

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50221/2021 (51) Int. Cl.: **G01N 1/22** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 26.03.2021 **G01N 15/06** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.07.2022 **G01N 15/10** (2006.01)
G01N 1/28 (2006.01)
G01N 15/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 2410326 A2
US 2015097048 A1
EP 3015843 A1
EP 3454037 A1
DE 102017130981 B3

(71) Patentanmelder:
AVL DiTest GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Schriefl Mario
8010 Graz (AT)
Bergmann Alexander Dr.
8052 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Patentanwälte Pinter & Weiss OG
1040 Wien (AT)

(54) **Kalibriereinheit für Partikelmessgeräte**

(57) Verfahren zum Einstellen einer Partikelkonzentration von Prüfpartikel (13a) in einem Prüfaerosol (13) an einem Prüfaerosolaustragsanschluss (21) einer Kalibriereinheit (1), wobei der Prüfaerosolaustragsanschluss (21) in der Kalibriereinheit über eine Aerosolleitung (14) mit einem Prüfaerosoleingangsanschluss (19) verbunden wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Aerosolleitung (14) ein Volumenstrom (V_s) in einen an einer Abzweigstelle (3) angeordneten Verdünnungszweig (20) abgezweigt wird, wobei der Volumenstrom (V_s) mittels zumindest einer im Durchfluss regelbaren Pumpe (12) im Verdünnungszweig (20) eingestellt wird, und der abgezweigte Volumenstrom (V_s) über zumindest eine Filtereinheit (17) geführt wird, um Prüfpartikel (13a) aus dem Volumenstrom (V_s) im Verdünnungszweig (20) auszufiltern, und der gefilterte Volumenstrom wieder in die Aerosolleitung (14) rückgeführt wird.

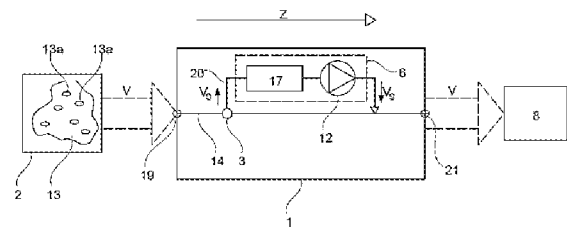


Fig. 1

Zusammenfassung

Verfahren zum Einstellen einer Partikelkonzentration von Prüfpartikel (13a) in einem Prüfaerosol (13) an einem Prüfaerosolanschluss (21) einer Kalibriereinheit (1), wobei der Prüfaerosolanschluss (21) in der Kalibriereinheit über eine Aerosolleitung (14) mit einem Prüfaerosoleingangsanschluss (19) verbunden wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Aerosolleitung (14) ein Volumenstrom (V_s) in einen an einer Abzweigstelle (3) angeordneten Verdünnungsweig (20) abgezweigt wird, wobei der Volumenstrom (V_s) mittels zumindest einer im Durchfluss regelbaren Pumpe (12) in Verdünnungsweig (20) eingestellt wird, und der abgezweigte Volumenstrom (V_s) über zumindest eine Filtereinheit (17) geführt wird, um Prüfpartikel (13a) aus dem Volumenstrom (V_s) im Verdünnungsweig (20) auszufiltern, und der gefilterte Volumenstrom wieder in die Aerosolleitung (14) rückgeführt wird.

Fig. 1

Kalibriereinheit für Partikelmessgeräte

Kalibriereinheit zur Kalibration zumindest eines Partikelmessgeräts, wobei in der Kalibriereinheit eine Aerosolleitung vorgesehen ist, die einen Prüfaerosoleingangsanschluss mit einem Prüfaerosolausgangsanschluss verbindet und die Kalibriereinheit am

5 Prüfaerosolausgangsanschluss ein Prüfaerosol mit einer vorgegebenen Konzentration an Prüfpartikel bereitstellt.

Feinstaubbelastung ist in Zeiten erhöhter Mobilisierung und Globalisierung ein gesundheitlich höchst relevantes Thema. Daher ist die Analyse von Feinstaub, beispielsweise als Ausstoß von Dieselmotoren, speziell bei alveolengängigen Partikelgrößen, von entscheidender

10 Bedeutung. Vor allem die Automobilindustrie, aber auch die Schifffahrt, trägt maßgeblich zu dieser Belastung bei, beispielsweise durch Partikeln in einem Abgasstrom eines Verbrennungsmotors, aber auch durch andere Partikelemissionen, wie z.B.

Bremsabriebpartikeln. Regulationen zur Reduktion oder sogar Vermeidung der Feinstaubbelastung sind auf nationaler und supranationaler Ebene vorhanden.

15 Messmethoden von Partikeln, sowie Partikelmessgeräte und deren Eigenschaften sind hinreichend bekannt. Solche Partikelmessgeräte werden in einer Vielzahl von Anwendungen benötigt, wo entweder Partikelgrößen und/oder Partikelkonzentration, oder andere

Partikelcharakteristika bestimmt werden sollen. Um eine verlässliche Aussage über beispielsweise die Partikelkonzentration von bekannter Größe in einem Aerosol zu

20 bestimmen, müssen solche Partikelmessgeräte regelmäßig kalibriert und gewartet werden, weil oftmals ein Drift oder andere Abweichungen des Partikelmessgeräts die Qualität der Messung auf kurze oder lange Dauer beeinflussen. Solche Partikelmessgeräte unterliegen daher Kontrollen in der Fertigung und auch regelmäßigen Kontrollen durch die Qualitätskontrolle in einem Unternehmen.

25 Die Kalibration solcher Partikelmessgeräte ist jedoch herausfordernd, da beispielweise eine Vielzahl an Größenordnungen im Konzentrationsbereich der Partikel optimalerweise in einem Vorgang kalibriert werden müssen, beispielsweise von 10 Partikel/Kubikzentimeter (pt/ccm) bis zu mehreren Millionen pt/ccm. Dementsprechend sind Verdünnungsschritte eines Messaerosols während einer Kalibration unerlässlich, jedoch führen viele

30 Verdünnungsschritte vor allem mit unterschiedlichen Volumina von Verdünnungsmittel und Kalibrierstandard durch lineare Fehlerfortpflanzung oftmals zu großen Fehlern, beispielsweise im zweistelligen Prozentbereich.

Im Zuge der Einführung der Partikelanzahlmessung für die Periodisch Technische Überprüfung werden derzeit kostengünstige Partikelzähler entwickelt. Diese Geräte werden

35 im Zuge einer Baumusterprüfung auf Konformität überprüft, und danach in großen Stückzahlen hergestellt. Am Ende vom Herstellungsprozess müssen diese Geräte einzeln

noch einmal im Zuge einer Kalibrierung überprüft werden (=Stückprüfung). Bei dieser Stückprüfung wird das Gerät üblicherweise zunächst justiert (z.B. nach einer 1-Punkt Justierung), und anschließend erfolgt eine Kalibrierung, mit der überprüft wird, ob das einzelne Gerät innerhalb der Genauigkeitsgrenzen liegt. Diese Kalibrierung ist in der
5 Gerätespezifikation definiert. Beispielsweise schreiben nationale und supranationale Normen Spezifikationen für Neugeräte und deren Wartung vor, wie die EU-Richtlinie 2014/32/EU, die Schweizer Verordnung über Abgasmessmittel von Verbrennungsmotoren (in der Fassung vom 1.12.2018) oder auch die Niederländische Norm No. IENW / BSK-2019/202498 (in der Fassung von 21.11.2019). Letztere kennt eine NPTI ("new PTI"; PTI = periodische
10 technische Inspektion) welche vorschreibt, dass das Gerät bei der Stückprüfung einer Linearitätsmessung mit folgenden Spezifikationen unterzogen wird. Eine Messung wird gegenüber einem rückgeführten Referenzgerät mittels Partikel in einem Aerosol mit einer geometrischen, mittleren Größe (GMD) von 80 nm und mindestens 5 Messpunkte inklusive des geringsten und höchsten Wertes des Messbereichs (z.B. 5 000 pt/ccm, 50 000 pt/ccm,
15 100 000 pt/ccm, 500 000 pt/ccm, 5 000 000 pt/ccm) durchgeführt.

Alle bekannten Verdünnungsverfahren haben jedoch den Nachteil, dass sie eine partikelgrößenabhängige Verdünnungscharakteristik aufweisen, und deshalb die Partikelgrößenverteilung (PND) verschieben. Zudem ist diese größenabhängige Verdünnungscharakteristik teilweise nicht langzeitstabil und ändert sich z.B. durch
20 Zuwachsen von eingesetzten Filtern. Weiters lässt sich vielfach keine definierte Konzentration einstellen, stattdessen muss manuell die Verdünnung so eingestellt werden, dass das Referenzgerät, mit dem parallel gemessen wird, die gewünschte Konzentration anzeigt.

WO 2015/054462 A1 zeigt eine Kalibriereinheit für Partikelmessgeräte mit einem
25 Partikelgenerator, einer Verdünnungsstufe über eine Verdünnungsbrücke, einer Mischeinheit und einem Referenzmessgerät. Der Bereich der gemessenen Prüfpartikel ist in einem sehr niedrigen Bereich mit 1.000 pt/L, was 1 pt/ccm entspricht. Diese Werte sind für reale Feinstaubbelastungen äußerst gering.

