa en etapas de impactador virtuales (4), estando conectada la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador virtual (4-1) a la entrada de aerosol (61), así como

- comprendiendo un canal de corriente circulante (64), en el que una parte del aerosol separado con partículas finas (21) se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol (62) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), estando conectada la salida lateral (42) de al menos otra (4-2) y/o la última (4-x) etapa de impactador virtual (4) al canal de corriente circulante (64).

También se reivindica un procedimiento para el examen de partículas de aerosol (3) mayores concentradas de un aerosol (2) con el procedimiento de medición (7) según la invención,

i) separándose con el concentrador de partículas de aerosol (1) la fracción volumétrica mayor a presión normal del aerosol (2) con las partículas finas (21) a través de la salida lateral (42) de las etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-x) y opcionalmente al menos una etapa de impactador virtual adicional (4, 4-2), estando conectada la salida lateral (42) de al menos otra (4-2) y/o la última (4-x) etapa de impactador virtual (4) al canal de corriente circulante (64),

ii) concentrándose las partículas de aerosol mayores (3) en la parte menor del aerosol (2) y guiándose a través de la salida de muestra (43) de la primera etapa de impactador virtual (4, 4-1), eventualmente a través de al menos otra etapa de impactador virtual (4, 4-2), a la última etapa de impactador virtual (4, 4-x) y a continuación a la cámara de medición (8), y

iii) examinándose las partículas de aerosol mayores (3) en la cámara de medición (8) con el aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3) en la fase gaseosa, y preferentemente en tiempo real.

Igualmente, también se reivindica el uso del sistema de medición (7) según la invención y del procedimiento según la invención para el examen de aerosoles (2), en particular partículas de aerosol (3) concentradas de los aerosoles (2), en la fase gaseosa y preferentemente en tiempo real.

Sorprendentemente se descubrió que esta tarea complicada se puede cumplir mediante el sistema de medición (7) según la invención, el procedimiento según la invención, así como el uso según la invención. Gracias al concentrador de partículas de aerosol (1) se separa una mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21) y las partículas de aerosol mayores (3) se concentran en la parte menor del aerosol (2). Por ejemplo, de este modo es posible concentrar las partículas de aerosol mayores (3) a examinar en un factor de hasta 1000 o más. De este modo, las partículas de aerosol mayores (3) de un volumen de gas esencialmente mayor se pueden analizar, es decir, examinar en una cámara de medición (8) mucho menor del sistema de medición (7) en un espacio mínimo con el aparato de medición (80), tanto cualitativa como cuantitativamente, rápidamente y en vuelo, es decir, en la fase gaseosa y, por tanto, en tiempo real. Y la fracción de partículas finas (21) que se encuentran originalmente en el aerosol (2) se reduce drásticamente o se elimina por completo, de modo que como máximo solo una proporción muy pequeña de partículas finas (21), insignificante para la medición de las partículas de aerosol mayores (3), llega a la cámara de medición (8). Por consiguiente, se puede proporcionar a los alérgicos información cualitativa relevante sobre el polen en un intervalo de minutos y datos de cantidad cuantitativos, por ejemplo, en un intervalo de menos de una hora con precisión elevada.

El concentrador de partículas de aerosol (1) comprende un canal de corriente circulante (64), en el que una parte del aerosol separado con partículas finas (21) se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol (62) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6). Por tanto, a partir de una mayor corriente volumétrica de succión de aerosol (2) mediante el concentrador de partículas de aerosol (1) multietapa, es decir, el concentrador de partículas de aerosol (1) con varias, es decir, al menos dos etapas de impactador virtual (4), se puede eliminar una corriente volumétrica esencialmente menor, en la que las partículas de aerosol mayores (3) están concentradas. De este modo, por ejemplo, por medio de tres etapas de concentración, es decir, con tres etapas de impactador virtual

(4), se puede reducir una corriente volumétrica de 40 l/min en un factor de 1000 y, por consiguiente, a únicamente 0,04 l/min. Esta pequeña corriente volumétrica que comprende las partículas de aerosol (3) concentradas en la misma se examina en la cámara de medición con el al menos un aparato de medición (80). Sorprendentemente, esto permite una determinación cuantitativa fiable también de cantidades mínimas de polen, por ejemplo de únicamente 10 partículas de polen por m³ aire, en un intervalo de 1 hora o menos. Sin el canal de corriente circulante (64) utilizado en el concentrador de partículas de aerosol (1) según la invención, no es posible concentrar las partículas de aerosol mayores (3) en tal medida ni determinar cualitativa y cuantitativamente una concentración de partículas de polen muy reducida en tan poco tiempo. Cabe señalar que la determinación de las partículas de aerosol (3) se mide preferentemente en tiempo real, siendo necesario un tiempo de medición acumulado, durante el cual se determina un gran número de polen en tiempo real, por ejemplo de una hora para la determinación cuantitativa de la concentración de polen.

El funcionamiento del canal de corriente circulante (64) utilizado según la invención se entiende de la siguiente manera: La bomba de succión de aerosol (6) genera una presión negativa en la zona de la entrada de aerosol (61) para succionar el aerosol (2). Este sale de nuevo, al menos parcialmente, a través de la salida de aerosol (62). Una parte del mismo es conducida de nuevo a la entrada de aerosol (61) en el canal de corriente circulante (64), conduciéndose primero el canal de corriente circulante (64) en un primer tramo hacia la cámara de medición (8) y desviándose a continuación en un segundo tramo hacia la entrada de aerosol (61). En este caso, el segundo tramo está dispuesto entre el canal de conexión (5), normalmente dispuesto en el centro, con las partículas de aerosol mayores (3) y el primer tramo del canal de corriente circulante (64). Las salidas laterales (42) de las otras (4-2) etapas de impactador virtuales (4) están conectadas al segundo tramo del canal de corriente circulante (64), que conduce a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6). La presión negativa en la zona de la entrada de aerosol (61) se ajusta ahora ventajosamente de modo que no solo se succione por medio de esta presión negativa la otra parte del aerosol con partículas finas (21-2) conducidas en el canal de corriente circulante (64), sino que también donde las salidas laterales (42) de las otras (4-2) etapas de impactador virtuales (4) están conectadas al segundo tramo del canal de corriente circulante (64) domine una presión más reducida que dentro de la otra etapa, o bien la última etapa de impactador virtual (4-2, 4-x). De este modo, la bomba de succión de aerosol (6) también sirve como bomba de succión de la otra, o bien última etapa de impactador virtual (4-2, 4-x). Esta disposición permite sorprendentemente la succión de gas y eventualmente de aerosoles con partículas finas (21-1) a través de salidas laterales (42) de etapas de impactador virtuales (4) de dimensiones muy pequeñas, en especial de otras etapas de impactador virtuales (4-2), así como la última etapa de impactador virtual (4-x). De este modo, mediante el flujo circulatorio dentro del canal de corriente circulante (64), las fracciones gaseosas que salen de las salidas laterales (42), que pueden contener eventualmente otras partículas finas (21), se succionan y se transportan a la entrada de aerosol (61). De este modo, las partículas de aerosol mayores (3) se concentran adicionalmente de forma eficiente en las otras y últimas etapas de impactador virtual (4-2, 4-x) sin una bomba de succión de aire adicional.

Sin canal de corriente circulante (64), no es posible en especial llevar a cabo una determinación cuantitativa de polen, tampoco de las concentraciones mínimas de polen, en un intervalo, por ejemplo, de una hora o menos. Porque sin un canal de corriente circulante (64) en un sistema de medición (7) para el examen de partículas de aerosol mayores (3) de un aerosol (2) en la fase gaseosa, las salidas laterales (42) de las otras etapas de impactador virtuales (4 -x) del concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) deberían tener dimensiones tan delgadas que no podrían producirse, o al menos no dentro de la tolerancia requerida. Igualmente, aumenta el riesgo de acumulaciones debidas a partículas finas (21) y, por tanto, de una obturación de las salidas laterales (42). En otras palabras: una corriente volumétrica en la entrada del sistema de medición (71) de, por ejemplo, 40 l/min no podría concentrarse en un factor de 1000 sin canal de corriente circulante (64). La consecuencia de esto sería, entre otras cosas, un menor factor de concentración y, por tanto, en el caso de concentraciones pequeñas de polen, se necesitaría un tiempo de medición, es decir, un tiempo de observación significativamente más largo, para obtener un dato cuantitativo sobre el número de polen, es decir, para probar una muestra aleatoria estadísticamente significativa para las partículas de aerosol mayores (3). Sin embargo, si el concentrador de partículas de aerosol (1) está equipado con el canal de corriente circulante (64), las salidas laterales (42) se pueden dimensionar más grandes, ya que además de la fracción de aerosol, que se aísla mediante etapas de impactador (4 -2, 4-x), también la otra parte del aerosol con partículas finas (21-2) se conduce de vuelta a la entrada de aerosol (61). Por consiguiente, la presencia del canal de corriente circulante (64) permite sorprendentemente una concentración del aerosol succionado (2) y, por tanto, de las partículas de aerosol mayores (3) a examinar en el aerosol (2), en un factor esencialmente mayor. Esto posibilita a su vez, en especial, una determinación cuantitativa de partículas de aerosol mayores (3) en un intervalo de tiempo de medición corto, incluso si estas se presentan en concentraciones extremadamente pequeñas en el aerosol (2) a examinar.

Sorprendentemente, con el sistema de medición (7) según la invención, que comprende la cámara de medición (8) con el al menos un aparato de medición (80), se pueden examinar partículas de aerosol (3) de mayor tamaño. Debido a los posibles aparatos de medición (80) diferentes que se pueden utilizar, las partículas de aerosol (3) no tienen que cumplir ningún requisito en cuanto a su composición química. El tamaño mínimo de las partículas de aerosol (3) se puede adaptar a las necesidades por medio de adaptación de las etapas de impactador virtual (4).

Igualmente, el sistema de medición (7) es robusto, rápido, eficiente y generalmente también puede usarse con la tensión de funcionamiento disponible habitualmente, mediante lo cual también es adecuado en exteriores y/o como aparato de medición móvil. Igualmente, se puede construir de forma económica y con dimensiones reducidas. Por ejemplo, la cámara de medición (8) se puede construir con dimensiones exteriores de aproximadamente 10 x 5 x 5 cm³ y el sistema de medición (7) se puede construir con dimensiones exteriores de aproximadamente 30 x 30 x 30 cm³, mediante lo cual se obtiene un atractivo adicional. De este modo se pueden construir esencialmente más estaciones de medición de polen sin esfuerzo considerable y con costes defendibles y se puede aumentar claramente el grado de automatización de la determinación de polen, lo que conduce a una red de datos de polinización más densa y, por tanto, a una mejor resolución espacial. Por tanto, los alérgicos al polen reciben mucho más rápidamente información esencialmente más exacta sobre la actual polinización, lo que a su vez aumenta la calidad de vida de los alérgicos al polen y reduce los costes económicos.

Por tanto, sorprendentemente, el sistema de medición (7) según la invención puede utilizarse de formas muy diversas. Partículas que se mueven muy rápidamente, como partículas de aerosoles, en especial un gran número, por ejemplo 20 o más, de diferentes pólenes y esporas, pueden examinarse cuantitativa y cualitativamente en tiempo real e incluso en vuelo y diferenciarse entre sí, lo que no ha sido posible hasta ahora.

El documento EP-A-2 679 985 divulga un dispositivo para la detección de fluorescencia en tiempo real con un concentrador de partículas para la deposición y la concentración de las partículas de aerosol y una unidad de medición de partículas dispuesta en el lado inferior del concentrador de partículas. La unidad de medición de partículas comprende una parte de entrada que está adaptada para dirigir las partículas y el aire desde el concentrador de partículas hacia la unidad de medición de partículas; una cámara óptica con un espacio de medición de partículas que está formado en su interior; una parte de formación de haz que está adaptada para iluminar las partículas en el espacio de medición con un rayo láser; una parte de emisión de chorro; reflectores que están dispuestos en el espacio de medición de partículas en un ángulo de 90° con respecto a la dirección de avance del rayo láser; una parte de expulsión de partículas que está adaptada para expulsar las partículas y el aire al exterior; y un divisor de haz con un detector de luz dispersa, así como detectores de fluorescencia que están adaptados para detectar luz dispersa y luz fluorescente, que se generan por medio de la interacción entre el rayo láser y las partículas. No se menciona un canal de corriente circulante en el que una parte del aerosol separado con partículas finas se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol hasta la entrada de aerosol de la misma bomba de succión de aerosol.

