

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50988/2020
(22) Anmeldetag: 12.11.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2022

(51) Int. Cl.: **G01N 15/06** (2006.01)
G01N 15/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 3499214 A1
WO 2007050384 A2
WO 2007067822 A2

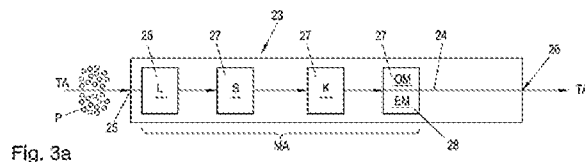
(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Kupper Martin Dipl.-Ing. Dr. techn.
8045 Graz (AT)
Bergmann Alexander Dr.
8052 Graz (AT)

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

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Partikelmessung

(57) Um eine verbesserte Vorrichtung (23) zur Ermittlung zumindest einer Messgröße von Feststoffpartikeln (P) in einem Testaerosol-Fluidstrom (TA) bereitzustellen, welche einen breiteren Anwendungsbereich ermöglicht und die Zuverlässigkeit der Messung erhöht, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass in einem Messabschnitt (MA) der Vorrichtung (23) zumindest eine optische Messeinrichtung (1) angeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel (P) des Testaerosol-Fluidstroms nach einem optischen Messprinzip zu ermitteln und dass im Messabschnitt (MA) zusätzlich zumindest eine elektrische Messeinrichtung (13) vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel (P) an demselben Testaerosol-Fluidstrom (TA) nach einem elektrischen Messprinzip zu ermitteln.



Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR PARTIKELMESSUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung zumindest einer Messgröße von Feststoffpartikeln in einem Testaerosol-Fluidstrom, der durch einen Messabschnitt geleitet wird, sowie eine Vorrichtung zur Ermittlung zumindest einer Messgröße von Feststoffpartikeln in einem Testaerosol-Fluidstrom, wobei in der Vorrichtung ein Messabschnitt zur Ermittlung der zumindest einen Messgröße im Testaerosol-Fluidstrom vorgesehen ist.

[0002] Zur Abgasmessung von Verbrennungsmotoren sind verschiedene Verfahren und Vorrichtungen bekannt, mit welchen ein oder mehrere interessierende Abgasbestandteile im Abgas gemessen werden können. Zu den Abgasbestandteilen zählen dabei Bestandteile, die direkt aus dem Verbrennungsprozess resultieren, aber auch Bestandteile, die beispielsweise aus einer der Verbrennung nachgeschalteten Abgasnachbehandlung resultieren. Zu den Abgasbestandteilen zählen beispielsweise für den Menschen nicht giftige Bestandteile wie z.B. Kohlendioxid (CO₂). Insbesondere von Interesse sind aber die für den Menschen giftigen Bestandteile, wie z.B. unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC), Kohlenmonoxid (CO), Partikel (PM) und Stickoxide (NO, NO₂ bzw. allgemein NO_x). Oftmals kommen auch Abgasnachbehandlungssysteme zur Verringerung bestimmter Abgasbestandteile zum Einsatz, wie z.B. 3-Wege-Katalysatoren, Systeme zur selektiven katalytischen Reduktion (sogenannte SCR-Katalysatoren), usw. Bei SCR-Katalysatoren wird beispielsweise Ammoniak (NH₃) als Additiv zur chemischen Reduktion von Stickoxiden verwendet, das z.B. in Form einer Harnstofflösung bereitgestellt wird. Dabei können Teile des Ammoniaks, der bei im SCR-Katalysator nicht reagiert, ebenfalls als Abgasbestandteil im Abgas auftreten.

[0003] Zur Messung der Partikel-Emission (particulate matter - PM) sind beispielsweise Messeinrichtungen bekannt, die auf einem optischen Messprinzip beruhen, wie z.B. Kondensationspartikelzähler (auch condensation particle counter oder CPC genannt). Kondensationspartikelzähler sind optische Messgeräte zur Erfassung kleiner Feststoffpartikel mit Abmessungen beispielsweise im nm-Bereich in einem Aerosol, z.B. Luft, Motorabgas etc. Kondensationspartikelzähler werden beispielsweise in der Reinraumtechnik oder zur Messung von Feststoffpartikeln (z.B. Ruß, Feinstaub) in Abgasströmen, beispielsweise von Verbrennungskraftmaschinen, verwendet. Feststoffpartikel im nm-Bereich sind zu klein, um direkt auf optischem Weg detektiert werden zu können. Um solche Feststoffpartikel trotzdem messbar zu machen, werden Kondensationspartikelzähler verwendet, bei welchen das Aerosol in einer Sättigungseinheit mit Dämpfen eines Betriebsmittels, z.B. Wasser oder ein Alkohol, gesättigt wird. Die Feststoffpartikel dienen dann als Kondensationskerne und werden in einer der Sättigungseinheit nachfolgenden Kondensationsseinheit, in der das gesättigte Aerosol abgekühlt wird, durch heterogene Kondensation des Betriebsmittels soweit vergrößert, dass sie in einer nachfolgenden optischen Messzelle optisch detektiert werden können, beispielsweise zur Zählung der Partikel oder zur Ermittlung der Partikelgrößen. Die Größe der Feststoffpartikel, ab der dieser Kondensationsprozess stattfindet, ist von der Sättigung abhängig und wird als Kelvindurchmesser bezeichnet. Je kleiner der Kelvindurchmesser für eine bestimmte Sättigung mit dem Betriebsmittel ist, desto kleiner können die Feststoffpartikel sein, die zur Kondensation von Betriebsmittel führen. Kondensationspartikelzähler sind beispielsweise aus der EP 462 413 B1, der US 5,118,959 A oder der WO 2017/085183 A1 bekannt.