WO 2019/120821 A1 offenbart eine Kalibriereinheit für Partikelmessgeräte mit zwei
30 Verdünnungsstufen und einer Klassifiziereinheit. Die Verdünnungsstufen werden über Ventile und Venturipumpen gesteuert. Im Regelfall sind Fehler bei der Ansteuerung von Ventilen hoch und die Messung der Partikelkonzentration ist ungenau. In der Offenbarung sind keine Konzentrationsbereich für die Partikelmessung angegeben.

Die Kalibriereinheiten nach dem Stand der Technik ermöglichen aufgrund der festgelegten
35 Verdünnungsstufen lediglich eingeschränkte Konzentrationsabstufungen der erzeugten

Partikelkonzentration. Eine flexible, insbesondere stufenlose, Einstellung des Partikelkonzentration ist damit nicht möglich.

Die Aufgabe der gegenständlichen Erfindung ist es eine Kalibriereinheit bereit zu stellen, welche eine stufenlose Einstellung mit großem Konzentrationsbereich für reale
5 Feinstaubemittenten ermöglicht.

Die technische Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Konzentration von Prüfpartikel im Prüfaerosol mittels Verdünnungsschleife über zumindest eine Pumpe stufenlos eingestellt werden kann.

Für Verdünnungen der Partikelkonzentration eines Prüfaerosols können verschiedene
10 Methoden angewandt werden. In der erfindungsgemäßen Verdünnungsschleife wird ein Teil des Prüfaerosols aus einer Aerosolleitung entnommen, gefiltert und wieder als partikelfreier Anteil der Aerosolleitung zugeführt. Eine Aerosolleitung verbindet einen Prüfaerosolanschluss mit einem Prüfaerosolaustrittsanschluss, wobei eine Verdünnungsschleife zwischen Prüfaerosolanschluss und Prüfaerosolaustrittsanschluss
15 angeordnet ist. Am Prüfaerosolanschluss tritt ein Aerosol, in bevorzugter Ausführung ein Prüfaerosol, in die Kalibriereinheit mit einem bestimmten Volumenstrom ein. Aus dieser Aerosolleitung wird ein Teil des Volumenstroms in erfindungsgemäße Verdünnungsschleife geleitet. Die Höhe des entnommenen Volumenstroms wird über eine regelbare Pumpe geregelt, und darf maximal so hoch sein, wie der Volumenstrom selbst, wobei in diesem Fall
20 die Konzentration an Prüfpartikel null wäre. Diese Verdünnungsschleife funktioniert umso besser, je höher der Volumenstrom ist, weil dann eine genaue Regelung über die Pumpe besser möglich ist. Dies begünstigt die parallele Kalibrierung von mehreren Partikelmessgeräten. Durch Steuern der Pumpendrehzahl kann so eine stufenlose Verdünnung innerhalb verschiedener Konzentrationsbereiche ermöglicht werden und
25 dadurch eine effektive Kalibration eines Partikelmessgeräts am Prüfaerosolaustrittsanschluss gewährleisten. Zudem können vor und nach der Pumpe Ausgleichsgefäße verwendet werden, um etwaige Pumpenpulsationen zu eliminieren und so eine stabile Funktion der Pumpe gewährleisten

Erfindungsgemäße Kalibriereinheit kann mit einer Vielzahl von verschiedenen Prüfpartikeln
30 arbeiten. Beispielsweise können Prüfaerosole Prüfpartikel aus realen Emittenten verwenden, um in die Kalibriereinheit eingespeist zu werden. Die Filtereinheit in der Verdünnungsschleife entfernt effektiv die Partikel in einem Aerosol. Dafür ist in erfindungsgemäßer Verdünnungsschleife zumindest ein Partikelfilter angeordnet. Partikel aus beispielsweise realen Emittenten können dabei auch klassifiziert werden, um eine gewünschte
35 Partikelgrößenverteilung zu erhalten. Das kann in einer bevorzugten Ausführungsform über Filter mit definierter Maschenweite, oder auch „Cut-off“, realisiert werden. Auch andere

Klassifiziereinheiten sind denkbar. So kann auch beispielsweise eine gewünschte Größenverteilung an Partikel eingestellt werden. Es könne auch verschiedene Partikelfilter unterschiedlicher Maschenweite verwendet werden. Das kann beispielsweise über eine serielle Anordnung von Partikelfilter ermöglicht werden, um nur gewisse Partikelgrößen zu entfernen. Es können nicht alle Partikelgrößen für Kalibration eines Partikelmessgeräts relevant sein. Es können auch mehrere Partikelfilter parallel angeordnet sein, um die effektive Filterfläche zu erhöhen. Das kann vorteilhaft sein, um einen längeren Betrieb der Kalibriereinheit zu ermöglichen, ohne verblockte Partikelfilter tauschen oder reinigen zu müssen.

10 In einer bevorzugten Ausführungsform kann ein Prüfaerosol am Prüfaerosolanschluss über einem Partikelgenerator der Kalibriereinheit zur Verfügung gestellt werden. Solche Partikelgenerator können Prüfpartikel mit unterschiedlichen Größenverteilungen und Konzentrationen herstellen. Das kann beispielsweise über definierte Verbrennung, definierte Verdampfung eines Lösungsmittels nach Verstäubung oder Ultraschallverdampfung erreicht werden. Je nach Anwendung des Partikelmessgeräts kann es notwendig sein ein 15 Prüfaerosol mit bestimmter Prüfpartikelgröße zu erzeugen. Einem Partikelgenerator kann zusätzlich ein Gas zugeführt werden, um das bereitgestellte Aerosol zu verdünnen und, um eine bestimmte Konzentration an Prüfpartikel einzustellen.

Bevorzugterweise kann die Kalibriereinheit am Prüfaerosolanschluss mehreren 20 Partikelmessgeräten parallel ein Prüfaerosol zuführen. Das kann eine gleichzeitige Kalibrierung von mehreren Partikelmessgeräten ermöglichen. Die Kalibriereinheit speziell die Verdünnungsschleife kann so ausgelegt sein, dass ein hoher Volumenstrom an Prüfaerosol verarbeitet werden kann und dadurch eine hohe Parallelisierbarkeit ermöglicht werden kann. Ein davor angeordneter Drucksensor kann ermöglichen, dass ebenfalls der nötige 25 Eingangsdruck für die Partikelmessgeräte im Kalibriergerät eingehalten wird. Der Volumenstrom an Prüfaerosol kann beispielsweise automatisiert nachgeregelt werden, um einen Soll-Wert des Vordrucks zu gewährleisten.

Des Weiteren können noch andere Verdünnungssysteme zusätzlich verwendet werden, um den dynamischen Verdünnungsbereich zu erhöhen. Bei Verdünnung durch Zuführen von 30 Verdünnungsluft wird zum Prüfaerosols ein Gas zugeführt. Der verdünnte Volumenstrom ergibt sich dabei als Summe des Volumenstroms an Gas und des Volumenstroms an Prüfaerosol. Bei diesem Verfahren können hohe Verdünnungsraten nur schwer realisieren sein, weil dafür der Volumenstrom an Gas nicht genau genug bestimmt werden kann. Bei einer beispielhaften Anordnung, bei welcher der Konzentrationsbereich der Prüfpartikel in 35 einem Volumenstrom des Prüfaerosols um zwei Größenordnungen abgesenkt werden müsste, würde das einem Verdünnungsfaktor von 100:1 entspricht. Wenn der verdünnte Volumenstrom 10 lpm (Liter pro Minute) beträgt, müsste der Volumenstrom des Gases 9.99

lpm, während der Volumenstrom an Prüfaerosol nur 0.01 lpm betragen dürfte. Daher können solche zweiten Verdünner in bevorzugter Weise für eine Vorverdünnung mit geringem Verdünnungsfaktor herangezogen werden, da sie einfach zu realisieren sind und ein homogenes Prüfaerosol gewährleisten. Weiters können diese Verdünner durch Gaszugabe eines beispielsweise partikelfreien Gases den gesamten Volumenstrom in der Kalibriereinheit erhöhen und damit eine genauere Einstellung über die erfindungsgemäße Verdünnungsschleife ermöglichen.

Als Verdünner können auch sogenannte Verdünnerbrücken verwendet werden.