El documento US 4,968,885 describe un procedimiento y un dispositivo para la introducción de muestras líquidas en detectores químicos, en los que las muestras líquidas se convierten en estado gaseoso o en forma de partículas. Las partículas disueltas enriquecidas se vaporizan, se ionizan y/o se detectan mediante detectores de partículas o de fase gaseosa adecuados. El aparato es principalmente una interfaz entre un cromatógrafo de líquidos, o bien corrientes de proceso, y el espectrómetro de masas. Por tanto, en el sentido de la presente invención no se describe ningún aparato de medición que comprenda un concentrador de partículas de aerosol. Tampoco se menciona un canal de corriente circulante en el que parte del aerosol separado con partículas finas se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol hasta la entrada de aerosol de la misma bomba de succión de aerosol.

El documento US-A-2011/0203931 divulga dispositivos, aparatos y procedimientos para el muestreo neumático sin contacto y muestreo de superficies, personas, prendas de ropa, edificios, mobiliario, vehículos, equipaje, paquetes, correo y similares para el examen de la contaminación por aerosoles o vapores que indican un peligro, teniendo los aerosoles contaminantes o vapores un carácter químico, radiológico, biológico, tóxico o infeccioso. En un primer dispositivo, una abertura central para el arrastre de una corriente de gas de succión está rodeada por una disposición periférica de chorros de gas dirigidos de manera convergente que forman una cámara de muestreo virtual. Los chorros de gas están configurados para emitir impulsos neumáticos de milisegundos que quitan partículas y vapores de superficies sólidas a cierta distancia. En un aspecto adicional de la invención, una corriente de gas de succión se divide bajo uso de un concentrador de aire-aire de modo que una corriente de gas enriquecida con partículas se dirige a una trampa de partículas y las partículas inmovilizadas en ella se analizan selectivamente en busca de explosivos y materiales relacionados con explosivos bajo optimización. Las condiciones para el análisis de componentes asociados a partículas y una corriente másica se dirigen a una barrera de vapor y los vapores libres inmovilizados en ella se analizan selectivamente en busca de explosivos y materiales explosivos bajo condiciones optimizadas de análisis de vapores libres. En este caso, las señales de detección del canal de partículas y del canal de vapor se comparan o se integran para detectar residuos en trazas vinculados a explosivos. Por tanto, en el sentido de la presente invención no se describe ningún aparato de medición que comprenda un concentrador de partículas de aerosol. Tampoco se menciona un canal de corriente circulante en el que una parte del aerosol separado con partículas finas se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol hasta la entrada de aerosol de la misma bomba de succión de aerosol.

El sistema de medición (7)

El sistema de medición (7) según la invención es adecuado para el examen, es decir, el análisis de partículas de aerosol mayores (3) concentradas de un aerosol (2) en fase gaseosa. El sistema de medición (7) presenta una entrada del sistema de medición (71) normalmente dispuesta en la zona superior del sistema de medición (7) y una salida del sistema de medición (72) normalmente dispuesta en la zona inferior del sistema de medición (7). El aerosol (2) llega

al sistema de medición (7) a través de la entrada del sistema de medición (71). En una primera parte del sistema de medición (7), al menos una gran parte de las partículas finas (21) menores con la mayor fracción volumétrica del aerosol se separa de las partículas de aerosol mayores (3) en una fracción volumétrica menor del aerosol por medio de un concentrador de partículas de aerosol multietapa (1). Las partículas de aerosol (3) concentradas en la fracción volumétrica menor del aerosol se dirigen a continuación a través de la cámara de medición (8) y se examinan con el al menos un aparato de medición (80). A continuación, las partículas de aerosol (3) abandonan el sistema de medición (7) a través de la salida del sistema de medición (72). Por consiguiente, las partículas de aerosol (3) no se separan para el análisis, sino que permanecen en la fase gaseosa todo el tiempo. Por consiguiente, la medición de las partículas de aerosol (3) se efectúa en vuelo y en fracciones de segundo. Es posible y preferible la valoración de los datos de medición en tiempo real.

Según la presente invención, se entiende por tiempo real el hecho de que la medición pueda realizarse inmediatamente y, por tanto, en una fracción de segundo, por ejemplo en unos pocos nanosegundos, microsegundos o milisegundos. La valoración posterior de los datos obtenidos dura normalmente desde unos segundos hasta unas pocas horas, según la cantidad de datos recibidos y el rendimiento del ordenador. Por consiguiente, se pueden determinar materiales (2) que solo pueden analizarse durante un período de tiempo extremadamente corto.

Por consiguiente, el sistema de medición (7) comprende un concentrador de partículas de aerosol (1) multietapa para la separación de las partículas finas (21) y de una gran parte de la fase gaseosa del aerosol (2), así como para la concentración de las partículas de aerosol mayores (3) en una parte menor de la fase gaseosa. El sistema de medición (7) comprende además una cámara de medición (8) con al menos un aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa, es decir, el análisis de las partículas de aerosol mayores (3) concentradas, en particular en tiempo real.

De manera especialmente preferida, el sistema de medición (7) presenta una construcción cilíndrica. Las etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-2, 4-x), los canales de conexión (5, 5-1, 5-2, 5-3), así como la cámara de medición (8), se disponen en serie, ventajosamente de manera lineal y en el centro de la construcción cilíndrica. Las zonas que están completamente rodeadas, por ejemplo, por el canal de corriente circulante (64) y el canal de aerosol residual (63), se sujetan puntualmente mediante elementos de conexión finos para proporcionar la estabilidad necesaria al sistema de medición (7) con canal de corriente circulante (64).

Ventajosamente, el sistema de medición (7) comprende al menos una válvula reguladora de flujo para regular el flujo de aerosol y eventualmente la presión negativa en el concentrador de partículas de aerosol (1) y/o en la bomba de succión de aerosol (6). La al menos una válvula reguladora de flujo puede estar colocada, por ejemplo, en la salida de aerosol (62) de la bomba de succión de aerosol (6), en el canal de aerosol residual (63) y/o en el canal de corriente circulante (64). Los expertos en la técnica conocen válvulas reguladoras de flujo adecuadas.

El concentrador de partículas de aerosol (1)

El concentrador de partículas de aerosol (1) comprende al menos una primera (4-1) y al menos una última (4-x) etapa de impactador virtual (4), en cada caso con una entrada de muestra (41), una salida lateral (42) y una salida de muestra (43), separando las etapas de impactador virtual (4) una parte mayor del aerosol (2) con partículas finas (21) y concentrando las partículas de aerosol mayores (3) en la parte menor del aerosol (2). Esto permite mediciones más rápidas porque se puede examinar una mayor cantidad de partículas de aerosol por unidad de tiempo medida y, por tanto, se dispone de más valores medidos por unidad de tiempo. De este modo, también concentraciones de partículas pequeñas se pueden determinar en un tiempo más corto y/o con precisión más elevada.

El concentrador de partículas de aerosol (1) de la presente invención es un concentrador de partículas de aerosol (1) multietapa, es decir, comprende varias etapas iguales o similares, en especial al menos dos etapas de impactador virtuales (4), para concentrar las partículas de aerosol (3) en varios pasos en una parte del aerosol (2).

Las etapas de impactador virtual (4) son conocidas por los especialistas. Estas presentan normalmente dos placas paralelas que están dispuestas en un ángulo de 90° con respecto a la dirección de flujo del aerosol y que presentan en cada caso una abertura en el centro de las placas. En el centro de la placa superior se encuentra una boquilla, es decir, un estrechamiento, a través del cual fluye el aerosol y que acelera el aerosol. Debido a la geometría de la etapa de impactador virtual (4), la mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21) se separa entre las placas y se evacua lateralmente. La parte menor del aerosol (2) circula a través de la abertura de la placa inferior junto con las partículas de aerosol mayores (3).

El concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) comprende al menos dos etapas de impactador virtuales (4), es decir, una primera etapa de impactador virtual (4-1), opcionalmente al menos otra etapa de impactador virtual (4-2), y una última etapa de impactador virtual (4-x). En este caso, las etapas de impactador (4) están conectadas preferentemente a los canales de conexión (5). Ventajosamente, la entrada del sistema de medición (71), las etapas de impactador virtual (4), los canales de conexión (5), así como la cámara de medición (8), están dispuestos linealmente y, por tanto, en una fila, en particular también verticalmente. En este caso, la entrada del sistema de medición (71) se encuentra normalmente en el lugar más alto de esta disposición, mediante lo cual las partículas de

aerosol mayores (3) se transportan desde la entrada del sistema de medición (71) hacia la cámara de medición (8) con ayuda de la gravedad.

Las etapas de impactador virtual (4) del sistema de medición (7) según la invención y del procedimiento según la invención se definen normalmente mediante el número de Stokes, cumpliéndose ventajosamente las siguientes condiciones:

$$(St)^{1/2} \geq 0.4 \quad (1)$$

$$\text{en la cual} \quad St = (d_p^2 \cdot C \cdot u_j \cdot \rho_p) / (9 \cdot l \cdot \mu) \quad (2)$$

y St = número de Stokes [-],

d_p = diámetro de corte de las partículas de aerosol (3) a concentrar [m],

C = factor de Cunningham [-]

u_j = velocidad media del chorro [m/s]

ρ_p = densidad de las partículas [kg/m³]

l = diámetro de la boquilla [m] de la entrada de muestra

μ = viscosidad dinámica de fluido [Pa·s]

Se entiende por diámetro de corte d_p el diámetro de aquellas partículas de aerosol que, siendo las menores de las partículas de aerosol mayores (3), no deben depositarse con la parte menor del aerosol (2). Por ejemplo, si se va a medir polen con un diámetro medio de aproximadamente 20 µm o mayor, en la ecuación (2) se calcula preferiblemente un diámetro de corte de, por ejemplo, 10 µm.

El factor de Cunningham C es un coeficiente adimensional, específico del material. Según la invención y con una buena aproximación, se utiliza un factor de Cunningham de 1 para el cálculo del número de Stokes según la ecuación (1) y (2).

La velocidad media de chorro u_j resulta del diámetro de boquilla y de la corriente volumétrica.

Como densidad de las partículas ρ_p se puede utilizar la densidad de las partículas de aerosol a separar. Para polen, la densidad se puede situar en el intervalo de 500 kg/m³ hasta 1200 kg/m³. Si no se dispone de datos sobre la densidad, el número de Stokes se calcula según la invención con una densidad de partículas de 600 kg/m³.

El diámetro de boquilla l de la entrada de muestra (41) se puede variar dependiendo del sistema. Para el examen de polen suele ser adecuado un diámetro de boquilla para la última etapa de impactador (4-x) de, por ejemplo, 1,5 mm.

Como viscosidad dinámica de fluido μ se utiliza la viscosidad dinámica de fluido del aire con una densidad de 1,185 kg/m³ a 25°C. En este caso, según la invención, para el cálculo del número de Stokes se considera que el aire es incompresible y, por tanto, se toma un valor de 1,831e-5 Pa·s.

El concentrador de partículas de aerosol (1) del aparato de medición (7) según la invención y el procedimiento según la invención presenta preferentemente al menos dos etapas de impactador virtual (4) dispuestas en serie, en cada caso con una entrada de muestra (41), una salida lateral (42) y una salida de muestra (43), así como al menos tres canales de conexión (5) separados entre sí por las etapas de impactador (4).

El concentrador de partículas de aerosol (1) de la presente invención comprende igualmente una bomba de succión de aerosol (6) con entrada de aerosol (61) y salida de aerosol (62) para la generación de una presión negativa en las etapas de impactador virtuales (4), estando conectada la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador virtual (4-1) a la entrada de aerosol (61), así como a un canal de corriente circulante (64), en el que una parte del aerosol separado con partículas finas (21) se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol (62) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), estando conectada la salida lateral (42) a al menos otra (4-2) y/o la última /4-x) etapa de impactador (4). La bomba de succión de aerosol (6) es normalmente una bomba de gas, o bien de aspiración de aire, que también es adecuada para succionar aerosoles.