[0004] Weiters sind zur Messung von Feststoffpartikel in einem Aerosol auch elektrische Messeinrichtungen bekannt, die auf einem elektrischen Messprinzip beruhen, beispielsweise Diffusionsaufladungsmessvorrichtungen, auch als „diffusion charger“ oder „electronic particle counter - EPC“ bekannt. Dabei werden Partikel im Aerosol elektrisch aufgeladen und danach mittels einer geeigneten Messzelle detektiert, um dadurch Aussagen über die Partikel im Aerosol zu machen. Mit solchen Geräten und Verfahren können beispielsweise eine Partikelgrößenverteilungen, eine Partikelanzahl und/oder ein mittlerer Partikeldurchmesser gemessen werden. Eine derartige Messeinrichtung ist beispielsweise aus der WO 2004/113904 A1 bekannt. Die Messung der Partikel-

anzahlkonzentration hängt dabei aber beispielsweise von der Größe der Partikel ab, wodurch der Messbereich eingeschränkt ist.

[0005] Insbesondere im Bereich der Abgasmessung von Verbrennungsmotoren sind die Anforderungen an die Partikelmessstechnik in letzter Zeit gestiegen, was nicht zuletzt auf die immer strenger werdenden gesetzlichen Vorschriften hinsichtlich der maximal zulässigen Schadstoffemissionen zurückzuführen ist. Dies schafft einen laufenden Bedarf an neuen Verfahren und Vorrichtungen, mit denen sich die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Aerosolmessung in allen Einsatzbereichen, aber besonders im Bereich der Abgasmessstechnik erhöhen lässt. Die WO 2007/067822 A2 offenbart beispielsweise eine Kombination der beiden oben genannten Messprinzipien. Dabei wird ein Messstrom in zwei Teilströme aufgeteilt, wobei an einem Teilstrom eine Kondensationspartikelzählung erfolgt und am anderen Teilstrom eine Diffusionsaufladungsmessung. Damit erhält man allerdings keine über das Messergebnis des jeweiligen Messprinzips hinausgehende Information.

[0006] Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zur Partikelmessung in einem Aerosol bereitzustellen, die einen breiteren Anwendungsbereich ermöglichen und die Zuverlässigkeit der Messung erhöhen.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, dass im Messabschnitt an demselben Testaerosol-Fluidstrom zumindest eine Erfassung der Messgröße nach einem optischen Messprinzip und zumindest eine Erfassung der Messgröße nach einem elektrischen Messprinzip durchgeführt wird. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis 9 angegeben.

[0008] Die Aufgabe wird weiters mit einer Vorrichtung dadurch gelöst, dass im Messabschnitt zumindest eine optische Messeinrichtung angeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel des Testaerosol-Fluidstroms nach einem optischen Messprinzip zu ermitteln und dass im Messabschnitt zusätzlich zumindest eine elektrische Messeinrichtung vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel an demselben Testaerosol-Fluidstrom nach einem elektrischen Messprinzip zu ermitteln. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung sind in den Ansprüchen 11 bis 17 angegeben.

[0009] Durch die vorteilhafte Kombination der beiden Messprinzipien (optisch und elektrisch) am selben Fluidstrom kann ein Mehrwert an Information über die im Fluidstrom enthaltenen Partikel gewonnen werden, der die alleinige Anwendung nur eines der beiden Messprinzipien übersteigt. Obwohl beide Messprinzipien nach entsprechender Signalauswertung beispielsweise zur Messung einer Partikelanzahlkonzentration geeignet sind, unterscheiden sich die Messprinzipien wesentlich. Bei der optischen Messung, z.B. mittels eines eingangs genannten Kondensationspartikelzähler bzw. CPC wird eine Zählung von einzelnen Partikeln durchgeführt. Hingegen wird bei der elektrischen Messung, beispielsweise mit dem eingangs genannten Diffusionsaufladungsmessverfahren bzw. EPC, durch Detektieren einer mittleren elektrischen Ladungsverteilung einer Partikelwolke eine Korrelation zur Partikelanzahlkonzentration hergestellt. Diese Korrelation hängt dabei aber mit der Partikelgröße zusammen, was in der alleinigen Anwendung eines EPC den verfügbaren Messbereich einschränkt. Durch die erfindungsgemäße Kombination von optischer Messung, insbesondere CPC, und elektrischer Messung, insbesondere EPC, kann nunmehr aus dem Messergebnis einer Messung eine Zusatzinformation für das Messergebnis der jeweils anderen Messung gewonnen werden. Beispielsweise kann die mittels CPC gemessene Partikelanzahlkonzentration in vorteilhafter Weise dazu verwendet werden, um über die Korrelation zwischen Partikelanzahlkonzentration und Partikelgröße eine Größeninformation der Partikel aus dem EPC-Messergebnis zu gewinnen.

[0010] Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 3e näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

[0011] Fig. 1 eine Kondensationspartikelzählvorrichtung,

[0012] Fig. 2 eine Diffusionsaufladungsmessvorrichtung,

[0013] Fig. 3a - Fig.3e jeweils eine schematische Darstellung einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des Verfahrens.

[0014] Fig. 1 zeigt eine optische Messvorrichtung 1 zur Erfassung einer Messgröße von Feststoffpartikeln P in einem Testaerosol-Fluidstrom TA nach einem optischen Messprinzip. Als Messgröße kann beispielsweise eine Partikelanzahl und/oder einer Partikelanzahlkonzentration und/oder einer Partikelmasse und/oder einer Partikelgröße der Feststoffpartikel P ermittelt werden. Die optische Messvorrichtung 1 ist hier in Form der eingangs genannten Kondensationspartikelzählvorrichtung ausgebildet. Die Kondensationspartikelzählvorrichtung in der gezeigten Ausführungsform weist zumindest eine Sättigungseinheit S mit einem Vorratsbehälter 2 für ein Betriebsmittel B, eine in Strömungsrichtung der Sättigungseinheit S nachgelagerte Kondensationseinheit K und eine optische Messzelle OM auf. Durch die Kondensationspartikelzählvorrichtung verläuft ein Messkanal 3 für den Testaerosol-Fluidstrom TA, in welchem die Feststoffpartikel P enthalten sind.