Verdünnerbrücken sind eine Unterart der Kategorie "Bifurcated Flow Diluter", bei denen das

Prüfaerosol in zwei Zweige aufgeteilt wird, wobei in einem davon die Prüfpartikel des Prüfaerosols gefiltert werden, während im anderen ein, unter anderem variabler Strömungswiderstand eingesetzt werden kann. Bei der Verdünnerbrücke kann der Strömungswiderstand beispielsweise als Nadelventil oder Schlauchquetschvorrichtung ausgeführt sein. Nachteile der Verdünnerbrücke sind beispielsweise, dass es keine definierte Stellung des Nadelventils gibt, die reproduzierbar eine Konzentration produziert. In einer bevorzugten Ausführung können die Verdünnerbrücken für konstante Verdünnungen eingesetzt werden, weil diese durch einmalige Einstellung eines Ventils oder eines anderen Strömungswiderstands, das Messen der Partikelkonzentration hochproduzierbar werden lassen. Verdünnerbrücken können daher beispielsweise zum Ändern eines Konzentrationsbereichs in erfindungsgemäßer Kalibriereinheit als dritte Verdünnungsstufe eingesetzt werden. In einer bevorzugten Ausführung kann eine solche Verdünnerbrücke über eine Durchflusssteuereinheit selektiv zugeschaltet werden, um zwischen zwei vorgegeben Konzentrationen an Partikeln zu wechseln. Das ist vorteilhaft um den Bereich einer Kalibration weiter zu erhöhen. Natürlich kann auch nur jeweils eine Verdünnungsstufe in einer Kalibriereinheit verwendet werden.

Zu der besseren Homogenisierung des Prüfaerosols kann nach den Verdünnungsstufen und erfindungsgemäßer Verdünnungsschleife eine Mischeinheit angeordnet sein. Eine Mischeinheit kann Strömungsbrecher enthalten, welche eine Vermischung ermöglichen, oder auch eine turbulente Strömung des Prüfaerosols erzeugen. Dadurch kann eine räumlich homogene Verteilung der Prüfpartikel im Prüfaerosol nach der Verdünnungsschleife sichergestellt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann das ganze Verfahren der Kalibration mittels Kalibriereinheit voll automatisierbar sein. Dabei ist prinzipiell die initiale Konzentration an Partikel wichtig. Diese kann beispielsweise über ein vorgelagertes Referenzmessgerät ermittelt werden. Ein solches Referenzmessgerät kann aber auch nach der erfindungsgemäßen Verdünnungsschleife angeordnet sein. Ein Referenzmessgerät kann die Konzentrationen an Prüfpartikel messen, wobei dabei eine Regelschleife eine Ist-

konzentration am Referenzmessgerät erfassen kann, welche in der Verdünnungsschleife eingestellt werden kann, und die errechnete Soll-konzentrationen als definierten Konzentrationen für zumindest ein Partikelmessgerät darstellen kann. Ein Referenzgerät kann beispielsweise auch eine eigene Referenzverdünnungsstufe enthalten. Diese kann wie
 5 eine Verdünnungsschleife funktionieren und verbessert dadurch die erhaltenen Ist-Werte an einer Konzentration an Prüfpartikel an einem Referenzmessgerät für die Kalibration des Partikelmessgeräts.

Alle Ventile können von einer Kontrolleinheit ansteuerbar und umschaltbar sein. Eine Verdünnungsstufe kann beispielsweise automatisch zwischen zwei Verdünnungsbereichen
 10 umschalten. Erfindungsgemäß kann das über eine Verdünnungsbrücke realisiert sein. Die automatisierte Ansteuerung aller Ventile kann außerdem verwendet werden, um eine Ansprechzeittest automatisch durchzuführen. Das kann teilweise bei der Stückprüfung gefordert sein.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 5
 15 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 zeigt den schematischen Aufbau der erfindungsgemäßen Kalibriereinheit.

Fig.2 zeigt erfindungsgemäße Verdünnungsschleife

Fig.3 zeigt beispielhaften Aufbau einer Kalibriereinheit.

20 Fig.4 zeigt beispielhafte Verdünnungsbrücke

Fig.5 zeigt Kontrolleinheit der erfindungsgemäßen Kalibriereinheit.

Fig.1 zeigt eine erfindungsgemäße Kalibriereinheit 1, in einer vorteilhaften Ausgestaltung. Der Kalibriereinheit 1 wird ein Prüfaerosol 13 in Strömungsrichtung Z mit einem Volumenstrom V zugeführt. Das Prüfaerosol 13 besteht aus einem Trägergas mit Prüfpartikel
 25 13a mit einer bevorzugten monomodalen Partikelgrößenverteilung. Unter monomodaler Partikelgrößenverteilung versteht man eine Größenverteilung mit einem Maximalwert, und bestimmbarer Abweichung vom Maximalwert (Standardabweichung oder Varianz), beispielsweise eine logarithmische Normaldichteverteilungen. Die Prüfpartikel 13a im Prüfaerosol 13 können aber auch andere Partikelgrößenverteilungen aufweisen, wie
 30 bimodal oder multimodale Verteilungen, welche zwei oder mehrere Größenmaxima von Prüfpartikel 13a aufweisen.

Ein Prüfaerosol 13 mit Prüfpartikel 13a kann beispielsweise von einem Partikelgenerator 2 bereitgestellt werden. Es kann natürlich auch andere Quellen für das Prüfaerosol 13 mit den Prüfpartikeln 13a geben, beispielsweise ein Prüfaerosol 13 in einer Gasflasche. Ein
 35 Partikelgenerator 2 kann die Prüfpartikel 13a beispielsweise über Verbrennung (Combustion

Aerosol Standard), oder über Entladung zwischen zwei Graphitelektroden (spark discharge) oder über Ultraschallverdampfung einer Lösung herstellen. Die Prüfpartikel 13a können aber je nach verwendetem Partikelgenerator 2 unterschiedlich sein und andere Partikelgrößen und Partikelgrößenverteilungen aufweisen. Der Partikelgenerator 2 ist üblicherweise nicht
5 Teil der Kalibriereinheit 1, sondern die Kalibriereinheit 1 kann grundsätzlich mit jedem geeigneten Partikelgenerator 2, oder anderer Quelle für das Prüfaerosol 13, betrieben werden. In einer bevorzugten Ausführungsform kann ein Partikelgenerator 2 Prüfpartikel 13a aus NaCl Kristallen durch Zerstäuben und Trocknen einer Kochsalzlösung (aerosol nebulizer) erzeugen und der Kalibriereinheit 1 bereitstellen. Die Kalibriereinheit 1 kann dazu
10 einen Prüfaerosoleingangsanschluss 19 aufweisen, an dem der Partikelgenerator 2 angeschlossen werden kann. Selbstverständlich ist es aber auch möglich, den Partikelgenerator 2 in der Kalibriereinheit 1 zu integrieren.

Die Konzentration der Prüfpartikel 13a im Prüfaerosol 13 liegt vorteilhaft in einem Bereich von 4,000,000 – 7,000,000 pt/ccm, höchst bevorzugt in einem Bereich von 5,000,000 –
15 5,500,000 pt/ccm sein. Dieser Konzentrationsbereich kann besonders vorteilhaft sein für allfällige Verdünnungen des Prüfaerosols 13 in der Kalibriereinheit 1 (wie weiter unten beschrieben) und für die Kalibration eines Partikelmessgeräts 8.

Das Prüfaerosol 13 wird über eine Aerosolleitung 14, die mit dem Prüfaerosolanschluss 19 verbunden ist, in der Kalibriereinheit 1 in Strömungsrichtung Z weitertransportiert. Die
20 Aerosolleitung 14 kann aus verschiedenen Materialien sein, welche den Transport der Prüfaerosol 13 mit Prüfpartikel 13a gewährleisten. Bevorzugterweise ist die Aerosolleitung 14 aus Kunststoff, wie PVC, Silikon, PTFE usw., aber auch andere Materialien sind vorstellbar, beispielsweise Edelstahl. Es können auch unterschiedliche Materialien für die Aerosolleitung 14 in der Kalibriereinheit 1 verwendet werden, wobei die Leitungsinnenwand
25 vorzugsweise antistatisch oder elektrisch leitend ausgeführt sein kann.

In der Aerosolleitung 14 zweigt an einer Abzweigstelle 3 ein Verdünnungszweig 20 ab, in dem eine Verdünnungsstufe 6 angeordnet ist. Stromabwärts nach der Verdünnungsstufe 6 wird der Verdünnungszweig 20 wieder in die Aerosolleitung 14 eingeleitet. Der
30 Verdünnungszweig 20 und die Verdünnungsstufe 6 bilden eine Verdünnungsschleife aus, die eine stufenlosen Einstellung der Partikelkonzentration ermöglicht, wie nachfolgend beschrieben wird.

Die Verdünnungsstufe 6 besteht aus zumindest einer Filtereinheit 17 und zumindest einer, im Durchfluss regelbaren Pumpe 12. Die Filtereinheit 17 kann beispielsweise aus zumindest einem Partikelfilter, wie ein Hochleistungs-Schwebstofffilter (ULPA = Ultra-Low Penetration
35 Air), Schwebstofffilter (HEPA = High-Efficiency Particulate Air) oder Hochleistungs-Partikelfilter (EPA = Efficient Particulate Air), bestehen. Die Pumpe 12 ist im Durchfluss

regelbar und ermöglicht die Regelung des Volumenstroms V_S des Prüfaerosols 13, der von der Aerosolleitung 14 abgezweigt und über den Verdünnungszweig 20 geführt wird. Mittels der Pumpe 12 wird der Volumenstrom V_S aktiv von der Aerosolleitung 14 abgezweigt und dieser Volumenstrom V_S ergibt sich nicht alleine durch die vorhandenen

5 Strömungsverhältnisse.

Die Pumpe 12 kann vorzugsweise in einem Bereich geregelt werden, der einen Volumenstrom V_S über den Verdünnungszweig 20 zwischen Null und dem gesamten zugeführten Volumenstrom V an Prüfaerosol 13 liegt. Nachdem in der Filtereinheit 17

10 Prüfpartikel 13a aus dem Volumenstrom V_S ausgefiltert werden, kann die Partikelkonzentration im Prüfaerosol 13 stromabwärts der Einmündung des Verdünnungszweiges 20 in die Aerosolleitung 14 beeinflusst werden. Aufgrund der Regelbarkeit der Pumpe 12 kann das praktisch stufenlos erfolgen, oder zumindest in vernachlässigbar kleinen Abstufungen.