En una forma de realización preferida del sistema de medición (7)

i) la bomba de succión de aerosol (6) representa un ventilador radial (60) o una disposición de distribución de presión estática (65) con bomba de aire (66), estando dispuesta en el centro del ventilador radial (60) o en el centro de la disposición de distribución de presión estática (65) una abertura de succión de aerosol, es decir, la entrada de aerosol (61) y/o

ii) el sistema de medición (1) comprende otra bomba de succión de aerosol (9) que está dispuesta entre la cámara de medición (8) y la salida del sistema de medición (72).

En este caso, se entiende por los términos "en el centro del ventilador radial (60)" y "en el centro de la disposición de distribución de presión estática (65)" la zona central de la sección transversal del ventilador radial (60) medida perpendicularmente a la dirección de vuelo de las partículas de aerosol mayores (3), o bien de la disposición de distribución de presión estática (65).

Según la invención, se entiende por ventilador radial (60) un ventilador que succiona el aire, y con este el aerosol (2), que llega al aparato de medición (7) a través de la entrada del sistema de medición (71) paralelamente al eje de accionamiento del ventilador y, mediante la rotación del impulsor radial, desvía en 90° y sopla radialmente, es decir, lateralmente, la fracción mayor de aerosol (2) junto con las partículas finas (21). Las aspas del ventilador radial (60) pueden estar dispuestas entre la entrada de muestra (41) y la salida lateral (42) o solo en la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador (4-1). En este caso, la abertura de aspiración de aerosol está dispuesta preferentemente en el centro del ventilador radial (60). El ventilador radial (60) utilizado según la invención se combina ventajosamente con la primera etapa de impactador virtual (4) correspondiendo la salida lateral (42) a la etapa de impactador virtual (4) y uno de los extremos del canal de corriente circulante (64) a la abertura de succión de aerosol del ventilador radial (60) y, por tanto, también a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), es decir, al ventilador radial (60). Igualmente, el ventilador radial (60) comprende ventajosamente un motor de rotor externo con eje hueco o un accionamiento externo conectado, por ejemplo, mediante piñones o correas. En una forma de realización preferida, el ventilador radial (60) es un ventilador radial con un paso axial.

Por disposición de distribución de presión estática (65) se entiende una disposición normalmente redonda, en forma de disco y estática a través del cual circula la mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21), procedente de la entrada del sistema de medición (71) del dispositivo de medición (7). La disposición de distribución de presión (65) está dispuesta preferentemente alrededor de la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), es decir, la disposición de distribución de presión (65) con bomba de aire (66), y comprende una primera zona adyacente a la entrada de aerosol (61). En esta primera zona se encuentra la abertura de succión de la bomba de aire (66), así como, eventualmente, de forma especialmente preferente, al menos un dispositivo para distribuir lo más uniformemente posible la presión negativa generada por la bomba de aire (66). Un dispositivo de este tipo comprende, por ejemplo, paredes con un gran número de aberturas (65a). La presión negativa generada por la bomba de succión de aire (66) succiona una parte del aerosol (2) con partículas finas (21) y lo conduce a través de la entrada de retorno de aerosol (66b) a una segunda zona, que está separada de la primera zona por medio de una pared sin aberturas (65b). La segunda zona comprende al menos una salida de aerosol (62), a través de la cual se conduce el aerosol (2) junto con las partículas finas (21) hasta el canal de aerosol residual (63), así como al menos una, preferentemente un gran número de aberturas (65c) al canal de corriente circulante (64). En este caso, la entrada de retorno de aerosol (66b), la salida de aerosol (62), así como la al menos una abertura (65c) están ventajosamente separadas entre sí con al menos un dispositivo para distribuir óptimamente las diferencias de presión producidas debido a las diferentes entradas/salidas de aerosol (2) con partículas finas (21). En este caso, la segunda zona puede rodear lateralmente la primera zona y/o puede estar dispuesta, por ejemplo, por debajo de la primera zona. Ventajosamente, la disposición de distribución de presión (65) también está limitada desde el exterior por una pared (65b) sin aberturas.

Por tanto, el aerosol (2) con las partículas finas (21) se desvía en 90° de la entrada del sistema de medición (71) debido al efecto de succión de la bomba de aire (66) en la primera etapa de impactador virtual (4-1) y se succiona a través de la salida lateral (42) de la etapa de impactador virtual (4-1) en la entrada de aerosol (61) de la disposición de distribución de presión (65). A través de la abertura de succión (66a) de la bomba de aire (66), la parte desviada de aerosol (2) con partículas finas (21) se succiona desde la primera zona del dispositivo de distribución de presión (65) hacia la bomba de aire (66) y se presiona desde allí de nuevo, mediante presión de salida de gas, a través de la entrada de retorno de aerosol (66b) hacia la segunda zona de la disposición de distribución de presión (65). Desde allí, una parte del aerosol con partículas finas (21-1) llega al canal de aerosol residual (63) a través de la salida de aerosol (62). La otra parte del aerosol con partículas finas (21-2) llega al canal de flujo circulante (64) a través de al menos una abertura (65c) y desde allí de vuelta a la entrada de aerosol (61).

La sección transversal del ventilador radial (60) y/o de la disposición de distribución de presión (65) puede tener, medida perpendicularmente a la dirección de vuelo de las partículas de aerosol mayores (3), por ejemplo, una sección transversal que es comparable a la del sistema de medición (7), pudiendo también ser menor la sección transversal del ventilador radial (60) o la disposición de distribución de presión (65). La altura del ventilador radial (60) y/o de la disposición de distribución de presión (65), medida en la dirección de vuelo de las partículas de aerosol mayores (3), se puede situar, por ejemplo, entre 0,5 cm y 20 cm o más.

La bomba de aire (66), es decir, la bomba de aspiración de aire (66), conectada a la disposición de distribución de presión estática (65), succiona la mayor parte de aerosol (2) con partículas finas (21) y las transporta, al menos en parte, de vuelta a la disposición de distribución de presión (65). De este modo se posibilita el funcionamiento de las etapas de impactador virtual (4) si está presente una disposición de distribución de presión estática (65). Las bombas de aire (65) son bombas de gas y generan una diferencia de presión, estando dispuesta la presión más reducida, es decir, una presión negativa con respecto a la presión externa, en el lado de la primera etapa de impactador virtual.

Según la invención, se entiende por canal de corriente circulante (64) el hecho de que una parte de la mayor parte de aerosol (2) con partículas finas (21) se conduzca en circulación. El canal de corriente circulante (64) devuelve parte del aerosol succionado con partículas finas de aerosol (21) desde la salida de aerosol (62) en corriente circulante a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6). En este caso, las salidas laterales (42) de la siguiente (4-2) y de la última (4-x) etapa de impactador virtual (4) están conectadas al canal de corriente circulante (64). Debido al flujo circulatorio dentro del canal de corriente circulante (64), las fracciones gaseosas que salen de las salidas laterales (42), que pueden contener eventualmente otras partículas finas (21), se succionan y se transportan a la entrada de aerosol (61).

Si el sistema de medición (7) presenta una disposición de distribución de presión estática (65) con una bomba de aire (66) y otra bomba de succión de aerosol (9), la bomba de aire (66) y la bomba de succión de aerosol (9) pueden ser idénticas en construcción.

En una forma de realización preferida, la salida de aerosol (62) de la bomba de succión de aerosol (6) está conectada tanto a) a un canal de aerosol residual (63), que evacua una parte (21-1) de aerosol aspirado con partículas finas de aerosol (21), como b) a un canal de corriente circulante (64), devolviendo el canal de corriente circulante (64) la otra parte (21-2) de aerosol aspirado con partículas finas de aerosol (21) en corriente circulante a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6).

Esta disposición permite una guía eficiente de la corriente circulante en el canal de corriente circulante (64), produciéndose también una presión negativa en las salidas laterales (42) de las otras etapas de impactador virtuales (4-2, 4-x) para poder evacuar eficientemente la fracción de aerosol de las salidas laterales (42). Además, se elimina continuamente una parte (21-1) de aerosol aspirado que contiene partículas finas de aerosol (21).

En otra forma de realización preferida del sistema de medición (7) según la invención y del procedimiento según la invención, se suministra una corriente de derivación a la salida de muestra (43) de la última etapa de impactador virtual (4-x) en la dirección de flujo de aerosol, representando la corriente de derivación i) una parte ramificada del canal de corriente circulante (64), o ii) el canal de aerosol residual (63), o una parte del mismo. Esto permite un agrupamiento aún mejor, y con este un análisis, de las partículas de aerosol mayores (3) en la parte menor concentrada de aerosol (2) en el centro de la cámara de medición (8). Sorprendentemente, las partículas finas (21) suministradas con la corriente de derivación no tienen ningún efecto interferente en la medición de las partículas de aerosol mayores (3).

A menudo también es ventajoso que el canal de aerosol residual (63) después de la cámara de medición (8) se reúna con la salida de muestra de la cámara de medición (8), mediante lo cual una parte (21-1) de aerosol con partículas finas (21) se reúne con las partículas de aerosol (3) y la fracción volumétrica del aerosol (2) menor a presión normal y se transporta fuera del sistema de medición (7), eventualmente a través de la otra bomba de succión de aerosol (9). Por consiguiente, en caso necesario, todas las partículas, es decir, todas las partículas finas (21) y todas las partículas de aerosol mayores (3), se pueden transportar fuera del sistema de medición (7) desde una abertura común.

El aerosol (2) con partículas finas (21) y las partículas de aerosol mayores (3)

Según la invención, se entiende por aerosol (2) una mezcla de partículas de aerosol, también denominadas partículas en suspensión, en un gas o mezcla de gases, presentándose las partículas en suspensión en forma sólida y/o líquida a temperatura ambiente y presentando estas normalmente un diámetro medio de aproximadamente 20 nm a aproximadamente 100 µm o más. El aire es una mezcla gaseosa típica en el caso de aerosoles, que tienen una importancia en la vida cotidiana y a menudo pueden suponer un deterioro de salud o incluso una carga. El aerosol (2) es el aerosol antes de separarse por medio del concentrador de partículas de aerosol (1).

Los aerosoles comprenden un gran número de partículas de aerosol en un volumen de gas definido, que varían mucho en tamaño, forma y tipo. Por consiguiente, el aerosol (2) comprende partículas de aerosol mayores (3) y partículas finas (21), presentando las partículas de aerosol más grandes (3) un diámetro medio mayor con respecto a las partículas finas (21). Mediante adaptación específica de las etapas de impactador (4), el especialista puede ajustar qué tamaños de partícula se concentran como partículas de aerosol mayores (3) y se dirigen a la cámara de medición (8), y qué tamaños de partícula se separan como partículas finas. (21) con la mayor parte de aerosol (2) al menos en su mayor parte.

El concentrador de partículas de aerosol (1) ahora separa el aerosol (2) en una parte mayor de aerosol (2) con partículas finas (21) y una parte menor de aerosol (2) con las partículas de aerosol mayores (3) a examinar. En otras palabras: el aerosol (2) se divide en una fracción volumétrica mayor, es decir, más de 98 % en volumen y preferiblemente 99,5 % en volumen o mayor de la fase gaseosa de aerosol (2) junto con las partículas finas (21) y una fracción volumétrica restante menor, menos de 2 % en volumen y preferiblemente 0,5 % en volumen o menor de la fase gaseosa de aerosol (2) junto con las partículas de aerosol mayores (3).

Las partículas de aerosol mayores (3) a examinar no presentan restricciones de ningún tipo, por ejemplo en relación con su composición química. Estas se pueden presentar en forma de un sólido, un líquido, una dispersión, una suspensión, una pasta y/o en forma de partículas dispersas en el aire, en particular partículas de bioaerosol. Las partículas de aerosol (3) también pueden presentarse en forma de aglomerados.

Ejemplos no limitantes de partículas de aerosol (3) adecuadas a examinar incluyen polen, en particular polen de flores, hierbas, plantas y árboles, esporas como esporas de moho, en especial *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*, *Penicillium notatum* y *Cladosporium herbarum*, bacterias, excrementos de ácaros del polvo doméstico, alérgenos de animales domésticos, proteínas, ADN, ARN, organismos, humo, especialmente humo de cigarrillos, gases de combustión y gases de escape, hollín y humo denso de aceite de motores de combustión interna como, por ejemplo, gases de escape de automóviles, dióxido de azufre y/o ceniza como ceniza volcánica.