[0015] Der Testaerosol-Fluidstrom TA kann dem Messkanal 3 durch einen Einlass 4 zugeführt werden und über einen Auslass 5 wieder abgeführt werden, wie in Fig.1 durch die Pfeile angedeutet ist. Der Testaerosol-Fluidstrom TA durchläuft sequentiell zuerst die Sättigungseinheit S, in der eine mit dem Betriebsmittel B, z.B. Alkohol wie z.B. Butanol, oder Wasser, gesättigte Atmosphäre erzeugt wird. Das Betriebsmittel B kann zum Beispiel über eine poröse Wandschicht, z.B. einen sogenannten Wick 6, dem Messkanal 3 im Inneren der Sättigungseinheit S zugeführt werden. Im Fall von Butanol als Betriebsmittel B kann die Temperatur in der Sättigungseinheit S beispielsweise 25 °C betragen, wobei diese gegebenenfalls durch eine geeignete Heizeinrichtung (nicht dargestellt) aufrechterhalten und ggf. verändert werden kann.

[0016] Nach der Sättigungseinheit S strömt der gesättigte Testaerosol-Fluidstrom TA über den Messkanal 3 in die nachfolgende Kondensationseinheit K, in der die Temperatur des Testaerosol-Fluidstroms TA durch Kühlung auf beispielsweise etwa 8 °C verringert wird. Durch die Kühlung kondensiert das Betriebsmittel B an den Feststoffpartikeln P im Testaerosol-Fluidstrom TA. Dadurch wächst jedes Feststoffpartikel P zu einem Kondensattröpfchen 7, das ausreichend groß ist, um von der nachfolgenden optischen Messzelle OM detektiert werden zu können. Bei der Messung von Abgasen von Verbrennungsmotoren können die ursprünglichen Feststoffpartikel P beispielsweise in der Größenordnung von ~100 nm vorliegen, wobei die Kondensattröpfchen 7 beispielsweise auf einen Durchmesser von etwa 5-20 µm anwachsen.

[0017] Da die Feststoffpartikel P lediglich als Kondensationskeime wirken, wirkt sich deren Größe nur geringfügig auf die Größe der Kondensattröpfchen 7 aus. Von der Kondensationseinheit K gelangen die angewachsenen Feststoffpartikel P in die optische Messzelle OM, die in Fig. 1 nur schematisch dargestellt ist. Wie in Fig.1 dargestellt ist, kann der Strömungsverlauf im Messkanal 3 der Kondensationseinheit K beispielsweise auch in vertikaler Richtung von unten nach oben verlaufen. Natürlich wäre aber auch ein gerader Strömungsverlauf möglich. Anschließend an die optische Messzelle OM kann beispielsweise eine geeignete Fördereinrichtung 8, wie z.B. eine Vakuumpumpe vorgesehen sein, mit der ein bestimmter vorgegebener oder einstellbarer Durchfluss im Messkanal 3 erzeugt werden kann.

[0018] Die optische Messzelle OM kann beispielsweise eine Streulichtmesseinrichtung aufweisen, die eine geeignete Lichtquelle 9, z.B. eine Laserlichtquelle, und einen geeigneten Lichtsensor 10 aufweist. Die Lichtquelle 9 und der Lichtsensor 10 sind dabei so angeordnet, dass eine Änderung des vom Lichtsensor 10 gemessenen Lichteinfalls, die auftritt, wenn ein Kondensattröpfchen 7 den Strahlengang der Lichtquelle 9 durchquert, von einer Recheneinheit 11 registriert und zur Ermittlung der Messgröße, insbesondere z.B. zur Ermittlung einer Partikelanzahl der Feststoffpartikel P ausgewertet wird. Die Recheneinheit 11 kann dabei ein Teil der optischen Messzelle OM sein, könnte aber beispielsweise auch Teil einer übergeordneten Steuerungseinheit sein. Beispielsweise könnte die optische Messzelle OM auf einem Motor- oder Fahrzeugprüfstand zur Messung der im Abgas enthaltenen Feststoffpartikel, wie z.B. Rußpartikel verwendet werden.

[0019] Die Recheneinheit 11 der optischen Messzelle OM könnte dann z.B. in einer Prüfstands-

steuerungseinheit 12 des Prüfstands integriert sein, die zur Steuerung eines Prüflaufs des am Prüfstand aufgebauten Prüflings (z.B. Verbrennungsmotor oder Gesamtfahrzeug) vorgesehen sein kann. Natürlich ist die dargestellte Ausführungsform nur beispielhaft zu verstehen und es ist bekannt, dass eine Kondensationspartikelzählvorrichtung im Detail auf unterschiedliche Weise implementiert sein kann, wobei die wesentlichen Komponenten, nämlich die Sättigung S, Kondensation K und optische Auswertung OM, erhalten bleiben.

[0020] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer elektrischen Messvorrichtung 13 zur Erfassung einer Messgröße von Feststoffpartikeln P in einem Testaerosol-Fluidstrom TA nach einem elektrischen Messprinzip. Als Messgröße kann wiederum beispielsweise eine Partikelanzahl und/oder einer Partikelanzahlkonzentration und/oder einer Partikelmasse und/oder einer Partikelgröße der Feststoffpartikel P ermittelt werden. Die elektrische Messvorrichtung 13 ist hier in Form der eingangs genannten Diffusionsaufladungsmessvorrichtung ausgebildet. Der Testaerosol-Fluidstrom TA durchströmt die elektrische Messvorrichtung 13 entlang eines Messkanals 14 und durchläuft sequentiell zumindest eine Aufladeeinheit L und danach zumindest eine elektrische Messzelle EM. Die Aufladeeinheit L kann beispielsweise einen Auflader 15 und einen Partikelabscheider 16 enthalten.

[0021] Die elektrische Aufladung im Auflader 15 kann beispielsweise durch einen Ionenstrom oder eine Ionenwolke erfolgen, der/die von einem Koronadraht 17 zu einer Ionenfalle 18 geleitet wird. Als Ionenfalle 18 kann z.B. eine einfache Elektrode verwendet werden. Der Koronadraht 17 befindet sich dabei vorzugsweise in einer geeigneten Koronakammer 19, die beispielsweise seitlich am Strömungskanal 14 angeordnet sein kann und durch ein Sperrgitter 20 abgetrennt sein kann. Die vom Koronadraht 17 in der Koronakammer 19 erzeugten Ionen dringen durch das Sperrgitter 20 und durchwandern den Messkanal 14, im Wesentlichen quer zur Strömungsrichtung des Testaerosol-Fluidstroms TA, zu der auf der gegenüberliegenden Seite angeordneten Ionenfalle 18. Dabei werden die Feststoffpartikel P beim Passieren des Ionenstroms oder der Ionenwolke elektrisch aufgeladen.