Wenn die Filtereinheit 17 so ausgelegt ist, dass alle Prüfpartikel 13a im Volumenstrom V_S

15 des Prüfaerosols 13 ausgefiltert werden, kann auch eine Partikelkonzentration von Null erzeugt werden, wenn durch die Pumpe 12 der gesamte zugeführte Volumenstrom V über den Verdünnungszweig 20 geführt wird. Das ist vorteilhaft, um beispielsweise eine Nullpunktkalibration eines Partikelmessgeräts 8 strömungsabwärts von der Kalibriereinheit 1 durchzuführen. Bei abgestellter Pumpe 12 wird kein Prüfaerosols 13 über den

20 Verdünnungszweig 20 geführt, sodass keine Prüfpartikel 13a aus dem Volumenstrom V ausgefiltert werden. Damit wäre der Verdünnungsfaktor durch die Verdünnungsschleife gleich null. In bevorzugter Weise wird nur ein Teil des Volumenstroms V des Prüfaerosols 13 über den Verdünnungszweig 20 geleitet, was eine flexible und stufenlose Einstellung der Partikelkonzentration am Ausgang der Kalibriereinheit 1 ermöglicht.

25 Der zugeführte Volumenstrom V wird in dieser Ausführung nicht verändert, sodass derselbe Volumenstrom V die Kalibriereinheit 1, beispielsweise an einem Prüfaerosolaustrittsanschluss 21, verlässt. Die Partikelkonzentration dieses Ausgangs Volumenstrom V wurde aber bedarfsgerecht angepasst. An den Prüfaerosolaustrittsanschluss 21 kann ein zu kalibrierendes Partikelmessgerät 8

30 angeschlossen werden, dass nun mit einer definierten, veränderlichen Partikelkonzentration kalibriert werden kann.

Erfindungsgemäß wird die zumindest eine Pumpe 12 im Verdünnungszweig 20 der Verdünnungsschleife dazu verwendet, um verschiedene Verdünnungen der Prüfpartikel 13a im Prüfaerosols 13 herzustellen. Durch Steuerung des Durchflusses der Pumpe 12 kann

35 daher fließend ein Konzentrationsbereich für Kalibration eines Partikelmessgeräts 8 hergestellt werden.

Die Funktion der Verdünnungsschleife ist in Fig. 2 in einer beispielhaften Ausführung näher erläutert. In dieser beispielhaften Ausführungsform kann die Filtereinheit 17 eine Mehrzahl von HEPA Filtern in paralleler Anordnung enthalten durch welche der Volumenstrom V_s des Prüfaerosols 13 geführt wird. Diese ermöglichen eine Erhöhung der effektiven Filterfläche.

5 Auch eine serielle Anordnung von HEPA Filtern ist vorstellbar. Dadurch kann beispielsweise ein Klassifizieren gewisser Partikelgrößen erfolgen, wenn die HEPA Filter unterschiedliche Maschenweiten haben. Das kann vorteilhaft sein, wenn eine bi- oder multimodale Partikelgrößenverteilung der Prüfpartikel 13a vorliegt. Die Funktion der Verdünnungsschleife wird über zumindest eine regelbare Pumpe 12 ermöglicht. Es ist aber auch mehr als eine

10 Pumpe 12 denkbar, beispielsweise in paralleler Anordnung mit verschiedenen Pumpbereichen, um eine bessere Steuerung der Verdünnungsschleife bei verschiedenen hohen Volumenströmen in Kalibriereinheit 1 zu ermöglichen. Eine Pumpe 12 kann beispielsweise in einem niedrigen Volumenstrombereich genau regelbar sein, während eine zweite Pumpe 12 für einen hohen Volumenstrom genaue Regelung vorsieht. Als Pumpe 12 kommen

15 Membranpumpen, Drehschieberpumpen, etc. in Betracht, welche den erforderlichen Volumenstrom V_s des Prüfaerosols 13 pumpen können. Nach der Filtereinheit 17 und/oder nach der Pumpe 12 kann ein Ausgleichsgefäß 18 vorgesehen sein. Ein solches Ausgleichsgefäß 18 ist vorteilhaft, um Pulsationen der Pumpe 12, verursacht durch Druckdifferenzen bei Verwendung der Pumpe 12, auszugleichen. Nach Ausgleichsgefäß 18

20 mündet die Verdünnungsschleife wieder in Aerosolleitung 14.

In Fig.3 ist eine vorteilhafte Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Kalibriereinheit 1 dargestellt, die beispielsweise für die Kalibration zumindest eines Partikelmessgeräts 8 verwendet werden kann. Das zumindest eine Partikelmessgerät 8, höchst bevorzugt eine

25 Vielzahl von Partikelmessgeräten 8 (wie in Fig.3), können beispielsweise zur Messung von Aerosolpartikel in einem Abgas eines Motors, beispielsweise eines Dieselmotors, für andere Partikelemissionen eines Fahrzeugs, für Feinstaubbelastungsmessungen auf dichtbefahrenen Straßen, Baustellen und ähnlichem verwendet werden. Die Partikelmessgeräte 8 können bedarfsweise in regelmäßigen Zeitintervallen gewartet und kalibriert werden, was auch als periodische technische Inspektion bezeichnet wird.

30 Die Kalibriereinheit 1 kann bevorzugterweise mit hohen Volumenströmen V an Prüfaerosol 13 arbeiten. Das kann bevorzugt sein, um möglichst genaue Verdünnungen des Prüfaerosols 13 zu realisieren, weil die Genauigkeit der Verdünnung bei höheren Volumenströmen V zunimmt. Ein hoher Volumenstrom V kann aber auch dafür vorgesehen sein, um eine Mehrzahl an Partikelmessgeräten 8 parallel mit Prüfaerosol 13 versorgen zu

35 können. Bevorzugterweise kann eine Kalibriereinheit 1 mit Volumenstrom V von 5 bis 30 lpm (Liter pro Minute), in höchst bevorzugterweise im Bereich 10-15 lpm betrieben werden.

Ein gewünscht hoher Volumenstrom V wird möglicherweise von einem Partikelgenerator 2 nicht bereitgestellt. Daher kann in der Kalibriereinheit 1 eingangsseitig, jedenfalls stromaufwärts der Verdünnungsstufe 6 in der Aerosolleitung 14 eine zweite Verdünnungsstufe 4 vorgesehen sein. Diese zweite Verdünnungsstufe 4 kann auch dazu verwendet werden, um eine erste Vorverdünnung des Prüfaerosols 13 zu machen. In dieser zweiten Verdünnungsstufe 4 wird das Prüfaerosol 13 mit einem partikelfreien Gas 16 gemischt und damit verdünnt. „Partikelfrei“ bedeutet dabei, dass keine Partikel enthalten sind, die im gewünschten Kalibrationsbereich liegen.

Die zweite Verdünnungsstufe 4 ist in einer bevorzugten Ausführungsform ein poröser Rohrverdünner (Porous Tube Diluter). Dieser kann mittels des partikelfreien Gases 16 einen festgelegten Verdünnungsfaktor des Prüfaerosol 13 im bevorzugten Bereich von 2 bis 10, höchst bevorzugt 5 bis 10 realisieren. Diese niedrige Verdünnung der zweiten Verdünnungsstufe 4 ist vorteilhaft, weil dadurch der Verdünnungsfehler klein gehalten werden kann.

Der Volumenstrom V_G des partikelfreien Gases 16 kann beispielsweise über Volumenstrom- oder Massenstromregler zugeführt werden. Bevorzugterweise kann das partikelfreie Gas 16 Druckluft aus einer Druckluftversorgung oder einem Kompressor sein. Die Druckluft kann direkt verwendet werden, oder aber über Partikelfilter, wie beispielsweise HEPA Filter, partikelfrei prozessiert werden, um partikelfreie Luft für die Kalibriereinheit 1 bereitzustellen.

Am Eingang der Kalibriereinheit 1, beispielsweise am Prüfaerosoleingangsanschluss 19, kann in der Aerosolleitung 14 eine erste Durchflusssteuereinheit 22 angeordnet sein, welche bevorzugt als Ventil, beispielsweise als Dreiwegeventil, ausgestaltet sein kann.