En una forma de realización preferida del sistema de medición (7) según la invención, las partículas de aerosol (3) mayores presentan un diámetro de partícula de al menos 1 μm , preferiblemente al menos 5 μm , en especial al menos 10 μm , medido mediante difracción de luz según la norma ISO13320:2009. En este caso, el concentrador de partículas de aerosol (1), en especial las etapas de impactador virtual (4) del concentrador de partículas de aerosol (1), está optimizado de tal manera que las partículas de aerosol (3) que son mayores que el diámetro de partícula mínimo deseado no se separan. Las partículas finas (21), es decir, las partículas de aerosol que presentan un tamaño de partícula menor, se separan con la mayor parte del aerosol (2) en el concentrador de partículas de aerosol (1), en especial mediante las etapas de impactador virtual (4), de modo que esencialmente no se conducen a la cámara de medición (8). El especialista sabe cómo tiene que cambiar el concentrador de partículas de aerosol (1), así como las etapas de impactador virtual (4) para ajustar de manera óptima el diámetro de partícula mínimo deseado de las partículas de aerosol mayores (3). Para ello, este calcula normalmente el número de Stokes bajo uso de las ecuaciones (1) y (2).

La cámara de medición (8) y los aparatos de medición (80)

El sistema de medición (7) según la invención comprende la cámara de medición (8) con al menos un aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3), en especial en tiempo real.

El aparato de medición (80) puede estar dispuesto dentro y/o fuera de la cámara de medición (8). Si el aparato de medición (80) está dispuesto fuera de la cámara de medición (8) y se basa en principios de medición ópticos, la luz se puede dirigir a la cámara de medición (8) y de nuevo retirar de esta, por ejemplo, mediante ventanas adecuadas.

La cámara de medición (8) conecta normalmente la salida de muestra (43) de la última etapa de impactador virtual (4-x) con la salida de aerosol (2), pudiendo estar dispuesto eventualmente un canal de conexión (5) entre la última etapa de impactador virtual (4-x) y la cámara de medición, y/u otra bomba de succión de aerosol (9) entre la cámara de medición (8) y la salida de aerosol.

La cámara de medición (8) del sistema de medición (7) presenta normalmente una forma alargada con sección transversal constante. En este caso, las partículas de aerosol mayores (3) se conducen a través del centro de la sección transversal. Durante el vuelo se analizan mediante el aparato de medición (80).

Sorprendentemente, la cámara de medición puede presentar unas dimensiones reducidas, por ejemplo $5 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$, aunque también son posibles dimensiones mayores o menores.

Las partículas de aerosol mayores (3) concentradas en la parte menor de aerosol (2) normalmente se dirigen de manera continua a través de la cámara de medición (8) durante el período de tiempo de medición, donde se examinan a continuación, es decir, se miden, o bien se analizan, normalmente también de manera continua, en la fase gaseosa, y preferiblemente en tiempo real, con el aparato de medición (80).

En una forma de realización preferida, el aparato de medición (80) para el análisis de las partículas de aerosol mayores (3) representa al menos un aparato de medición i) para la medición de fluorescencia (81), ii) para la medición de holografía digital (82), iii) para la medición de luz dispersa de resolución temporal (83) y/o iv) para la espectroscopia Raman y/o infrarroja (IR) (84). Si se utilizan varios aparatos de medición (80), estos se pueden combinar como se desee. El especialista sabe qué combinación de aparatos de medición (80) necesita para los análisis deseados en cada caso.

Si las partículas de aerosol (3) presentan una autofluorescencia, como es el caso de muchas partículas de aerosol (3), como por ejemplo el polen, como aparato de medición (80) es adecuado un aparato de medición para la medición de fluorescencia (81). En este caso, las partículas de aerosol más grandes (3) que se van a examinar se excitan con luz de una longitud de onda adecuada. En este caso, las partículas de aerosol (3) absorben la luz y la vuelven a emitir parcialmente. A continuación, la luz emitida se detecta con un detector. Tanto la intensidad de la fluorescencia como la vida útil de fluorescencia son adecuadas para la medición de la fluorescencia. En este caso, la vida útil de fluorescencia se puede medir tanto en el intervalo de tiempo (inglés: time-domain) como en el intervalo de frecuencia (inglés: frequency-domain). El especialista conoce cada uno de los métodos de medición de fluorescencia y puede elegir tanto método como el aparato y los componentes individuales de forma adecuada. El aparato de medición para la medición de fluorescencia (81) es especialmente útil para medir bioaerosoles, como por ejemplo polen y esporas, gases de combustión, y para la detección de armas biológicas, como bacterias dañinas para la salud aerosolizadas como carbunco (patógeno del ántrax).

Un método preferido para la identificación de partículas de aerosol individuales en tiempo real en vuelo por medio de medición de fluorescencia (81) es la medición de la vida útil de fluorescencia en el intervalo de frecuencia. En este caso, ventajosamente, la luz emitida por la fuente lumínica se modula en intensidad. Como detectores son especialmente adecuados los detectores de fotones electrónicos basados en la tecnología de semiconductores. Un detector especialmente preferido es un fotomultiplicador de silicio (SiPM). Un aparato de medición especialmente adecuado para este fin se divulga en la solicitud de patente europea con el número de solicitud EP17189312.

Si el aparato de medición (80) es un aparato de medición para la medición de holografía digital (82), se utiliza normalmente una configuración óptica según procedimiento en línea, o bien Gabor. En este caso, la luz coherente de una fuente lumínica, opcionalmente agrupada mediante lentes, se conduce a través de ventanas en la pared de la cámara de medición (8) a través de la cámara de medición (8) hasta un detector opuesto, pudiendo utilizarse las lentes también como ventanas. En la cámara de medición (8), la luz incide sobre las partículas de aerosol a examinar que pasan en vuelo, difractándose una parte de la luz en la partícula de aerosol (3). Esta luz influenciada por las partículas de aerosol (3) interfiere con la luz de fondo coherente de la fuente lumínica y se detecta conjuntamente por el detector de imágenes opuesto. Esto proporciona un holograma de la partícula de aerosol (3) a examinar, lo que conduce a una caracterización de imagen adicional de las partículas de aerosol. En este caso, el conjunto para la medición de holografía digital (82) puede presentar una o más disposiciones en línea. Se puede utilizar un detector separado, también llamado receptor de activación, para desencadenar la grabación del detector de imágenes. Una parte de la luz que incide sobre las partículas de aerosol (3) se dispersa y se puede detectar por el receptor de activación. El especialista conoce también otras configuraciones ópticas para la activación del tiempo de grabación del detector de imágenes. El aparato de medición para la medición de holografía digital (82) es especialmente útil para el análisis de partículas de aerosol, así como células biológicas en vuelo. Igualmente, la velocidad de circulación flujo se puede determinar mediante hologramas de partículas individuales en vuelo.

Si el aparato de medición (80) es un aparato de medición para la medición de luz dispersa (83) de resolución temporal, la luz de una fuente lumínica, la llamada luz de excitación, se colima con una lente, es decir, se agrupa y se dirige al canal de medición a través de una ventana paralela al eje del flujo de aerosol con partículas de aerosol mayores, mediante lo cual las partículas se iluminan por el haz de luz de excitación a lo largo de un recorrido más largo en el canal de medición. La luz de excitación también puede dirigirse al canal de medición a través de una ventana lateral o una lente y un espejo en el canal de medición desvía la luz en 90° contra o en la dirección de vuelo de las partículas de aerosol, mediante lo cual las partículas de aerosol se iluminan por el haz de luz de excitación al pasar en vuelo. De esta manera se produce luz dispersa, saliendo una parte de la luz dispersa lateralmente de la cámara de medición (8) a través de otra ventana en la pared de la cámara de medición (8). La ventana puede estar configurada opcionalmente de tal manera que adopte la función de lente de colimación o que la luz dispersa saliente se colime con una lente y eventualmente, es decir, si se complementa con una medición de polarización, se separe en luz con polarización vertical y horizontal mediante un filtro de polarización, desviándose un haz de luz polarizado en 90°. Los dos haces de luz polarizados se enfocan en cada caso con otra lente sobre un receptor y se detectan. De este modo, para cada polarización de la luz se miden los perfiles de intensidad de luz dispersa de la partícula que pasa en vuelo, que son característicos de la partícula de aerosol.

Si el aparato de medición (80) es un aparato de medición para la espectroscopia Raman y/o infrarroja (84), la materia a examinar se irradia con luz monocromática, habitualmente de un láser. En el espectro de la luz dispersa por la muestra se observan otras frecuencias además de la frecuencia irradiada (dispersión de Rayleigh). Las diferencias de frecuencia respecto a la luz irradiada corresponden a las energías de rotación, vibración, fonones o procesos de inversión de espín característicos del material. Del espectro obtenido, similar al espectro de la espectroscopia infrarroja, se pueden sacar conclusiones sobre la sustancia examinada.

Los especialistas conocen los métodos de holografía digital, de medición de luz dispersa de resolución temporal con y sin medición de polarización, así como de espectroscopia Raman y/o IR. Este también conoce los conjuntos adecuados. Estos están disponibles comercialmente. También puede montar conjuntos adecuados sin esfuerzo inaceptable y sin actividad inventivo.

El procedimiento

Sorprendentemente, el procedimiento según la invención permite un examen cualitativo y/o cuantitativo de las partículas de aerosol mayores (3) concentradas en vuelo y en tiempo real solo con un aparato de medición (80) del sistema de medición (7) según la invención, pudiendo combinarse también eventualmente varios aparatos de medición (80) entre sí. Como aparato de medición (80) se utiliza preferentemente un aparato de medición i) para la medición de fluorescencia (81), ii) para la medición de holografía digital (82), iii) para la medición de luz dispersa de resolución temporal (83), opcionalmente con medición de polarización, y/ o iv) para la espectroscopia Raman y/o IR (84).

El procedimiento según la invención comprende que

- i) con el concentrador de partículas de aerosol (1) que, a presión normal, es decir a 25°C, 1 bar y 50 % de humedad del aire, se separa la mayor fracción volumétrica de aerosol (2) con las partículas finas (21) a través de la salida lateral (42) de las etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-x) y opcionalmente al menos otra etapa de impactador

virtual (4, 4-2), estando conectada la salida lateral (42) de al menos otra (4-2) y/o la última (4-x) etapa de impactador virtual (4) al canal de corriente circulante (64),

ii) las partículas de aerosol mayores (3) se concentran en la parte menor del aerosol (2) y se guían a través de la salida de muestra (43) de la primera etapa de impactador virtual (4, 4-1), eventualmente a través de al menos otra etapa de impactador virtual (4, 4-2), a la última etapa de impactador virtual (4, 4-x) y a continuación a la cámara de medición (8), y

iii) las partículas de aerosol mayores (3) se examinan en la cámara de medición (8) con el aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3) en fase gaseosa, y preferiblemente en tiempo real.

El procedimiento según la invención también comprende preferiblemente que

- con la bomba de succión de aerosol (6) se succiona el aerosol (2) a través de un primer canal de conexión (5-1) a la primera etapa de impactador virtual (4-1) y se separa allí en
 - i. un aerosol con partículas finas (21), que conduce a través de la salida lateral (42) de la etapa de impactador (4-1) a la bomba de succión de aerosol (6) a través de la entrada de aerosol (61), y
 - ii. un aerosol con las partículas de aerosol mayores (3), que conduce a un segundo canal de conexión (5-2) a través de la salida de muestra (43) de la etapa de impactador (4-1),
- una parte (21-1) del aerosol con partículas finas (21) se evacua después de la salida de aerosol (62) de la bomba de succión de aerosol (6) en el canal de aerosol residual (63) y la otra parte (21-2) del aerosol con partículas finas (21) en el canal de corriente circulante (64) se devuelve a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6),
- el aerosol con las partículas de aerosol mayores (3) en el segundo canal de conexión (5-2) se envía a la entrada de muestra (41) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2), evacuándose una parte de la fase gaseosa, que puede contener una parte de las partículas finas restantes (21) no depositadas, del aerosol (2) enviado a través de la salida lateral (42) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2), y enviándose el aerosol concentrado de este modo con las partículas de aerosol mayores (3) a través de la salida de muestra (43) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2) a al menos otro canal de conexión (5-3),
- la fase gaseosa evacuada a través de la salida lateral (42) de la al menos otra etapa de impactador virtual (4-2) se introduce en el canal de corriente circulante (64) y se devuelve conjuntamente a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), pudiendo contener normalmente la fase gaseosa las partículas finas (21) no depositadas en la primera etapa de impactador (4-1), o al menos una gran parte de estas, y
- las partículas de aerosol (3) concentradas se dirigen desde la salida de muestra (43) de la última etapa de impactador virtual (4-x) en la dirección de flujo de aerosol a través de la cámara de medición (8) para examinar las partículas de aerosol (3) con el aparato de medición (80).