[0022] Der Auflader 15 kann beispielsweise „statisch“, d.h. mit einem über einen vorgegebenen Zeitverlauf konstanten Ionenstrom betrieben werden, wie in Fig.2 oberhalb der Ionenfalle 18 angedeutet ist. Dadurch werden alle Feststoffpartikel P Testaerosol-Fluidstrom TA im Wesentlichen gleichmäßig aufgeladen und gelangen dann in den im Messkanal 14 nachgelagerten Partikelabscheider 16. Der Partikelabscheider 16 kann auf dem elektrostatischen Prinzip beruhen, wobei zwischen gegenüberliegenden Elektroden 21a, 21b ein elektrisches Feld erzeugt wird, welches geladene Feststoffpartikel P zu einer sogenannten Niederschlagselektrode, hier Elektrode 21b, ableitet und dadurch aus dem Testaerosol-Fluidstrom TA entfernt, solange die Elektroden 21a, 21b geladen sind. Die Elektroden 21a, 21b des Partikelabscheiders 16 können beispielsweise mit einer definierten Frequenz gepulst geladen werden, wie in Fig.2 oberhalb der Elektrode 21b angedeutet ist, sodass im Testaerosol-Fluidstrom TA eine regelmäßige Abfolge an abwechselnd geladenen und ungeladenen Abschnitten entsteht, wie in Fig.2 angedeutet ist.

[0023] Die geladenen Abschnitte enthalten die von dem Auflader 15 geladenen Feststoffpartikel P, während in den ungeladenen Abschnitten im Wesentlichen alle Feststoffpartikel P entfernt sind. Diese wechselnde Abfolge an geladenen und ungeladenen Abschnitten erzeugt einen Verschiebestrom in der elektrischen Messzelle EM, der zur Ermittlung der Messgröße der Feststoffpartikel P (z.B. Partikelkonzentration, Partikelanzahl, Partikelgröße, Größenverteilung der Partikel P, etc.) ausgewertet werden kann, wie in Fig.2 oberhalb der elektrischen Messzelle EM angedeutet ist. Anstelle der konstanten „statischen“ Aufladung im Auflader 15 und der gepulsten abschnittswisen Entfernung im Partikelabscheider 16 könnte auch direkt eine gepulste, abschnittsweise Aufladung im Auflader 15 erfolgen. Der Partikelabscheider 16 wäre in diesem Fall nicht erforderlich und die wechselnde Abfolge an geladenen und ungeladenen Abschnitten des Testaerosol-Fluidstroms TA könnte direkt der elektrischen Messzelle EM zugeführt werden.

[0024] In der elektrischen Messzelle EM kann eine Detektion und Auswertung des Verschiebestroms erfolgen, der von den abschnittsweise geladenen Feststoffpartikeln P bewirkt wird, wenn diese die elektrische Messzelle EM durchströmen. Als elektrische Messzelle EM kann beispiels-

weise ein ausreichend empfindliches Elektrometer verwendet werden. Beispielsweise kann die elektrische Messzelle EM ein leitfähiges Rohr umfassen, durch das der Testaerosol-Fluidstrom TA mit den abschnittsweise geladenen Feststoffpartikeln P durchgeleitet wird. Nach dem Prinzip der Influenz ist am Rohr eine Messung des Verschiebestroms möglich. Durch die Auswertung der Höhe der positiven und negativen Wertspitzen des Verschiebestroms kann auf die Ladung und damit auf die Partikelanzahl der Feststoffpartikel P im Testaerosol-Fluidstrom TA rückgeschlossen werden.

[0025] Die Abstände der Wertspitzen können von einer Pulsdauer der Aufladung in der Aufladeinheit L und/oder durch den verwendeten Partikelabscheider 16 beeinflusst werden. Nach der elektrischen Messzelle EM verlässt der Testaerosol-Fluidstrom TA die elektrische Messvorrichtung 13, wobei gegebenenfalls wiederum eine nachgelagerte Fördereinrichtung 22, beispielsweise Saugpumpe, vorgesehen sein kann, um einen bestimmten vorgegebenen oder einstellbaren Durchfluss im Messkanal 14 zu erzeugen. Natürlich ist auch die dargestellte elektrische Messvorrichtung 13 nur beispielhaft zu verstehen und könnte bekanntermaßen im Detail auch verschieden ausgeführt sein, wobei das Messprinzip aber gleich bleibt.

[0026] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden nun das beispielhaft anhand Fig.1 erläuterte optische Messprinzip bzw. die optische Messvorrichtung 1 und das beispielhaft anhand Fig.2 erläuterte elektrische Messprinzip bzw. die elektrische Messvorrichtung 13 in vorteilhafter Weise zu einem Verfahren bzw. zu einer Vorrichtung kombiniert, wie nachfolgend anhand Fig.3a-3e im Detail erläutert wird. Dabei zeigen Fig.3a - Fig.3e schematisch vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung, wobei die Blöcke mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig.1 und Fig.2 den jeweiligen Komponenten bzw. Verfahrensschritten entsprechen. Eine erneute detaillierte Beschreibung erfolgt daher nicht mehr separat.

[0027] Die erfindungsgemäße Vorrichtung 23 weist einen Messkanal 24 für (zumindest) den Testaerosol-Fluidstrom TA auf, in welchem die Feststoffpartikel P enthalten sind. An der Vorrichtung 23 können beispielsweise geeignete Anschlüsse 25, 26 zur Zuführung und Abführung des Testaerosol-Fluidstroms TA zum Messkanal 24 vorgesehen sein. Die Vorrichtung 23 könnte beispielsweise auch eine geeignete (nicht dargestellte) Fördereinrichtung aufweisen, beispielsweise eine Vakuumpumpe, um einen festgelegten oder einstellbaren Durchfluss zu erzeugen. Die Fördereinrichtung kann dabei ein Teil der Vorrichtung 23 sein, könnte aber auch der Vorrichtung 23 nachgelagert sein. Im Messkanal 24 ist ein Messabschnitt MA zur Ermittlung zumindest einer Messgröße der Feststoffpartikel P im Testaerosol-Fluidstrom TA vorgesehen.