Die erste Durchflusssteuereinheit 22 kann verwendet werden, um das Prüfaerosol 13 entweder über eine Abluftleitung 23 in Richtung eines Abluftausgangs 11 der Kalibriereinheit 1 zu leiten oder über die Aerosolleitung 14 in Richtung der Verdünnungsstufe 6. Wenn kein Volumenstrom V am Ausgang der Kalibriereinheit 1 benötigt wird, kann der zugeführte Volumenstrom V über die erste Durchflusssteuereinheit 22 und die Abluftleitung 23 einfach als Abluft über Abluftausgangs 11 entweichen.

Stromabwärts des Prüfaerosoleingangsanschluss 19, beispielsweise stromabwärts der zweiten Verdünnungsstufe 4, aber vorzugsweise stromaufwärts der Verdünnungsstufe 6, kann in der Aerosolleitung 14 eine dritte Verdünnungsstufe 5 angeordnet sein. Diese dritte Verdünnungsstufe 5 kann über eine Durchflusssteuereinheit 24, beispielsweise ein Ventil wie ein Dreiwegeventil, bedarfsweise zugeschaltet werden. Die dritte Verdünnungsstufe 5 kann so ausgestaltet sein, dass ein fester Verdünnungsfaktor, in einem bevorzugten Bereich von 0-1000, und in einem höchst bevorzugten Bereich von 5-100 erreicht wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann die dritte Verdünnungsstufe 5 als zumindest eine Verdünnungsbrücke oder als gegabelter Flussverdünner (Bifurcated Flow Diluter) ausgestaltet sein. Diese dritte Verdünnungsstufe 5 ist in Fig. 4 beispielhaft als Verdünnungsbrücke dargestellt. Das Prüfaerosol 13 strömt in Strömungsrichtung Z in eine Verjüngung, welche einen Strömungswiderstand darstellt, wobei ein Teil des Prüfaerosols 13 den direkten Strömungsweg folgt, und ein anderer Teil des Prüfaerosols 13 den parallelen Strömungsweg über das Filtermodul 17 folgt. Das Filtermodul 17 ist bevorzugterweise als Partikelfilter, beispielsweise als HEPA Filter ausgeführt. Das Filtermodul 17 kann auch aus einer Mehrzahl von Partikelfiltern, welche parallel oder seriell im Filtermodul 17 angeordnet sein können, ausgeführt sein. Das Filtermodul 17 filtert die Prüfpartikel 13a aus dem Prüfaerosol 13 aus und reduziert dadurch die Konzentration an Prüfpartikel 13a im Prüfaerosol 13.

Über das Zuschalten der dritten Verdünnungsstufe 5 über die Durchflusssteuereinheit 24 kann vorteilhaft eine Vorverdünnung erzielt werden, vorzugsweise auf eine niedrige Konzentration an Prüfpartikel 13a, beispielsweise von 1,000,000 bis 100,000 pt/ccm. Abhängig vom zu kalibrierenden Konzentrationswert in der Kalibration eines Partikelmessgeräts 8 kann die dritte Verdünnungsstufe 5 bedarfsweise zugeschaltet werden. Bei Kalibration im hohen Konzentrationsbereich an Prüfpartikel 13a kann vorgesehen sein, die dritte Verdünnungsstufe 5 nicht zuzuschalten. Dieser hohe Konzentrationsbereich hat bevorzugterweise eine Konzentration an Prüfpartikel 13a von 5,000,000 bis 100,000 pt/ccm. Beispielsweise kann vorgesehen sein, ein Partikelmessgerät 8 zuerst im niedrigen Konzentrationsbereich zu kalibrieren und nach Abschluss im hohen Konzentrationsbereich weiter zu kalibrieren. In einer höchst bevorzugten Ausführungsform kann die dritte Verdünnungsstufe 5 auch mehrmals in erfindungsgemäßer Kalibriereinheit 1 ausgeführt sein, beispielsweise hintereinandergeschaltet. Dann kann auch in der Vorverdünnung zwischen verschiedenen Konzentrationsbereichen an Prüfpartikel 13a gewählt werden. Das Zuschalten der dritten Verdünnungsstufe 5 erfolgt bevorzugterweise automatisiert über eine Kontrolleinheit 18.

Die eingangsseitigen Verdünnungsstufen 4, 5 sind aber optional, wobei es auch möglich ist, in der Kalibriereinheit 1 nur eine dieser Verdünnungsstufen 4, 5 zu implementieren. Ebenso ist die Abluftleitung 23 mit der Durchflusssteuereinheit 22 optional und kann beliebig mit den anderen Komponenten der Kalibriereinheit 1 kombiniert werden.

Um die Prüfpartikel 13a nach der Verdünnungsstufe 6 in Form der Verdünnungsschleife im Volumenstrom V zu homogenisieren, kann eine Mischeinheit 7 in Strömungsrichtung Z nach der Verdünnungsschleife angeordnet sein. Die Mischeinheit 7 kann bevorzugterweise als laminar-statischer Mixer ausgestaltet sein. Ebenfalls denkbar wären Puffervolumina in denen sich die Prüfpartikel 13a über Diffusionsvorgänge im Prüfaerosol 13 durchmischen oder ein

turbulentes Vermischen der Prüfpartikel 13a im Prüfaerosol 13 über eine Ejektordüse. Eine solche Ejektordüse kann selbst als nochmalige Verdünnung genutzt werden, indem mit Druck beaufschlagte Verdünnungsluft über eine Venturidüse geblasen wird und im Unterdruckbereich der Aerosolstrom angezogen wird.

- 5 Stromab der Verdünnungsschleife 6, gegebenenfalls nach der Mischeinheit 7, kann eine Bypassleitung 25, in der eine Pumpe 26 angeordnet ist, von der Aerosolleitung 14 über eine Abzweigstelle 27 abzweigen. Die Bypassleitung 25 mündet stromab der Pumpe 26 in die Abluftleitung 23, oder dient als separate Abluft. Über die Bypassleitung 25, Abzweigstelle 27 und die Pumpe 26 kann der Volumenstrom V an Prüfaerosol 13 durch die Kalibriereinheit 1
10 erhöht werden, auch bedarfsweise. Das kann vorteilhaft sein, weil die Genauigkeit der Verdünnung bei hohen Volumenströmen besser ist.

- Stromab der Verdünnungsschleife 6, gegebenenfalls nach der Mischeinheit 7, kann auch ein Drucksensor P angeordnet sein, um den Druck im verdünnten Prüfaerosol 13 zu ermitteln. Der Drucksensor P kann auch in der Bypassleitung 25 angeordnet sein. Die Druckmessung
15 über den Drucksensor P ermöglicht es, über die Bypassleitung 25 und die Pumpe 26 auch einen gewünschten Vordruck für ein an die Kalibriereinheit 1 angeschlossenes Partikelmessgerät 8 einzustellen.

- Die Bypassleitung 25 mit Pumpe 26, gegebenenfalls mit Drucksensor P, ist ebenfalls optional und kann in der Kalibriereinheit 1 auch ohne den eingangsseitigen
20 Vorverdünnungen implementiert sein.

- Stromabwärts der Kalibriereinheit 1 gelangt das Prüfaerosols 13 mit der eingestellten Konzentration an Prüfpartikel 13a zu zumindest einem Partikelmessgerät 8, wobei bevorzugterweise eine Mehrzahl an Partikelmessgeräten 8 gleichzeitig kalibriert werden. Die Anzahl von möglichen Partikelmessgeräten 8 ist anhängig vom Volumenstrom V des
25 Prüfaerosols 13 in Kalibriereinheit 1.

- An den Prüfaerosolaustrittsanschluss 21 der Kalibriereinheit 1 kann auch ein Referenzmessgerät 10 angeschlossen sein, welches damit ebenfalls das Prüfaerosol 13 mit der eingestellten Konzentration an Prüfpartikel 13a erhält. Die Konzentration der Prüfpartikel 13a im Prüfaerosols 13, welches die Kalibriereinheit 1 verlässt, kann somit über das
30 Referenzmessgerät 10 ermittelt werden. Das Referenzmessgerät 10 kann ebenfalls ein Partikelmessgeräts 8 sein, welches allerdings eine aufrechte (und im Idealfall rückgeführte) Kalibration aufweist. Das Referenzgerät 10 kann aber auch ein auf ein Nationales Normal rückgeführter Partikelzähler mit einer höheren Genauigkeit als das Partikelmessgerät 8 sein (z.B. ein Kondensationskeimzähler). In einer bevorzugten Ausführung kann sich vor dem
35 Referenzmessgerät 10 eine Referenzverdünnungsstufe 9 befinden, welche ebenfalls über eine Durchflusssteuereinheit 27 bedarfsweise zugeschaltet werden kann. Die

Referenzverdünnungsstufe 9 kann notwendig sein, um die Konzentration der Prüfpartikel 13a im dem Referenzmessgerät 10 zugeführten Volumenstrom in einem optimalen Bereich einer Kalibrationskennlinie 15' des Referenzmessgeräts 10 zu halten. Die Konzentrationsbestimmung der Prüfpartikel 13a über Referenzmessgerät 10 ermöglicht eine
5 Vorgabe eines x-Werts der Partikelkonzentration für eine Kalibrationskennlinie 15 (in Fig.3 angedeutet) des Partikelmessgeräts 8. Dadurch kann die Kalibration des Partikelmessgeräts 8 ermöglicht werden. Prinzipiell kann der Fehler bei Kennlinien an den Grenzwerten um ein Vielfaches höher sein, wie beispielhaft an Konfidenzintervallen 15a in Kalibrationskennlinie 15' des Referenzmessgerätes 10 in Fig.3 angedeutet wird. Die Konzentration der Prüfpartikel
10 13a kann in einer bevorzugten Weise daher immer im mittleren Bereich der Kalibrationskennlinie 15' gemessen werden. Die Referenzverdünnungsstufe 9 kann daher wie eine oben beschriebene Verdünnungsschleife ausgestaltet sein, um die Prüfpartikel 13a im optimalen Bereich der Kalibrationskennlinie 15' des Referenzmessgeräts 10 zu halten.