Con el concentrador de partículas de aerosol (1) del sistema de medición (7) según la invención y del procedimiento según la invención, las partículas de aerosol mayores (3) de la fracción volumétrica del aerosol menor a presión normal pueden concentrarse preferentemente en un factor de al menos 50, preferentemente en un factor de al menos 200 y en especial, y sorprendentemente, en un factor de al menos 500 o más.

En otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención, el canal de aerosol residual (63) se suministra después de la cámara de medición (8) a la salida de muestra de la cámara de medición (8), mediante lo cual se reúnen una parte (21-1) de aerosol con partículas finas (21) con las partículas de aerosol (3) y la fracción volumétrica del aerosol (2) menor a presión normal y eventualmente se transportan de manera conjunta fuera del sistema de medición (7) a través de la otra bomba de succión de aerosol (9). Por consiguiente, si es necesario, todas las partículas, es decir, todas las partículas finas (21) y todas las partículas de aerosol mayores (3), se pueden dirigir conjuntamente fuera del aparato a través de una abertura.

En otra forma de realización preferida del procedimiento, la bomba de succión de aerosol (6) del concentrador de partículas de aerosol (1) se ajusta, en especial mediante la potencia de bombeo de la bomba de succión de aerosol (6) y/o al menos una válvula reguladora de flujo en el canal de aerosol residual (63), de modo que en la entrada de aerosol (61) y, por tanto, esencialmente también en la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador virtual (4-1), se genera una presión negativa con respecto a la presión exterior del concentrador (1) de 30 a 10.000 Pa, en particular de 100 a 400 Pa. Esto conduce a una presión negativa óptima en el sistema de medición (7), sorprendentemente, por un lado, si es posible para no succionar partículas de aerosol mayores (3), pero sí una fracción suficientemente grande de partículas finas (21) de aerosol (2) a través de la bomba de succión de aerosol (6). Con

estas presiones negativas, las partículas de aerosol (3) también pueden circular de forma óptima a través de la cámara de medición (8). Esto permite igualmente un funcionamiento óptimo del canal de corriente circulante (64). Esto no se podía esperar de esta manera.

El uso

- 5 Sorprendentemente, el sistema de medición (7) según la invención y el procedimiento según la invención se pueden utilizar de muy diversas maneras. Estos son ideales para el examen de aerosoles (2), en especial de partículas de aerosol mayores (3) concentradas de los aerosoles (2), en la fase gaseosa y preferiblemente en tiempo real.

El uso según la invención es especialmente adecuado también si el aerosol (2) es un aerosol primario o secundario, una niebla, un aerosol atmosférico, un aerosol de interior, un aerosol industrial, un aerosol técnico, un aerosol natural
10 orgánico y/o inorgánico, y/o si las partículas de aerosol (3) del aerosol (2) incluyen polen, esporas, bacterias, virus, partículas en suspensión sólidas o líquidas, polvos como polvo en suspensión, polvo desértico y/o mineral, y/o cenizas como ceniza volcánica.

El uso inventivo del sistema de medición (7) según la invención permite la medición directa de partículas de aerosol dispersas en fase gaseosa y, por tanto, de partículas de aerosol en vuelo. Gracias al concentrador de partículas de aerosol (1) utilizado según la invención, las partículas de aerosol (3) pueden concentrarse en gran medida, lo que
15 posibilita una medición extremadamente eficaz de las mismas en vuelo y en tiempo real. Mediante la selección apropiada de al menos un aparato de medición (80), se puede seleccionar el método de medición más óptimo para analizar las partículas de aerosol (3).

Se utilizan los siguientes signos de referencia:

- | | | |
|----|------|--|
| 20 | 1 | Concentrador de partículas de aerosol multietapa |
| | 2 | Aerosol |
| | 21 | Partículas finas de aerosol (2) |
| | 21-1 | Una parte del aerosol con partículas finas |
| | 21-2 | Otra parte del aerosol con partículas finas |
| 25 | 3 | Partículas de aerosol mayores |
| | 4 | Etapas de impactador virtual |
| | 4-1 | Primera etapa de impactador virtual |
| | 4-2 | Otra etapa de impactador virtual |
| | 4-x | Última etapa de impactador virtual |
| 30 | 41 | Entrada de muestra de la etapa de impactador virtual (4) |
| | 42 | Salida lateral de la etapa de impactador virtual (4) |
| | 43 | Salida de muestra de la etapa de impactador virtual (4) |
| | 5 | Canal de conexión |
| | 5-1 | Primer canal de conexión |
| 35 | 5-2 | Segundo canal de conexión |
| | 5-3 | Otro canal de conexión |
| | 6 | Bomba de succión de aerosol |
| | 60 | Ventilador radial |
| | 61 | Entrada de aerosol de la bomba de succión de aerosol (6) |
| 40 | 62 | Salida de aerosol de la bomba de succión de aerosol (6) |
| | 63 | Canal de aerosol residual |
| | 64 | Canal de corriente circulante |

- 65 Disposición de distribución de presión estática.
- 65a Paredes con un gran número de aberturas.
- 65b Paredes sin aberturas
- 65c Aberturas al canal de corriente circulante (64)
- 5 66 Bomba de aire de la disposición de distribución de presión (65)
- 66a Abertura de aspiración de la bomba de aire (66) en la placa distribuidora de presión (65)
- 66b Entrada de retorno de aerosol de la bomba de aire (66)
- 7 Sistema de medición
- 71 Entrada del sistema de medición
- 10 72 Salida del sistema de medición
- 8 Cámara de medición
- 80 Aparato de medición para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de partículas de aerosol (3) en tiempo real
- 81 Aparato para la medición de fluorescencia.
- 15 82 Aparato para la medición de holografía digital.
- 83 Aparato para la medición de luz dispersa de resolución temporal
- 84 Aparato para la espectroscopia Raman y/o IR
- 9 Otra bomba de succión de aerosol (9)
- A continuación se describen formas de realizaciones preferidas, no limitantes, del sistema de medición (7) según la invención con concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) y cámara de medición (8) por medio de los siguientes dibujos. Estos no deben interpretarse de manera restrictiva y se entienden como componente de la descripción:
- Fig. 1 muestra, a modo de ejemplo y de forma esquemática, una parte del sistema de medición (7) según la invención con entrada del sistema de medición (71) y salida del sistema de medición (72) que comprende el concentrador de partículas de aerosol multietapa (1; representado con línea discontinua) con bomba de succión de aerosol (6) y canal de corriente circulante (64), así como la cámara de medición (8). El sistema de medición (7) con canal de corriente circulante (64) es ventajosamente cilíndrico, encontrándose las etapas de impactador virtuales (4, 4-1, 4-2, 4-x), los canales de conexión (5, 5-1, 5-2, 5-3), así como la cámara de medición (8), en serie y ventajosamente de forma lineal en el centro de la disposición cilíndrica. Por consiguiente, la bomba de succión de aerosol (6), el canal de corriente circulante (64) y el canal de aerosol residual (63) muestran un corte desde el interior hacia el exterior de un lado del sistema de medición (7). En este caso, las zonas que están completamente rodeadas en la representación, por ejemplo por el canal de corriente circulante (64) y el canal de aerosol residual (63), se sujetan en ciertos puntos mediante elementos de conexión finos (no representados) para proporcionar la estabilidad necesaria al sistema de medición (7) con canal de corriente circulante (64)..
- La bomba de succión de aerosol (6) puede tener la forma de un ventilador radial (60) u otra bomba. Esta genera una presión negativa en el sistema de medición (7), mediante lo cual el aerosol (2) se succiona a través de un primer canal de conexión (5, 5-1) a la entrada de muestra (41) de la primera etapa de impactador virtual (4-1). Allí se separa la mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21) a través de la salida lateral (42) de la etapa de impactador virtual (4) y, por tanto, las partículas de aerosol mayores (3) se concentran en la parte menor del aerosol (2). Las partículas de aerosol mayores (3) y la parte menor del aerosol (2) circulan a través de la salida de muestra (43) de la etapa de impactador virtual (4-1), que está dispuesta generalmente frente a la entrada de muestra (41). Desde la salida de muestra (43) de la primera etapa de impactador virtual (4-1), las partículas de aerosol (3) con la parte menor del aerosol (2) llegan al segundo canal de conexión (5, 5-2), que conecta la salida de muestra (43) de la primera etapa de impactador virtual (4-1) a la entrada de muestra (41) de la segunda, es decir, otra etapa de impactador virtual (4-2). Esta, como cualquier otra, de manera análoga a la primera etapa de impactador (4-1), separa la proporción mayor, es decir al menos 73 % en volumen, preferiblemente 83 % en volumen o más, de la fase gaseosa restante de la parte menor del aerosol (2) a través de la salida lateral (42). Si en la anterior etapa de impactador (4) no se separaron todas

las partículas finas (21), estas últimas, o al menos la mayor parte, también se separan a través de la salida lateral (42).

Si el aparato de medición (7) comprende otras etapas de impactador virtuales (4-2, 4-x), estas se disponen ventajosamente en serie del mismo modo.

La mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21) separada a través de la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador virtual (4-1) llega a la bomba de succión de aerosol (6) a través de la entrada de aerosol (61) y más adelante a la salida de aerosol (62). Desde allí, una parte (21-1) del aerosol con partículas finas (21) se evacua en el canal de aerosol residual (63) y, por ejemplo, después de que la cámara de medición (8) se reúne con el canal de conexión, que conecta la cámara de medición (8) a la otra bomba de succión de aerosol (9) opcional representada. De este modo, el sistema de medición (7) presenta únicamente una salida de muestra. Esto es especialmente ventajoso si las partículas de aerosol mayores (3) y/o las partículas finas (21) se filtran antes de la salida de la muestra.

Después de la salida del aerosol (62), la otra parte (21-2) del aerosol con partículas finas (21) se devuelve en corriente circulante (64) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6). La salida lateral (42) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2) está conectada al canal de corriente circulante (64) y evacua una parte de la fase gaseosa, que opcionalmente puede contener partículas finas (21). Mediante la presión negativa generada por la bomba de succión de aerosol (6) se produce asimismo una presión negativa en el canal de corriente circulante (64), a través del cual la fase gaseosa evacuada a través de la salida lateral (42) de la etapa de impactador adicional (4-2) y eventualmente las partículas finas (21) dispersas en la misma se succionan, se reúnen con la otra parte (21-2) del aerosol con partículas finas (21) que se encuentra en el canal de corriente circulante (64) y se devuelven conjuntamente a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6).

En la Fig. 1, a modo de ejemplo y opcionalmente, una parte del canal de corriente circulante (64) se ramifica y después del canal de conexión adicional (5, 5-3) después de la salida de muestra (43) de la segunda y, por tanto, a modo de ejemplo, la última etapa de impactador virtual (4-2, 4-x) se suministra como corriente de derivación. La corriente de derivación conduce a un mayor agrupamiento de las partículas de aerosol mayores (3) en el centro de la cámara de medición (8), lo que conduce a una medición aún mejor de prácticamente todas las partículas de aerosol (3). Por el contrario, las partículas finas (21), que se añaden como corriente de derivación desde la corriente circulante del canal de corriente circulante (64), no tienen ningún efecto negativo interferente en la medición.

También, a modo de ejemplo y opcionalmente, el canal de aerosol residual (63) después de la cámara de medición (8) se reúne con la salida de muestra (43). De este modo, la parte (21-1) del aerosol con partículas finas (21) guiadas en el canal de aerosol residual (63) se reúne con las partículas de aerosol (3) y la fracción volumétrica del aerosol (2) menor a presión normal después de la cámara de medición (8) y se transporta conjuntamente, de manera eventual a través de la bomba de succión de aerosol adicional (9), desde el sistema de medición (7). Por consiguiente, todas las partículas se pueden extraer del aerosol a descargar, mediante lo cual el gas que sale al ambiente ya no contiene partículas.