[0028] Im Messabschnitt MA ist dazu zumindest eine optische Messeinrichtung angeordnet, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel P des Testaerosol-Fluidstroms TA nach einem optischen Messprinzip zu ermitteln. Zusätzlich ist im Messabschnitt MA zumindest eine elektrische Messeinrichtung vorgesehen, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel P an demselben Testaerosol-Fluidstrom TA nach einem elektrischen Messprinzip zu ermitteln. Mit dem optischen Messprinzip kann beispielsweise eine Partikelanzahl und/oder eine Partikelanzahlkonzentration und/oder eine Partikelmasse und/oder eine Partikelgröße der Feststoffpartikel P als Messgröße ermittelt werden. In analoger Weise kann mit dem elektrischen Messprinzip beispielsweise eine Partikelanzahl und/oder eine Partikelanzahlkonzentration und/oder eine Partikelmasse und/oder eine Partikelgröße der Feststoffpartikel P als Messgröße ermittelt werden.

[0029] Die Messgröße des optischen Messprinzips kann gleich oder verschieden sein wie die Messgröße des elektrischen Messprinzips. Das optische Messprinzip umfasst vorzugsweise mehrere sequentielle Verfahrensschritte, wobei zur Durchführung jedes Verfahrensschrittes des optischen Messprinzips zumindest eine Messeinrichtungskomponente 27 vorgesehen ist. Das elektrische Messprinzip umfasst vorzugsweise ebenfalls mehrere sequentielle Verfahrensschritte, wobei zur Durchführung jedes Verfahrensschrittes des elektrischen Messprinzips zumindest eine Messeinrichtungskomponente 28 vorgesehen ist.

[0030] Als optische Messeinrichtung ist in der Vorrichtung 23 vorteilhafterweise ein Kondensationspartikelzähler zur Durchführung einer Kondensationspartikelzählung vorgesehen und als

elektrische Messeinrichtung ist vorzugsweise eine Diffusionsaufladungsmesseinrichtung zur Durchführung einer Diffusionsaufladungsmessung vorgesehen. Wie bereits ausführlich anhand Fig.1 beschrieben wurde, kann der Kondensationspartikelzähler als Messeinrichtungskomponenten 27 zumindest eine Sättigungseinheit S, zumindest eine Kondensationseinheit K und zumindest eine optische Messzelle OM zur optischen Messung der Messgröße, vorzugsweise eine Streulichtmesseinrichtung aufweisen. Wie bereits ausführlich anhand Fig.2 beschrieben wurde kann die Diffusionsaufladungsmesseinrichtung als Messeinrichtungskomponenten 28 zumindest eine Aufladeeinheit L zum vorzugsweise gepulsten, elektrischen Aufladen des Testaerosol-Fluidstroms TA, insbesondere der enthaltenen Feststoffpartikel, und zumindest eine elektrische Messzelle EM zum elektrischen Messen der Messgröße oder einer der Messgröße proportionalen elektrischen Messgröße aufweisen.

[0031] Weiters können an der Vorrichtung 23 auch ein oder mehrere weitere (nicht dargestellte) Anschlüsse und/oder Schnittstellen vorgesehen sein. Beispielsweise können ein oder mehrere Anschlüsse zur Energieversorgung der Vorrichtung 23 bzw. der darin enthaltenen Messeinrichtungskomponenten 27, 28 vorgesehen sein und/oder es können ein oder mehrere Anschlüsse zum Zuführen oder Abführen eines Betriebsmediums B vorgesehen sein. Weiters könnte auch eine Datenübertragungs-Schnittstelle an der Vorrichtung 23 vorgesehen sein, beispielsweise um die Vorrichtung 23 zur Messdatenerfassung und/oder -auswertung mit einer übergeordneten Steuerungseinheit, z.B. einer Prüfstandssteuerungseinheit 12 (siehe Fig.1) zu verbinden.

[0032] Natürlich wäre es auch denkbar, dass in der Vorrichtung 23 auch eine oder mehrere Recheneinheiten (siehe z.B. Fig.1) zur Auswertung und ggf. Weiterverarbeitung der erfassten Messgröße(n) vorgesehen sind. Beispielsweise könnte eine Recheneinheit dazu ausgebildet sein, eine mit dem optischen Messprinzip ermittelte Messgröße mit einer mit dem elektrischen Messprinzip ermittelten Messgröße zu vergleichen, beispielsweise, um eine Messgröße zu validieren. In der Recheneinheit könnte aber auch eine direkt oder indirekt erfasste Messgröße auf eine andere Größe umgerechnet werden usw. Es könnte auch eine mit dem optischen Messprinzip erfasste Messgröße, z.B. die die Partikelanzahl oder Partikelanzahlkonzentration, dazu verwendet werden, um aus einer mit dem elektrischen Messprinzip erfassten Messgröße eine Zusatzinformation zu gewinnen, beispielsweise aus der eingangs genannten Korrelation zwischen der mit der elektrischen Messvorrichtung gemessenen Partikelanzahlkonzentration und der Partikelgröße. Zusätzlich könnte in der Vorrichtung 23 beispielsweise auch eine (nicht dargestellte) Speichereinheit vorgesehen sein, um Messergebnisse zu speichern.