Eine solche Kalibrationskennlinie 15 wird bevorzugterweise über eine Regression bestimmt.
15 Eine Regression kann über verschiedene Funktionen abgebildet werden, beispielsweise linear, polynomisch, logarithmisch oder auch über unstetige Funktionen. In einer bevorzugten Ausführung kann eine Regression über eine Kalibrationskennlinie 15 dargestellt werden. Dabei kann beispielsweise eine Partikelkonzentration x über ein von einem Partikelmessgerät 8 gelieferten Messsignal y aufgetragen werden, wie in Fig. 3 dargestellt.

20 Bevorzugterweise werden mehr als ein Partikelmessgerät 8 gleichzeitig kalibriert. Diese Kalibrationskennlinien 15 können dann beispielsweise verwendet werden, um im Realbetrieb über ein Messsignal y die reale Partikelkonzentration x zu erhalten. Das Partikelmessgerät 8 kann beliebig ausgeführt sein. Jede mögliche Messmethoden für Messsignale y des Partikelmessgeräts 8, welche dem Fachmann geläufig ist, kann in einem Partikelmessgerät 8
25 verwendet werden.

Die Kalibriereinheit 1 kann über eine Kontrolleinheit 18 gesteuert werden, wie in Fig.5 dargestellt. Dazu kann die Kontrolleinheit 18 Verdünnungsstufe 6 über Pumpe 12 steuern, um die Kalibration mit der benötigten Konzentration an Prüfpartikel 13a durchzuführen. Dazu kann der Sollwert zur Regelung der Pumpe 12 in Verdünnungsschleife 6 über Kontrolleinheit
30 18 verändert werden, um 5-15 diskrete Konzentrationen an Prüfpartikel 13a herzustellen. Die Kontrolleinheit 18, welche ebenfalls die Kalibration des zumindest einen Partikelmessgeräts 8 überwachen und kontrollieren kann, kann daher die Konzentration an Prüfpartikel 13a im Prüfaerosol 13 am Prüfaerosolanschluss 21 der Kalibriereinheit 1 vorgeben.

Beispielsweise kann in einem ersten Schritt die Kontrolleinheit 18 den nötigen Volumenstrom
35 V an Prüfaerosol 13 berechnen. Beispielsweise können drei Partikelmessgeräte 8 parallel angeschlossen werden und haben einem Bedarf an 4 lpm Prüfaerosol 13 je

Partikelmessgerät 8. Das Referenzmessgerät 10 kann einen Bedarf von 1,5 lpm Prüfaerosol 13 haben. Kontrolleinheit 18 steuert jetzt beispielsweise den Zufluss an partikelfreiem Gas 16 und die erste Durchflussteuereinheit 22 an, um den nötigen Volumenstrom V zu gewährleisten. Der nötige Volumenstrom V kann gegebenenfalls nachgeregelt werden, wenn ein Drucksensor P einen zu geringen Eingangsdruck am Zugang zu den Partikelmessgeräten 8 registriert.

Nach Einstellen des nötigen Volumenstroms V, kann die Kalibration der Partikelmessgeräte 8 erfolgen. Neben der Steuerung von Verdünnungsstufe 6 kann die Kontrolleinheit 18 zusätzlich die zweite Durchflussteuereinheit 24 für eine weitere Vorverdünnung in der dritten Verdünnungsstufe 5 zuschalten, um einen niedrigen Konzentrationsbereich an Prüfpartikel 13a im Prüfaerosol 13 zu realisieren.

Kontrolleinheit 18 kann auch die Konzentration an Prüfpartikel 13a über das Referenzmessgerät 10 kontrollieren. Somit kann die Kontrolleinheit 18 kontrolliert die Kalibration jedes Partikelmessgeräts 8 über eine Kalibriereinheit 1 durchführen. Bei erfolgreicher Kalibration kann der Partikelgenerator 2 heruntergefahren und Volumenstrom V auf einen Minimalwert reduziert werden, um ein Verblocken der Aerosolleitungen 14 zu vermeiden.

Die Steuerung über der Kontrolleinheit 18 kann über eine Programmroutine vom Anwender vorgegeben sein und vollständig automatisiert ablaufen. Die Kontrolleinheit 18 kann dazu als mikroprozessorbasierte Hardware ausgeführt sein, auf der die Programmroutine ausgeführt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen einer Partikelkonzentration von Prüfpartikel (13a) in einem Prüfaerosol (13) an einem Prüfaerosolausgangsanschluss (21) einer Kalibriereinheit (1),
5 wobei der Prüfaerosolausgangsanschluss (21) in der Kalibriereinheit über eine Aerosolleitung (14) mit einem Prüfaerosoleingangsanschluss (19) verbunden wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus der Aerosolleitung (14) ein Volumenstrom (V_s) in einen an einer Abzweigstelle (3) angeordneten Verdünnungszweig (20) abgezweigt wird, wobei der Volumenstrom (V_s) mittels zumindest einer im Durchfluss regelbaren Pumpe (12) in
10 Verdünnungszweig (20) eingestellt wird, und der abgezweigte Volumenstrom (V_s) über zumindest eine Filtereinheit (17) geführt wird, um Prüfpartikel (13a) aus dem Volumenstrom (V_s) im Verdünnungszweig (20) auszufiltern, und der gefilterte Volumenstrom wieder in die Aerosolleitung (14) rückgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konzentration der
15 Prüfpartikel (13a) des Prüfaerosols (13) stromaufwärts der Verdünnungsstufe (6) in einer zweiten Verdünnungsstufe (4) zusätzlich verdünnt wird, wobei die Verdünnung über Zugabe eines Volumenstroms (V_G) eines partikelfreien Gases (16) zum Prüfaerosol bewirkt wird.
3. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts der Verdünnungsstufe (6) das Prüfaerosol (13) in eine dritte Verdünnungsstufe (5) gelangt,
20 wobei die dritte Verdünnungsstufe (5) über eine Durchflusssteuereinheit (24) zugeschaltet werden kann, und eine Verdünnung der Prüfpartikel (13a) des Prüfaerosol (13) bewirkt.
4. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts der Verdünnungsschleife die Prüfpartikel (13a) im Prüfaerosol (13) mittels Mischkammer (7) homogenisiert werden.
- 25 5. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts der Verdünnungsschleife und der Mischeinheit (7) das Prüfaerosol (13) an einer Abzweigstelle (27) über eine Bypassleitung (25) über eine regelbare Pumpe (26) abgezweigt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts der Verdünnungsschleife und der Mischeinheit (7) der Druck des Prüfaerosols gemessen wird
30 und die Pumpe (26) anhand des gemessenen Druckes geregelt wird, um einen vorgegebenen Druck am Prüfaerosolausgangsanschluss (21) einzustellen.
7. Kalibriereinheit (1) zur Kalibration zumindest eines Partikelmessgeräts (8), wobei in der Kalibriereinheit eine Aerosolleitung (14) vorgesehen ist, die einen Prüfaerosoleingangsanschluss (19) mit einem Prüfaerosolausgangsanschluss (21) verbindet
35 und die Kalibriereinheit (1) am Prüfaerosolausgangsanschluss (21) ein Prüfaerosol (13) mit

einer vorgegebenen Konzentration an Prüfpartikel (13a) bereitstellt, **dadurch gekennzeichnet, dass** von der Aerosolleitung (14) an einer Abzweigstelle (3) ein Verdünnungszweig (20) einer Verdünnungsstufe (6) abzweigt, wobei im Verdünnungszweig (20) zumindest eine Filtereinheit (17) und zumindest eine im Durchfluss regelbare Pumpe (12) angeordnet sind und der Verdünnungszweig (20) stromabwärts der Filtereinheit (17) und Pumpe (12) und stromaufwärts des Prüfaerosolanschlusses (21) wieder in die Aerosolleitung (14) mündet.

8. Kalibriereinheit (1) nach Anspruch 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts der Verdünnungsschleife eine Durchflusssteuereinheit (22) angeordnet ist und über diese das Prüfaerosol (13) in eine Abluftleitung (23) in Richtung eines Abluftausgangs (11) leitbar ist.

9. Kalibriereinheit (1) nach Anspruch 7 und 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts der Verdünnungsschleife und stromabwärts der Durchflusssteuereinheit (22) in der Aerosolleitung (14) eine zweite Verdünnungsstufe (4) angeordnet ist, welche über Zugabe eines Volumenstroms (V_G) eines partikelfreien Gases (16) eine Verdünnung des Prüfaerosols (13) bewirkt.