También se puede medir la corriente volumétrica de una parte del aerosol con partículas finas (21) con caudalímetros adecuados y regular el flujo. De este modo, también se puede regular la corriente volumétrica de la corriente circulante en el canal de corriente circulante (64).

Fig. 2 muestra a modo de ejemplo de una sección transversal de la estructura mecánica de una forma de realización del concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) con entrada del sistema de medición (71) y canal de corriente circulante (64) con un total de tres etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-2, 4-x). El concentrador de partículas de aerosol (1) presenta una bomba de succión de aerosol (6) en forma de un ventilador radial (60). Una parte del aerosol con partículas finas (21-1) se evacua a través del canal de aerosol residual (63). El canal de corriente circulante (64) contiene parte de aerosol con partículas finas (21-2), una parte de aerosol con partículas finas (21-2) forma la corriente de derivación, que se añade antes de la cámara de medición (8) a la parte menor del aerosol (2) con las partículas de aerosol mayores (3).

La parte de aerosol con partículas finas (21-2), que no conduce a la corriente de derivación (21-2), se conduce después de la ramificación de la corriente de derivación y las etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-2, 4-x) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6). En este caso, las salidas laterales (42) de la otra y de la última etapa de impactador virtual (4-2, 4-x) están conectadas al canal de corriente circulante (64), mediante lo cual la parte de la fase gaseosa de aerosol con partículas finas (21) separada en las etapas de impactador (4-2, 4-x) desemboca en el canal de circulación (64) y desde allí se conduce a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6).

Las zonas sombreadas, que están completamente rodeadas en la representación, por ejemplo por etapas de impactador virtual (4), salidas laterales (42), canal de conexión (5), canal de aerosol residual (63) y/o canal de flujo circulante (64), se sujetan puntualmente con elementos de conexión finos con la pared opuesta (no representada) para proporcionar la estabilidad necesaria al concentrador de partículas de aerosol multietapa (6) con canal de flujo circulante (64). Una parte del canal de corriente circulante (64) se ramifica, por ejemplo, y se suministra al aerosol con las partículas de aerosol mayores (3) como corriente de derivación después de la última etapa de impactador virtual (4, 4-x) y después del otro canal de conexión (5, 5-3).

Fig. 3 muestra análogamente a la Figura 2 una sección transversal de la estructura mecánica del concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) con entrada del sistema de medición (71) y canal de corriente circulante (64) con un total de tres etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-2, 4-x), estando configurada la bomba de succión de aerosol (6) en forma de una disposición de distribución de presión estática (65) con bomba de succión de aire (66; no representada).

La disposición de distribución de presión estática (65) presenta, por ejemplo, paredes con un gran número de aberturas (65a), paredes sin aberturas (65b), así como aberturas (65c) hacia el canal de corriente circulante (64), al menos una abertura de succión (66a) de la bomba de aire (66), al menos una entrada de retorno de aerosol (66b) de la bomba de aire (66) y al menos una salida de aerosol (62) de la disposición de distribución de presión (65), es decir, la bomba de succión de aerosol (6).

El aerosol (2) con las partículas finas (21; no representadas) se desvía en 90° en la primera etapa de impactador virtual (4-1) debido al efecto de succión de la bomba de aire (66) y se succiona a través de la salida lateral (42) de la etapa de impactador virtual (4-1) en la entrada de aerosol (61) y, por tanto, en la primera zona (representada en gris) de la disposición de distribución de presión (65) y desde allí se presiona nuevamente, mediante presión de salida de gas, a través de la entrada de retorno de aerosol (66b) en la segunda zona (zona blanca exterior de la disposición de distribución de presión (65)). Desde allí, una parte del aerosol con partículas finas (21-1) llega a través de la salida de aerosol (62) al canal de aerosol residual (63). La otra parte del aerosol con partículas finas (21-2) llega al canal de flujo circulante (64) a través de al menos una abertura (65c) y desde allí de vuelta a la entrada de aerosol (61).

Una parte del canal de corriente circulante (64) se ramifica, por ejemplo, y se suministra al aerosol con las partículas de aerosol mayores (3) como corriente de derivación después de la última etapa de impactador virtual (4, 4-x) y después del otro canal de conexión (5, 5-3).

Fig. 4 muestra a modo de ejemplo un ventilador radial (60) con paso axial en forma de motor de rotor externo con eje hueco.

Fig. 5 muestra a modo de ejemplo de la instalación del ventilador radial (60) en el concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) en la zona de la primera etapa de impactador virtual (4-1).

Fig. 5a muestra la sección transversal del estator del ventilador radial (60).

Fig. 5b muestra la sección transversal del rotor del ventilador radial (60).

Fig. 5c muestra la sección transversal de la rueda de turbina del ventilador radial (60), que está montada en el rotor del motor de rotor externo,

Fig. 5d muestra la sección transversal del concentrador de partículas de aerosol multietapa (1) en la zona de la primera etapa de impactador virtual (4-1), en la que está instalado el ventilador radial (60).

Fig. 5e muestra la sección transversal del ventilador radial (60) con estator, rotor y rueda de turbina instalado en la zona de la primera etapa de impactador virtual (4-1) del concentrador de partículas de aerosol multietapa (1).

Fig. 6: muestra a modo de ejemplo una disposición de distribución de presión estática (65) a través de la cual puede circular la mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21; no representadas), que llegan al sistema de medición (7, no representado) a través de la entrada del sistema de medición (71). La disposición de distribución de presión (65), junto con la bomba de aire (66; no representada), forma la bomba de succión de aerosol (6; no representada) y presenta en el centro una entrada de aerosol (61) y una primera zona adyacente (representada en gris). En esta primera zona se encuentra la abertura de succión de la bomba de aire (66), así como paredes con un gran número de aberturas (65a). Estas sirven como dispositivo para distribuir la presión negativa generada por la bomba de aire (66) en la primera zona de la manera más uniforme posible. La parte del aerosol (2) con partículas finas (21) succionada por la bomba de succión de aire (66) se conduce a través de la entrada de retorno de aerosol (66b) a una segunda zona, que está separada de la primera zona por una pared sin abertura (65b). Esta segunda zona comprende al menos una salida de aerosol (62), a través de la cual se conduce el aerosol (2) junto con las partículas finas (21) al canal de aerosol residual (63), así como un gran número de aberturas (65c) al canal de corriente circulante (64). En este caso, la entrada de retorno de aerosol (66b), la salida de aerosol (62), así como al menos una abertura

(65c), están ventajosamente separadas entre sí con al menos un dispositivo para distribuir de manera óptima las diferencias de presión producidas por las diferentes entradas/salidas de aerosol (2) con partículas finas (21). Ventajosamente, la disposición de distribución de presión (65) también está limitada desde el exterior por una pared (65b) sin aberturas.

Fig. 7 muestra la cámara de medición (8) con un aparato para la medición de fluorescencia (81), representado a modo de ejemplo, como aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3; no representadas) en tiempo real y en vuelo. La flecha muestra la dirección de vuelo de las partículas de aerosol (3). Si se utiliza una corriente de derivación, las partículas de aerosol mayores (3) a examinar se centran en el centro de la cámara de medición, lo que posibilita una medición más eficiente y precisa de todas las partículas de aerosol (3). Las partículas finas (21; no representadas) en la corriente de derivación no interfieren o lo hacen solo de manera insignificante en los resultados de la medición. La luz de excitación del dispositivo para la medición de fluorescencia (81) procede de una fuente lumínica desde arriba a la derecha (no representada) y se enfoca con una lente a través de una ventana en la pared de la cámara de medición (8) sobre la trayectoria de vuelo de las partículas de aerosol (3). La partícula de aerosol (3) absorbe la luz y emite de nuevo una parte de esta, es decir, la luz fluorescente. Esta última sale por la ventana inferior derecha, se recoge con ayuda de dos lentes y se dirige al receptor, que está representado abajo a la derecha fuera de la cámara de medición (8). Por ejemplo, entre las dos lentes se coloca un filtro óptico.

Fig. 8 muestra la cámara de medición (8) con un aparato para la medición holográfica digital (82), representado a modo de ejemplo, como aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3) en tiempo real y en vuelo.

Fig. 8a muestra la configuración óptica para la medición de holografía (82) desde un lado, indicando la flecha la dirección de vuelo de las partículas a examinar. La disposición representada se denomina también procedimiento en línea o Gabor.

El elemento rectangular de la izquierda representa la fuente lumínica: la luz coherente emitida se colima, es decir, se concentra por medio de una lente. A continuación, el haz de luz entra en el canal de medición (8) a través de una ventana en la pared del canal de medición. La luz difractada por la partícula de aerosol (3; no representada) interfiere con la luz de la fuente lumínica y sale del canal de medición a través de una ventana por el lado opuesto y se dirige con otra lente al receptor de imágenes. Además, la luz dispersa emitida por la partícula de aerosol se recibe por el receptor de activación, que está dispuesto en la parte superior izquierda. El receptor de activación desencadena la grabación holográfica resultante, representando la imagen grabada una imagen digital, es decir, una holografía digital.

Fig. 8b muestra una sección transversal a través de la cámara de medición representada de forma circular (8) y a través del dispositivo de medición (80). Se representa una configuración con dos disposiciones en línea para la medición de holografía digital (82), pudiendo estar las disposiciones desplazadas en la dirección de vuelo de las partículas de aerosol (3; no representadas), mediante lo cual se puede medir también la velocidad de las partículas de aerosol (3) en vuelo. El ángulo entre dos configuraciones asciende, por ejemplo, a 90°, pudiendo ser este también un ángulo diferente en el intervalo de más de 1° a menos de 180°. Entre los dos receptores de imágenes está dispuesto un receptor de activación que recibe la luz de las dos fuentes lumínicas que se dispersó en las partículas de aerosol (3). El ángulo entre la configuración de la holografía y la configuración del receptor de activación se puede seleccionar arbitrariamente.

Fig. 9 muestra la cámara de medición (8) con un aparato representado a modo de ejemplo para la medición de la luz dispersada (83) de resolución temporal, incluida la medición de polarización como aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3; no representadas) en tiempo real y en vuelo. La fuente de luz de excitación en la parte inferior derecha genera la luz de excitación, que se colima mediante una lente y se dirige a través de una ventana al canal de medición. Un espejo desvía la luz, por ejemplo, 90° hacia arriba, mediante lo cual la luz de excitación ilumina las partículas de aerosol (3) en contra de su trayectoria de vuelo. Por consiguiente, las partículas de aerosol (3) se iluminan al pasar en vuelo, mediante lo cual se genera luz dispersa. Una parte de la luz dispersada producida se dirige a través de la ventana superior a la pared de la cámara de medición (8) y se colima mediante una lente y, por ejemplo, se dirige a un filtro de polarización, que filtra la luz y la separa en luz con polarización vertical y en luz con polarización horizontal. Una parte de la luz se desvía 90°, la parte de la luz con polarización diferente continúa en la misma dirección que la luz incidente. Ambos haces de luz de polarización diferente se enfocan y detectan con otra lente en un receptor separado respectivamente.