[0033] Insbesondere, wenn die Vorrichtung 23 zur alleinigen autonomen Verwendung (z.B. unabhängig von einem Prüfstand) vorgesehen ist, können beispielsweise auch eine (nicht dargestellte) Benutzerschnittstelle und/oder eine Anzeigeeinheit vorgesehen sein. Die Benutzerschnittstelle kann z.B. vorgesehen sein, um die Vorrichtung 23 in Betrieb zu nehmen oder bestimmte Einstellungen vorzunehmen, beispielsweise Wahl einer Messgröße, eines Messbereichs, usw. Über die Anzeigeeinheit könnten beispielsweise Messergebnisse angezeigt werden und/oder es könnte ein Betriebszustand der Vorrichtung 23 ausgegeben werden. Beispielsweise könnte lediglich signalisiert werden, ob und wann die Vorrichtung 23 betriebsbereit ist oder es könnte auch z.B. ein angezeigt werden, wenn ein Fehlerzustand vorliegt. Auch könnten ggf. Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, etc. gemessen und ggf. über die Benutzerschnittstelle eingestellt und/oder über die Anzeigeeinheit ausgegeben werden. Auch die Anzeige eines Betriebsmittel-Füllstand wäre beispielsweise denkbar.

[0034] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass zumindest eine Messeinrichtungskomponente 27 der optischen Messeinrichtung und zumindest eine Messeinrichtungskomponente 28 der elektrischen Messeinrichtung so im Messabschnitt MA der Vorrichtung 23 angeordnet sind, dass der jeweilige Verfahrensschritt des optischen Messverfahrens und der der jeweilige Verfahrensschritt des elektrischen Messverfahrens zumindest teilweise parallel am Testaerosol-Fluidstrom TA durchführbar sind, wie beispielhaft in Fig.3a und Fig.3b dargestellt ist. Im Beispiel gemäß Fig.3a durchläuft der Testaerosol-Fluidstrom TA zuerst die Aufladeeinheit L des elektrischen Messprinzips, wobei die Feststoffpartikel P elektrischen geladen werden. Danach strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die

Sättigungseinheit S, wobei der (geladene) Testaerosol-Fluidstrom TA mit Betriebsmitteldampf eines Betriebsmittels B (Fig.1) gesättigt wird. Danach strömt der (geladene und gesättigte) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die Kondensationseinheit K. In der Kondensationseinheit K wird der Testaerosol-Fluidstrom TA gekühlt, sodass das Betriebsmittel B an den Feststoffpartikeln P aufkondensiert.

[0035] Schließlich strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA mit den nunmehr geladenen Kondensattröpfchen weiter und durchläuft zumindest teilweise parallel die optische Messzelle OM, in der die optische Messung der Messgröße erfolgt, und die elektrische Messzelle EM, in der die elektrische Messung der Messgröße oder einer proportionalen elektrischen Messgröße erfolgt. Unter parallel ist im Rahmen der Erfindung zu verstehen, dass zumindest Teile der in den jeweiligen Messeinrichtungskomponenten 27, 28 durchgeführten Verfahrensschritte gleichzeitig durchgeführt werden. Dazu können die Messeinrichtungskomponenten 27, 28, in Fig.3a die optische Messzelle OM und die elektrische Messzelle EM, beispielsweise an der gleichen Stelle im Messabschnitt MA angeordnet sein und sich zumindest teilweise in Strömungsrichtung überlappen. Natürlich könnte auch anstelle zweier separater Messeinrichtungskomponenten 27, 28 eine einzige kombinierte Messeinrichtungskomponente vorgesehen sein, die dazu geeignet ist, den jeweiligen Verfahrensschritt des optischen Messprinzips und den jeweiligen Verfahrensschritt des elektrischen Messprinzips durchzuführen. Die Anordnung der optischen Messzelle OM und der elektrischen Messzelle EM gemäß Fig.3a hat den Vorteil, dass die optische und elektrische Messung zum selben Zeitpunkt stattfindet, sodass eine bessere Korrelation und Vergleichbarkeit der Messergebnisse im Vergleich zu einer örtlich getrennten Messung gegeben ist.

[0036] Eine weitere Variante der zumindest teilweise parallelen Durchführung von Verfahrensschritten des optischen und elektrischen Messprinzips ist in Fig.3b dargestellt. Hierbei durchläuft der Testaerosol-Fluidstrom TA zuerst die Sättigungseinheit S, wobei der Testaerosol-Fluidstrom TA mit Betriebsmitteldampf eines Betriebsmittels B (Fig.1) gesättigt wird. Danach strömt der (gesättigte) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die Kondensationseinheit K, in welcher der Testaerosol-Fluidstrom TA gekühlt wird, sodass das Betriebsmittel B an den Feststoffpartikeln P aufkondensiert. Danach strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA mit den Kondensattröpfchen weiter und durchläuft zumindest teilweise parallel die optische Messzelle OM, in der die optische Messung der Messgröße erfolgt, und die Aufladeeinheit L des elektrischen Messprinzips, in der die Feststoffpartikel P bzw. Kondensattröpfchen elektrischen geladen werden.

[0037] Schließlich strömt der (geladene) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die elektrische Messzelle EM, in der die elektrische Messung der Messgröße oder einer proportionalen elektrischen Messgröße erfolgt. Im Beispiel gemäß Fig.3b werden also im Wesentlichen der letzte der sequentiellen Verfahrensschritte des optischen Messprinzips (optische Messzelle OM) und der erste der sequentiellen Verfahrensschritte des elektrischen Messprinzips (Aufladeeinheit L) zumindest teilweise parallel durchgeführt. Durch eine zumindest teilweise parallele Durchführung des optischen und elektrischen Messprinzips, wie beispielhaft in Fig.3a und Fig.3b dargestellt ist, kann eine kompakte Vorrichtung 23 geschaffen werden.

[0038] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann zumindest eine Messeinrichtungskomponente 27 der optischen Messeinrichtung und zumindest eine Messeinrichtungskomponente 28 der elektrischen Messeinrichtung so im Messabschnitt MA der Vorrichtung 23 angeordnet sein, dass die Verfahrensschritte des optischen Messprinzips und die Verfahrensschritte des elektrischen Messprinzips zumindest teilweise alternierend durchführbar sind, wie mit Bezugnahme auf Fig.3c erläutert wird. Hierbei durchläuft der Testaerosol-Fluidstrom TA zuerst die Aufladeeinheit L des elektrischen Messprinzips, wobei die Feststoffpartikel P elektrischen geladen werden. Danach strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die Sättigungseinheit S, wobei der (geladene) Testaerosol-Fluidstrom TA mit Betriebsmitteldampf eines Betriebsmittels B (Fig.1) gesättigt wird.