10. Kalibriereinheit (1) nach Anspruch 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Verdünnungsstufe (4) eine Verdünnung des Prüfaerosols (13) im Bereich eines Faktors von 2-10 ermöglicht.

11. Kalibriereinheit (1) nach Ansprüchen 7 bis 10 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts der Verdünnungsschleife und stromabwärts der Durchflusssteuereinheit (22) in der Aerosolleitung (14) eine dritte Verdünnungsstufe (5) angeordnet ist, welche über eine Durchflusssteuereinheit (24) zuschaltbar ist.

12. Kalibriereinheit (1) nach Ansprüchen 7 bis 11 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts der Verdünnungsschleife in der Aerosolleitung (14) eine Mischeinheit (7) angeordnet ist.

13. Kalibriereinheit (1) nach Ansprüchen 7 bis 12 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts der Verdünnungsschleife und der Mischeinheit (7) eine Bypassleitung (25) über eine Abzweigstelle (27) von der Aerosolleitung (14) abzweigt, wobei in der Bypassleitung (25) eine regelbare Pumpe (26) angeordnet ist.

14. Kalibriereinheit (1) nach Ansprüchen 7 bis 13 **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts der Verdünnungsschleife und der Mischeinheit (7) ein Druckmesssensor (P) vorgesehen ist, der den Druck des Prüfaerosols am Prüfaerosolanschlusses (21) erfasst.

15. Verfahren zur Kalibration zumindest eines Partikelmessgeräts (8) mit einer Kalibriereinheit (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 14, wobei das zumindest eine Partikelmessgerät (8) an den Prüfaerosolanschluss (21) der Kalibriereinheit (1) angeschlossen wird und die Kalibriereinheit (1) zur Kalibration am
- 5 Prüfaerosolanschluss (21) ein Prüfaerosol (13) mit verschiedenen Konzentrationen an Prüfpartikel (13a) bereitstellt.
16. Verfahren zur Kalibration zumindest eines Partikelmessgeräts (8) nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kontrolleinheit (18) die Pumpe (12) in der Verdünnungsstufe (6) auf einen vorgegebenen Sollwert regelt, um die Konzentrationen an
- 10 Prüfpartikel (13a) im Prüfaerosol (13) für die Kalibration einzustellen.
17. Verfahren zur Kalibration zumindest eines Partikelmessgeräts (8) nach Ansprüchen 15 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kontrolleinheit (18) über die Durchflusssteuereinheit (24) die dritte Verdünnungsstufe (5) zuschaltet, um eine weitere Verdünnung der Prüfpartikel (13a) im Prüfaerosol (13) vorzunehmen.