Fig. 10 muestra esquemáticamente una sección transversal a través de la cámara de medición (8) representada de forma circular y a través del aparato de medición (80), representando el aparato de medición (80) una disposición para la espectroscopia Raman y/o infrarroja (IR) (84). En este caso, un rayo láser que parte de una fuente de láser (extremo izquierdo) se colima mediante una lente (dispuesta entre la fuente de láser y la cámara de medición (8)) y se dirige a través de una ventana a la cámara de medición (8) del sistema de medición (1). En el lado opuesto de la cámara de medición (8), la parte no excitada de láser sale de nuevo

5

de la cámara de medición (8). En el centro de la cámara de medición (8), una parte del rayo láser incide sobre las partículas de aerosol mayores (3; no representadas), excitándose estas por el rayo láser. Esto a su vez conduce a la emisión de luz con diferente longitud de onda en todas las direcciones. Una parte de la luz emitida sale de la cámara de medición (8) a través de otra ventana (representada, por ejemplo, en un ángulo de 90° con respecto al láser emitido), donde se concentra mediante otra lente y se envía al detector del espectrómetro de espectroscopía Raman y/o IR (84) y se analiza a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de medición (7) con entrada del sistema de medición (71) y salida del sistema de medición (72) para el examen de partículas de aerosol mayores (3) concentradas de un aerosol (2) en la fase gaseosa, que comprende un concentrador de partícula de aerosol multietapa (1) para la separación de partículas finas (21) y de una parte de la fase gaseosa del aerosol (2), así como una cámara de medición (8) para el análisis de las partículas de aerosol mayores (3)

i) comprendiendo la cámara de medición (8) al menos un aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3), en especial en tiempo real, y

ii) comprendiendo el concentrador de partículas de aerosol (1) una primera (4-1) y al menos una última (4-x) etapa de impactador virtual (4), en cada caso con una entrada de muestra (41), una salida lateral (42) y una salida de muestra (43), separando las etapas de impactador virtual (4) una mayor parte del aerosol (2) con partículas finas (21) y concentrando las partículas de aerosol mayores (3) en la parte menor del aerosol (2), comprendiendo el concentrador de partículas de aerosol (1)

- una bomba de succión de aerosol (6) con entrada de aerosol (61) y salida de aerosol (62) para la generación de una presión negativa en las etapas de impactador virtuales (4), estando conectada la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador virtual (4-1) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), caracterizado por que el concentrador de partículas de aerosol (1) comprende

- un canal de corriente circulante (64), en el que una porción del aerosol separado con partículas finas (21) se devuelve en corriente circulante desde la salida de aerosol (62) a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), estando conectada la salida lateral (42) de la última (4-x) etapa de impactador virtual (4) al canal de corriente circulante (64).

2. Sistema de medición (7) según la reivindicación 1, caracterizado por que

i) la bomba de succión de aerosol (6) es un ventilador radial (60) o una disposición de distribución de presión estática (65) con bomba de aire (66), estando dispuesta una abertura de entrada de aerosol en el centro del ventilador radial (60) o en el centro de la disposición de distribución de presión estática (65), y/o

ii) el sistema de medición (1) comprende otra bomba de succión de aerosol (9) que está dispuesta entre la cámara de medición (8) y la salida del sistema de medición (72).

3. Sistema de medición (7) según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizado por que las partículas de aerosol mayores (3) presentan un diámetro de partícula de al menos 1 µm, preferentemente al menos 5 µm, en especial al menos 10 µm, medido mediante difracción de luz según la norma ISO 13320:2009.

4. Sistema de medición (7) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el aparato de medición (80) para el análisis de las partículas de aerosol mayores (3) representa al menos un aparato de medición i) para la medición de fluorescencia (81), ii) para la medición de holografía digital (82), iii) para la medición de luz dispersa de resolución temporal (83) y/o iv) para la espectroscopia Raman y/o infrarroja (84).

5. Sistema de medición (7) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el concentrador de partículas de aerosol (1) presenta al menos dos etapas de impactador virtual (4), en cada caso con una entrada de muestra (41), una salida lateral (42) y una salida de muestra (43), así como al menos tres canales de conexión (5) separados de entre sí por las etapas de impactador (4).

6. Sistema de medición (7) según la reivindicación 5, caracterizado por que la salida de aerosol (62) de la bomba de succión de aerosol (6) está conectada tanto a) a un canal de aerosol residual (63), que evacua una parte (21-1) de aerosol aspirado con partículas finas de aerosol (21), como b) a un canal de corriente circulante (64), devolviendo el canal de corriente circulante (64) la otra parte (21-2) de aerosol aspirado con partículas finas de aerosol (21) en corriente circulante a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6).

7. Sistema de medición (7) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que las etapas de impactador virtual (4) cumplen las siguientes condiciones:

$$(St)^{1/2} \geq 0.4 \quad (1)$$

$$\text{en la cual} \quad St = (d_p^2 \cdot C \cdot u_j \cdot \rho_p) / (9 \cdot l \cdot \mu) \quad (2)$$

y St = número de Stokes [-],

d_p = diámetro de corte de las partículas de aerosol (3) a concentrar [m],

C = factor de Cunningham [-]

u_j = velocidad media del chorro [m/s]

ρ_p = densidad de las partículas [kg/m³]

l = diámetro de la boquilla [m] de la entrada de muestra

5 μ = viscosidad dinámica de fluido [Pa·s].

8. Sistema de medición (7) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que después de la salida de muestra (43) de la última etapa de impactador virtual (4-x) se suministra una corriente de derivación en la dirección del flujo de aerosol, representando la corriente de derivación i) una parte ramificada del canal de corriente circulante (64), o ii) el canal de aerosol residual (63) o una parte del mismo.

10 9. Procedimiento para el examen de partículas de aerosol mayores (3) concentradas de un aerosol (2) con el sistema de medición (7) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que

15 i) con el concentrador de partículas de aerosol (1) se separa la fracción volumétrica mayor a presión normal del aerosol (2) con las partículas finas (21) a través de la salida lateral (42) de las etapas de impactador virtual (4, 4-1, 4-x) y eventualmente al menos otra etapa de impactador virtual (4, 4-2), estando conectada la salida lateral (42) de la última (4-x) y, si está presente, de al menos otra (4-2) etapa de impactador virtual (4) al canal de corriente circulante (64),

20 ii) las partículas de aerosol mayores (3) se concentran en la parte menor del aerosol (2) y se guían a través de la salida de muestra (43) de la primera etapa de impactador virtual (4, 4-1), eventualmente a través de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2), a la última etapa de impactador virtual (4-x) y a continuación a la cámara de medición (8), y

iii) las partículas de aerosol mayores (3) se examinan en la cámara de medición (8) con el aparato de medición (80) para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de las partículas de aerosol (3) en la fase gaseosa y preferiblemente en tiempo real.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que

25 - con la bomba de succión de aerosol (6) se succiona el aerosol (2) a través de un primer canal de conexión (5-1) a la primera etapa de impactador virtual (4-1) y allí se separa en

i. un aerosol con partículas finas (21), que conduce a través de la salida lateral (42) de la etapa de impactador (4-1) a la bomba de succión de aerosol (6) a través de la entrada de aerosol (61), y

30 ii. un aerosol con las partículas de aerosol mayores (3), que conduce a un segundo canal de conexión (5-2) a través de la salida de muestra (43) de la etapa de impactador (4-1),

- una parte (21-1) del aerosol con partículas finas (21) se evacua después de la salida de aerosol (62) de la bomba de succión de aerosol (6) en el canal de aerosol residual (63) y la otra parte (21-2) del aerosol con partículas finas (21) en el canal de flujo circulante (64) se devuelve a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6),

35 - el aerosol con las partículas de aerosol mayores (3) en el segundo canal de conexión (5-2) se envía a la entrada de muestra (41) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2), evacuándose una parte de la fase gaseosa del aerosol enviado (2) a través de la salida lateral (42) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2), y enviándose el aerosol concentrado de este modo con las partículas de aerosol mayores (3) a través de la salida de muestra (43) de al menos otra etapa de impactador virtual (4-2) a al menos otro canal de conexión (5-3),

40 - la fase gaseosa evacuada a través de la salida lateral (42) de la al menos otra etapa de impactador virtual (4-2) se introduce en el canal de corriente circulante (64) y se devuelve conjuntamente a la entrada de aerosol (61) de la bomba de succión de aerosol (6), y

45 - las partículas de aerosol (3) concentradas se dirigen desde la salida de muestra (43) de la última etapa de impactador virtual (4-x) en la dirección del flujo de aerosol a través de la cámara de medición (8) para examinar las partículas de aerosol (3) con el aparato de medición (80).

11. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, caracterizado por que las partículas de aerosol mayores (3) en la fracción volumétrica de aerosol menor a presión normal se concentran con el concentrador de partículas de aerosol (1) en un factor de al menos 50, preferiblemente en un factor de al menos 200, y en especial en un factor de al menos 500.

- 5 12. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado por que el canal de aerosol residual (63) después de la cámara de medición (8) se suministra a la salida de muestra de la cámara de medición (8), mediante lo cual una porción (21-1) del aerosol con partículas finas (21) se reúne con las partículas de aerosol (3) y la fracción volumétrica de aerosol (2) menor a presión normal y eventualmente se transportan fuera del sistema de medición (7) mediante otra bomba de succión de aerosol (9).
- 10 13. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizado por que la bomba de succión de aerosol (6) del concentrador de partículas de aerosol (1) se ajusta, en especial mediante la potencia de la bomba y/o válvulas reguladoras de flujo en el canal de aerosol residual (63), de tal manera que en la entrada de aerosol (61) y, por tanto, esencialmente también en la salida lateral (42) de la primera etapa de impactador virtual (4-1), se genera una presión negativa con respecto a la presión exterior del concentrador (1) de 30 a 10.000 Pa, en particular de 100 a 400 Pa.
- 15 14. Uso del sistema de medición (7) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8 y del procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 9 a 13 para el examen de aerosoles (2), en especial de partículas de aerosol mayores (3) concentradas de los aerosoles (2), en la fase gaseosa y preferentemente en tiempo real.
- 20 15. Uso según la reivindicación 14, caracterizado por que el aerosol (2) es un aerosol primario o secundario, una niebla, un aerosol atmosférico, un aerosol de interior, un aerosol industrial, un aerosol técnico, un aerosol natural orgánico y/o inorgánico y/o las partículas de aerosol (3) de los aerosoles (2) comprenden polen, esporas, bacterias, virus, partículas en suspensión sólidas o líquidas, polvos como polvo en suspensión, polvo desértico y/o mineral y/o ceniza como ceniza volcánica.