[0039] Danach strömt der (geladene und gesättigte) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Mess-

kanal 24 weiter und durchläuft die elektrische Messzelle EM, in der die elektrische Messung der Messgröße oder einer proportionalen elektrischen Messgröße erfolgt. Danach strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter zur Kondensationseinheit K, in welcher der Testaerosol-Fluidstrom TA gekühlt wird, sodass das Betriebsmittel B an den Feststoffpartikeln P aufkondensiert. Schließlich strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA mit den nunmehr geladenen Kondensattröpfchen weiter und durchläuft die optische Messzelle OM, in der die optische Messung der Messgröße erfolgt. Durch die abwechselnde Anordnung der Messeinrichtungskomponenten 27, 28 des optischen und elektrischen Messprinzips kann gewährleistet werden, dass sich die jeweiligen Verfahrensschritte nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Dadurch, dass die elektrische Messung in der elektrischen Messzelle EM vor der Kondensation in der Kondensationseinheit K erfolgt, kann eine etwaige Abscheidung von Kondensattröpfchen an der elektrischen Messzelle EM vermieden werden, die bei einer umgekehrten Reihenfolge auftreten könnte.

[0040] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Messeinrichtungskomponenten 27 der optischen Messeinrichtung und die Messeinrichtungskomponenten 28 der elektrischen Messeinrichtung so an der Vorrichtung 23 angeordnet sind, dass zuerst alle Verfahrensschritte des optischen Messprinzips durchführbar sind und danach alle Verfahrensschritte des elektrischen Messprinzips durchführbar sind oder umgekehrt. Ein Beispiel dafür ist in Fig.3d dargestellt. Hierbei durchläuft der Testaerosol-Fluidstrom TA zuerst die Aufladeeinheit L des elektrischen Messprinzips, in der die Feststoffpartikel P bzw. Kondensattröpfchen elektrischen geladen werden. Danach strömt der (geladene) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die elektrische Messzelle EM, in der die elektrische Messung der Messgröße oder einer proportionalen elektrischen Messgröße erfolgt, wodurch das elektrische Messprinzip abgeschlossen ist.

[0041] Der Testaerosol-Fluidstrom TA strömt durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die Sättigungseinheit S, wobei der Testaerosol-Fluidstrom TA mit Betriebsmitteldampf eines Betriebsmittels B (Fig.1) gesättigt wird. Danach strömt der (gesättigte) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und durchläuft die Kondensationseinheit K, in welcher der Testaerosol-Fluidstrom TA gekühlt wird, sodass das Betriebsmittel B an den Feststoffpartikeln P aufkondensiert. Danach strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA mit den Kondensattröpfchen weiter und durchläuft die optische Messzelle OM, in der die optische Messung der Messgröße erfolgt, wodurch auch das optische Messprinzip abgeschlossen ist. Im Beispiel gemäß Fig.3d werden also zuerst alle sequentiellen Verfahrensschritte des elektrischen Messprinzips durchgeführt und danach werden alle sequentiellen Verfahrensschritte des optischen Messprinzips durchgeführt.

[0042] Natürlich wäre aber auch die umgekehrte Variante denkbar. Diese Ausführungsform entspricht vom Prinzip her im Wesentlichen einer sequentiellen Verwendung der zwei separaten Messvorrichtungen gemäß Fig.1 und Fig.2. Durch die Integration beider Messvorrichtungen in einer Vorrichtung kann allerdings eine Vorrichtung 23 geschaffen werden, die gegenüber zwei separaten Messvorrichtungen wesentlich einfacher im Aufbau und in der Verwendung ist.

[0043] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf Fig.3e eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung erläutert. Dabei ist vorgesehen, dass im Messabschnitt MA der Vorrichtung 23 zumindest eine Mischeinheit M angeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, den Testaerosol-Fluidstrom TA mit einem Trägersaerosol-Fluidstrom TRA zu einem Misch-Fluidstrom MF zu mischen. Zumindest eine Messeinrichtungskomponenten 27, 28 der optischen und/oder der elektrischen Messeinrichtung ist so im Messabschnitt MA der Vorrichtung 23 angeordnet, dass der jeweilige Verfahrensschritt des optischen und/oder des elektrischen Messprinzips im Trägersaerosol-Fluidstrom TRA vor dem Mischen in der Mischeinheit M durchführbar ist. Weiters ist zumindest eine Messeinrichtungskomponenten 27, 28 der elektrischen und/oder der optischen Messeinrichtung so im Messabschnitt MA der Vorrichtung 23 angeordnet, dass der jeweilige Verfahrensschritt des elektrischen und/oder des optischen Messprinzips im Testaerosol-Fluidstrom TA vor dem Mischen in der Mischeinheit M durchführbar ist.

[0044] Zumindest eine Messeinrichtungskomponenten 27 der optischen Messeinrichtung und zumindest eine Messeinrichtungskomponenten 28 der elektrischen Messeinrichtung sind so im

Messabschnitt MA der Vorrichtung 23 angeordnet, dass der jeweilige Verfahrensschritt des optischen Messprinzips und der jeweilige Verfahrensschritt des elektrischen Messprinzips im Misch-Fluidstrom MF nach der Mischeinheit M durchführbar sind. Vorzugsweise können diese wiederum zumindest teilweise parallel am Misch-Fluidstrom MF durchgeführt werden, wie bereits anhand Fig.3a erläutert wurde. Als Trägersaerosol-Fluidstrom TRA sollte ein möglichst partikelfreies Gas verwendet werden, beispielsweise gefilterte Luft, Stickstoff (N₂) oder ein Edelgas. Um eine möglichst partikelfreie Luft zu erhalten, kann beispielsweise Raumluft durch einen geeigneten Filter geführt werden, um die enthaltenen Partikel zu entfernen. Als Filter kann z.B. ein bekannter HEPA-Filter (High-Efficiency Particulate Air-Filter) verwendet werden. Der Trägersaerosol-Fluidstrom TRA wird der Vorrichtung 23 vorzugsweise über einen geeigneten Anschluss 29 zugeführt. Nach Durchführung des entsprechenden Verfahrensschrittes in der zumindest einen Messeinrichtungskomponente 27, 28 kann der Trägersaerosol-Fluidstrom TRA über einen geeigneten Zuführkanal 30 der Mischeinheit M zugeführt werden.