15

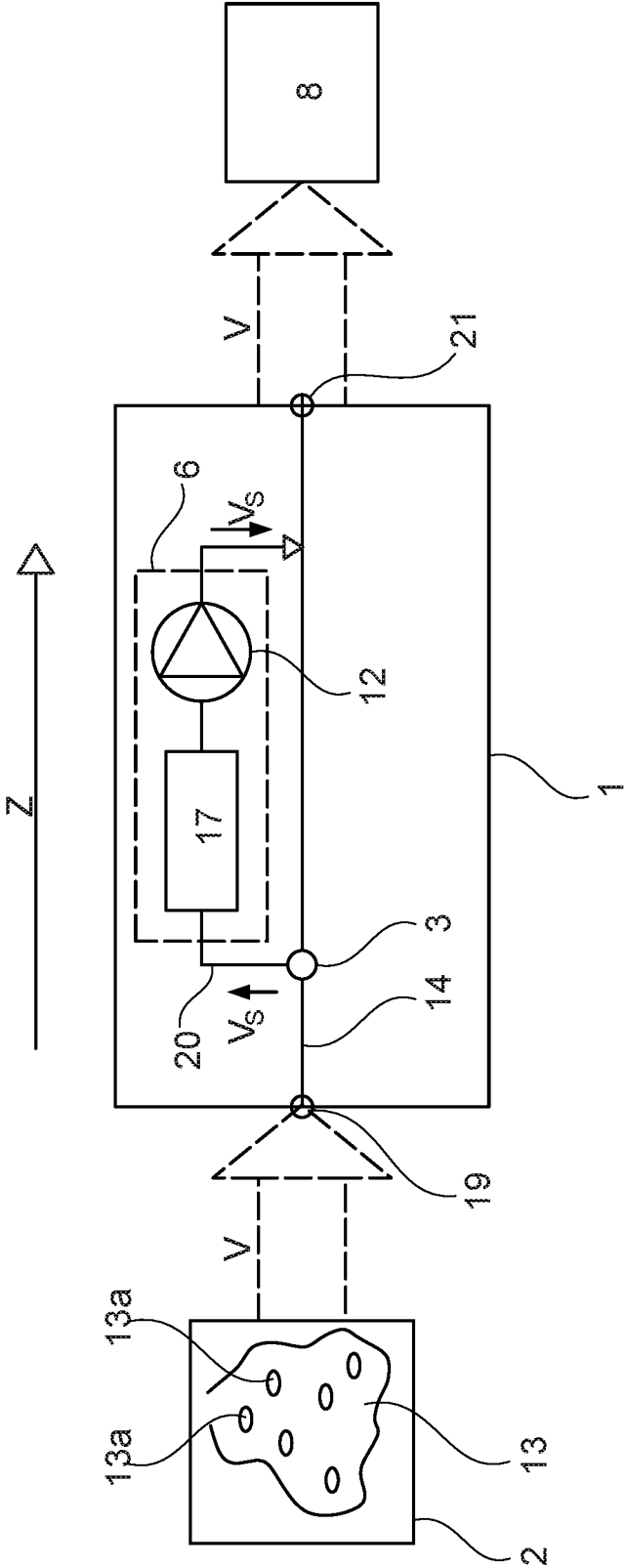


Fig. 1

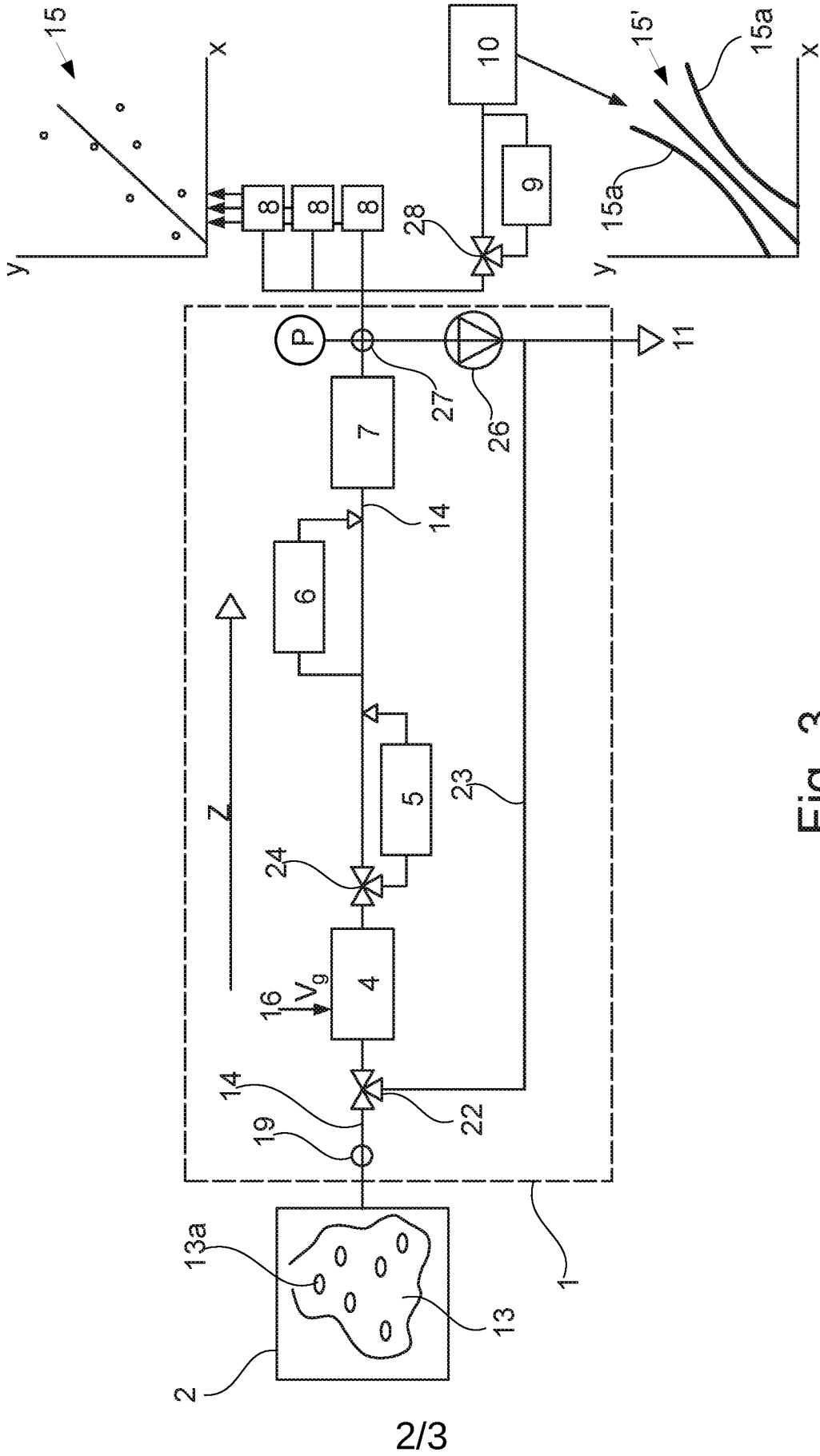


Fig. 3

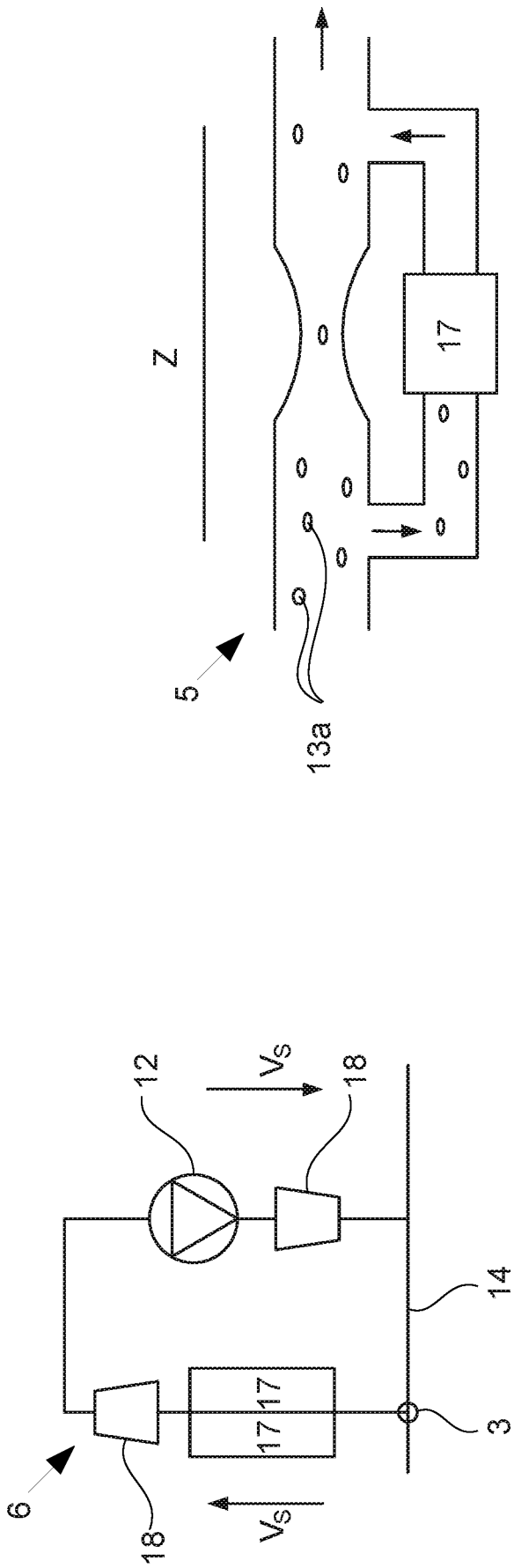


Fig. 2

Fig. 4

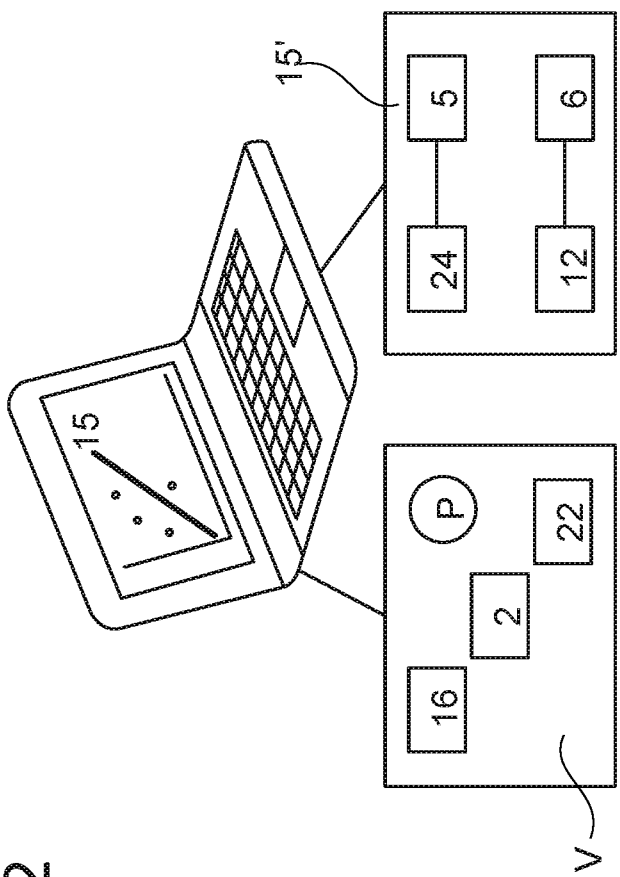


Fig. 5

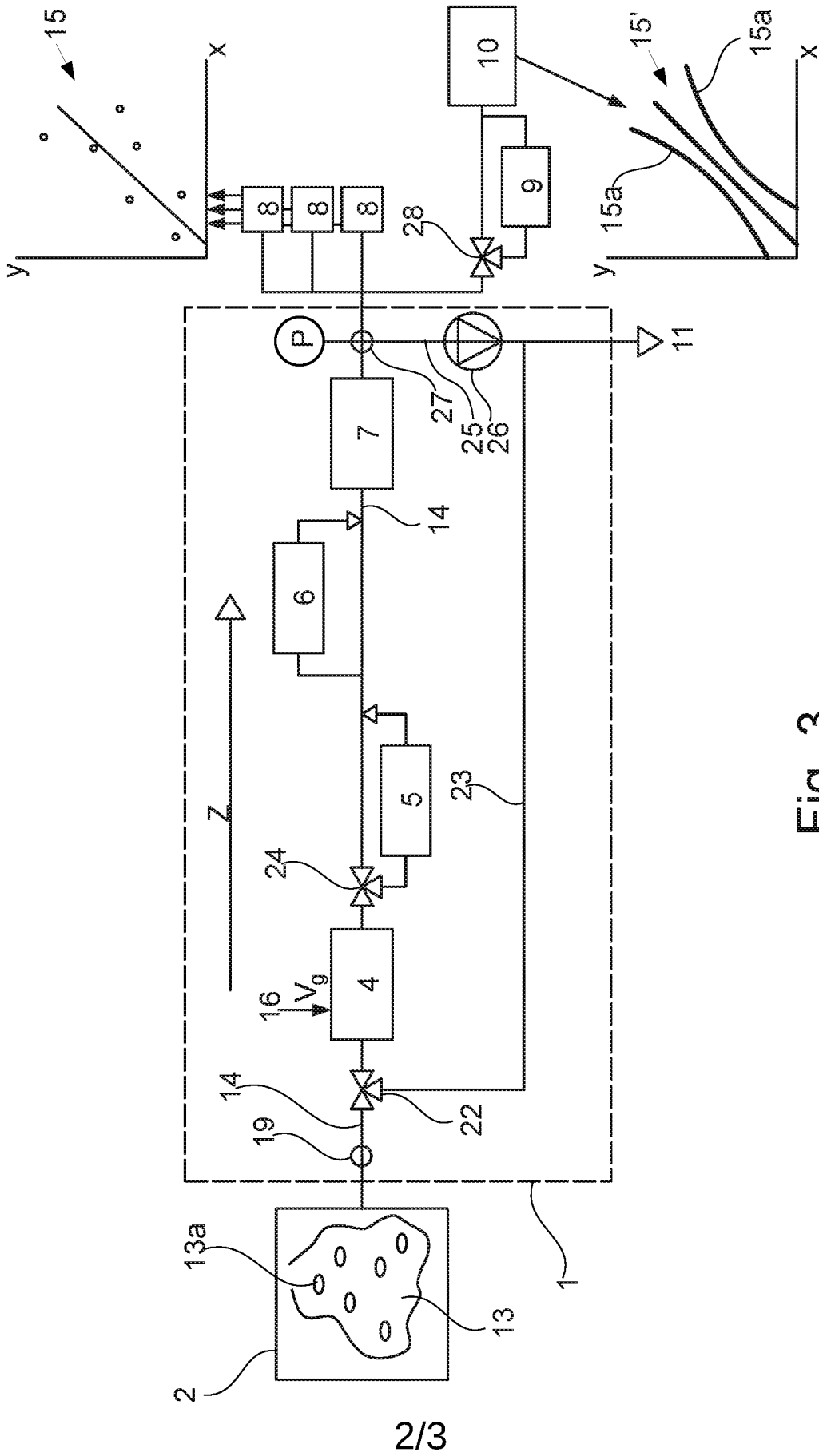


Fig. 3