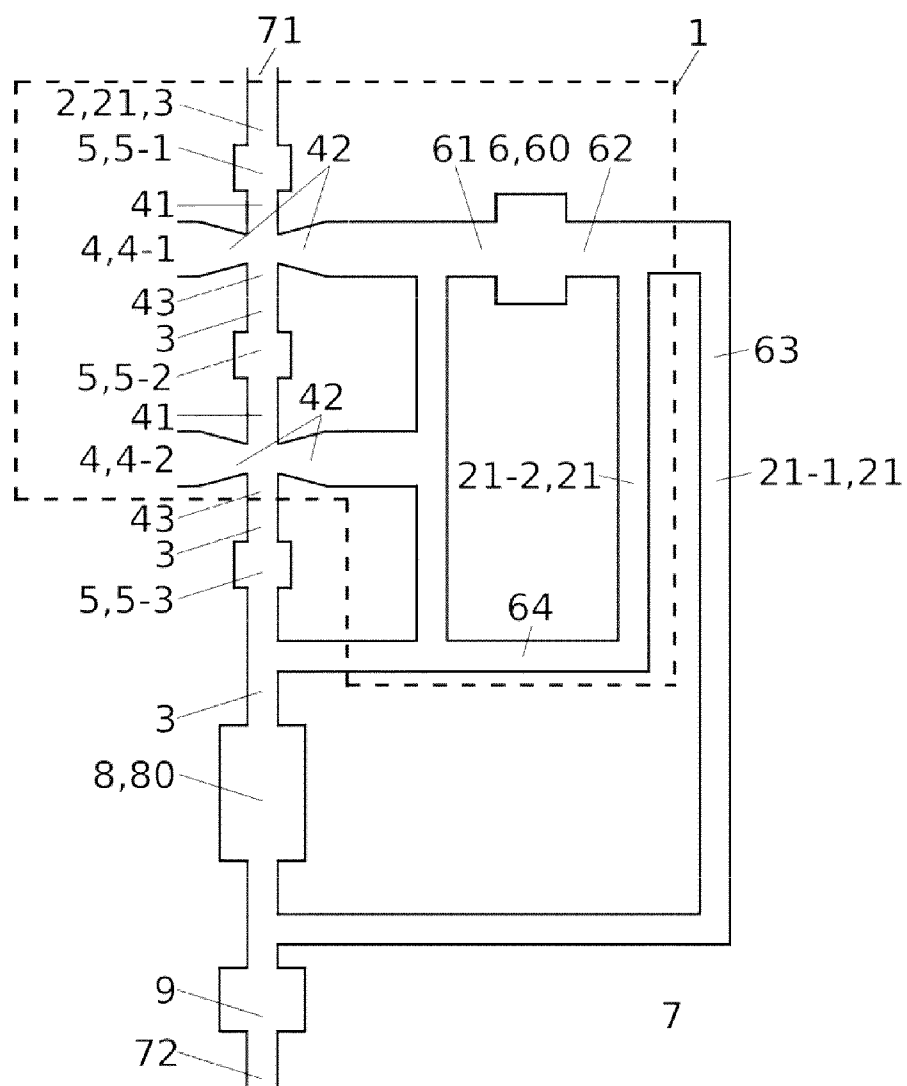


Fig. 1

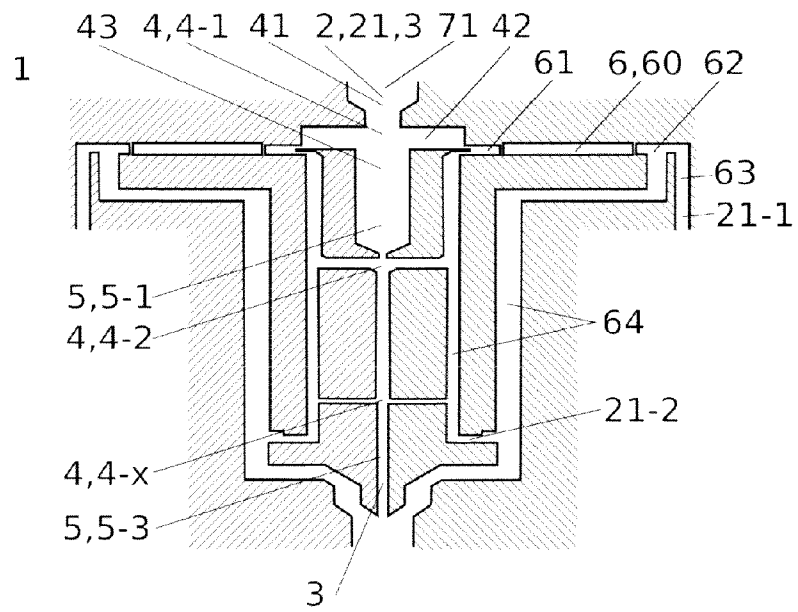


Fig. 2

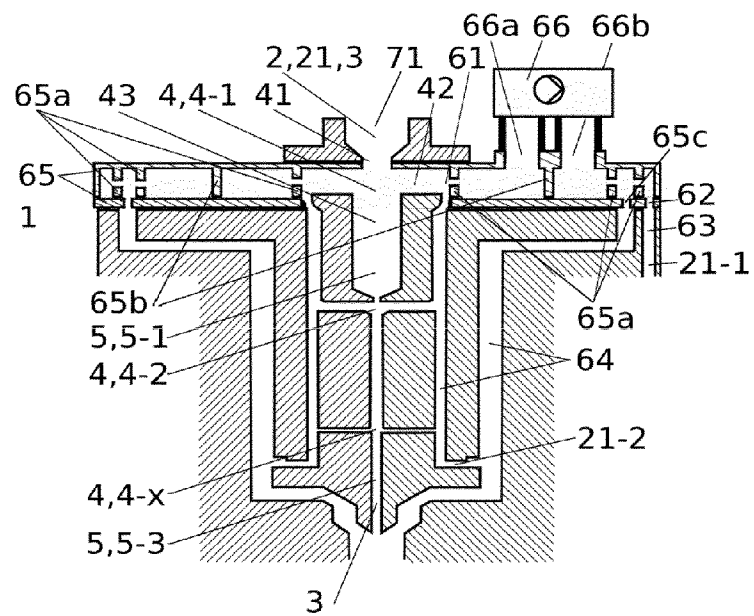


Fig. 3

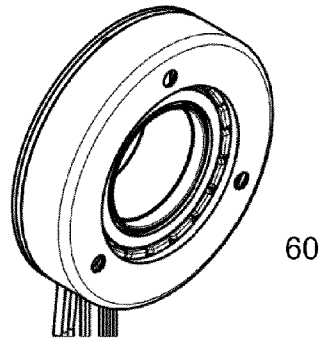


Fig. 4

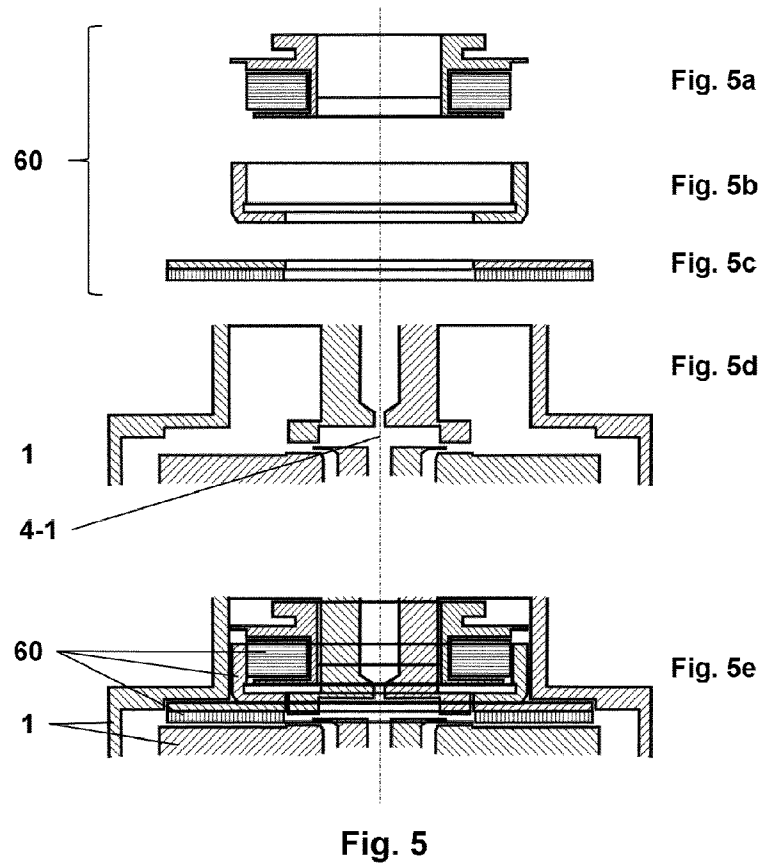


Fig. 5

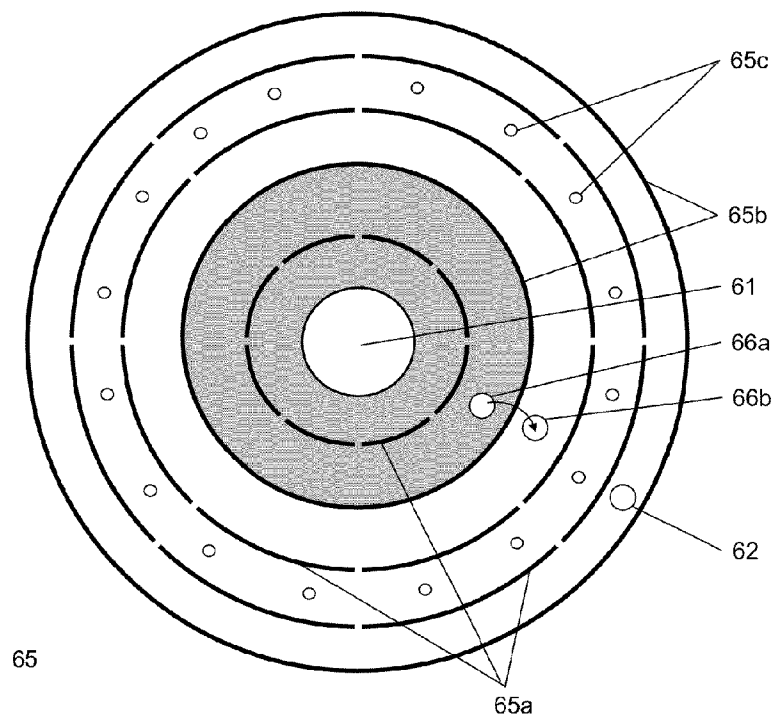


Fig. 6

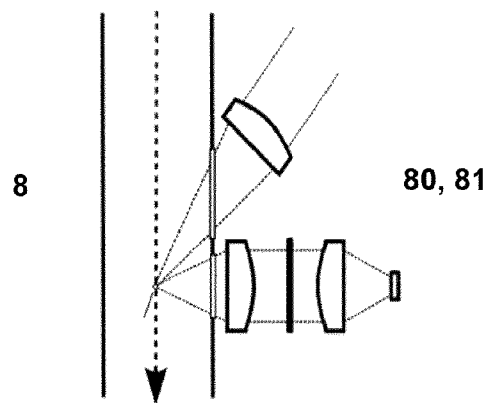


Fig. 7

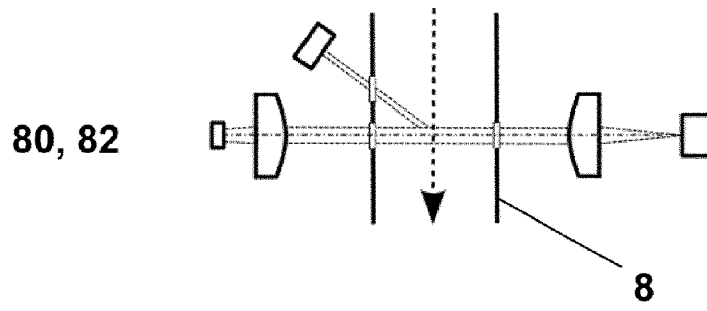


Fig. 8a

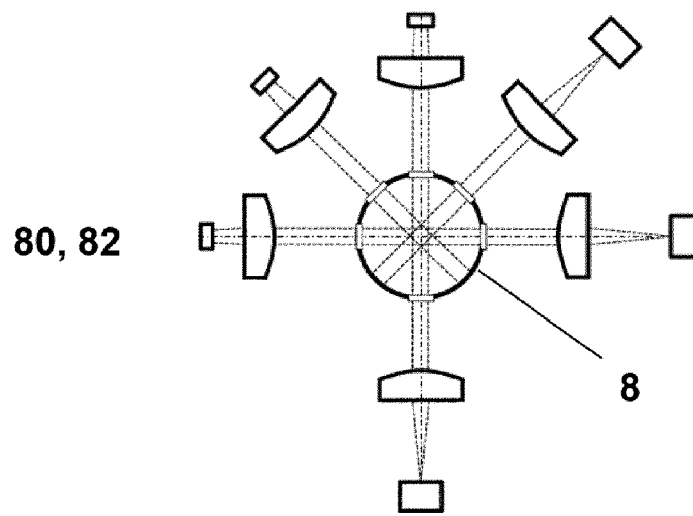


Fig. 8b

Fig. 8

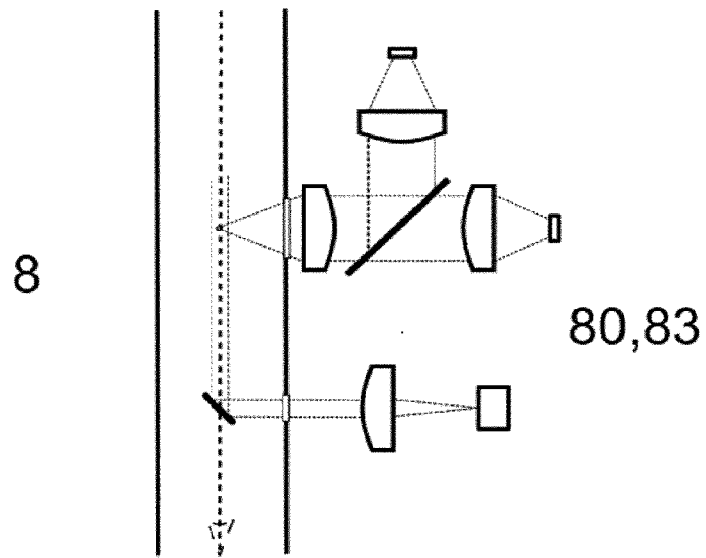


Fig. 9

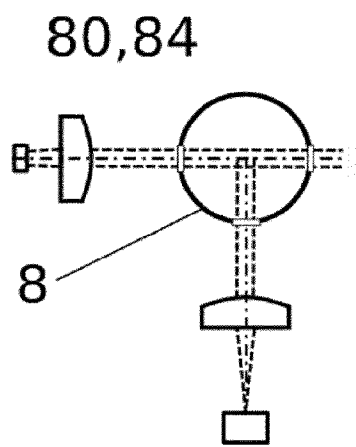


Fig. 10