[0045] Als Mischeinheit M kann beispielsweise eine geeignete „passive“ Einrichtung vorgesehen sein, in welcher die Fluidströme ohne Fremdenergie, z.B. durch Turbulenz gemischt werden. Als Mischeinheit M kann beispielsweise aber auch eine geeignete „aktive“ Einrichtung vorgesehen sein, in welcher die Fluidströme mittels Fremdenergie, z.B. durch ein angetriebenes Mischelement gemischt werden. Im dargestellten Beispiel gemäß Fig.3e strömt der Testaerosol-Fluidstrom TA zuerst über den Messkanal 24 zur Aufladeeinheit L des elektrischen Messprinzips, in der die Feststoffpartikel P elektrisch geladen werden. Die Ladung erfolgt hier mit einer festgelegten ersten, hier positiven, Polarität, wie durch das Plus-Symbol angedeutet ist. Danach strömt der (geladene) Testaerosol-Fluidstrom TA durch den Messkanal 24 weiter und gelangt in die Mischeinheit M.

[0046] Der Trägersaerosol-Fluidstrom TRA wird der Vorrichtung 23 über den Anschluss 29 zugeführt und wird der Sättigungseinheit S zugeführt, in welcher der Trägersaerosol-Fluidstrom TRA mit einem geeigneten Dampf gesättigt wird, beispielsweise mit einem Betriebsmitteldampf eines Betriebsmittels B (Fig.1). Zusätzlich wird der Trägersaerosol-Fluidstrom TRA mit einer zweiten, hier negativen, Polarität elektrisch geladen, wie durch das Minus-Symbol in Fig.3e angedeutet ist. Das Laden kann direkt in der Sättigungseinheit S erfolgen, könnte aber auch in einer nachgelagerten (nicht dargestellten) separaten Einheit erfolgen, beispielsweise einer analogen Ladeeinheit L wie in der elektrischen Messvorrichtung. Nach der Sättigungseinheit S (oder der separaten (Lade-)Einheit) strömt der (gesättigte und negativ geladene) Trägersaerosol-Fluidstrom TRA durch den Zuführkanal 30 zur Mischeinheit M und wird darin mit dem zugleich zugeführten (positiv geladenen) Testaerosol-Fluidstrom TA zu einem Misch-Fluidstrom MF gemischt. Durch die gegenteilige Polarität kann die Anlagerung von gesättigtem Dampf des Trägersaerosols an den Partikeln des Testaerosol-Fluidstroms TA erleichtert werden.

[0047] Der Misch-Fluidstrom MF enthält somit eine Mischung aus positiv geladenen Feststoffpartikeln P und negativ geladenen Partikeln des Trägersaerosol-Fluidstroms TRA. Der Misch-Fluidstrom MF durchläuft nach optional eine Kondensationseinheit K, wie gestrichelt angedeutet ist, in der der Misch-Fluidstrom MF gekühlt wird, sodass das Betriebsmittel B an den Feststoffpartikeln P des ursprünglichen Testaerosol-Fluidstroms TA aufkondensiert. Dadurch kann erreicht werden, dass alle Kondensattröpfchen im Wesentlichen die gleiche Größe aufweisen. Danach erfolgt die optische Messung der Messgröße in der optischen Messzelle OM und die elektrische Messung der Messgröße in der elektrischen Messzelle EM. Dies kann beispielsweise sequentiell erfolgen oder, so wie in Fig.3e dargestellt (zumindest teilweise) parallel.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung zumindest einer Messgröße von Feststoffpartikeln (P) in einem Testaerosol-Fluidstrom (TA), der durch einen Messabschnitt (MA) geleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Messabschnitt (MA) an demselben Testaerosol-Fluidstrom (TA) zumindest eine Erfassung zumindest einer Messgröße nach einem optischen Messprinzip und zumindest eine Erfassung zumindest einer Messgröße nach einem elektrischen Messprinzip durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem optischen Messprinzip zumindest eine Partikelanzahl und/oder eine Partikelanzahlkonzentration und/oder eine Partikelmasse und/oder eine Partikelgröße der Feststoffpartikel (P) als Messgröße ermittelt wird und/oder dass mit dem elektrischen Messprinzip zumindest eine Partikelanzahl und/oder eine Partikelanzahlkonzentration und/oder eine Partikelmasse und/oder eine Partikelgröße der Feststoffpartikel (P) als Messgröße ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Messprinzip und das elektrische Messprinzip jeweils mehrere sequentielle Verfahrensschritte (L, EM; S, K, OM) umfassen.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Verfahrensschritt (OM) des optischen Messprinzips und ein Verfahrensschritt (EM) des elektrischen Messprinzips zumindest teilweise parallel am Testaerosol-Fluidstrom (TA) durchgeführt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verfahrensschritte (S, K, OM) des optischen Messprinzips und die Verfahrensschritte (L, EM) des elektrischen Messprinzips zumindest teilweise alternierend durchgeführt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zuerst alle Verfahrensschritte (S, K, OM) des optischen Messprinzips durchgeführt werden und danach alle Verfahrensschritte (L, EM) des elektrischen Messprinzips durchgeführt werden oder umgekehrt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Messabschnitt (MA) ein Trägersaerosol-Fluidstrom (TRA) zugeführt wird, der mit dem Testaerosol-Fluidstrom (TA) zu einem Misch-Fluidstrom (MF) gemischt wird, wobei im Trägersaerosol-Fluidstrom (TRA) vor dem Mischen (M) zumindest ein Verfahrensschritt (S) des optischen und/oder elektrischen Messprinzips durchgeführt wird und im Testaerosol-Fluidstrom (TA) vor dem Mischen (M) zumindest ein Verfahrensschritt (L) des elektrischen und/oder optischen Messprinzips durchgeführt wird und dass im Misch-Fluidstrom (MF) nach dem Mischen (M) zumindest ein Verfahrensschritt (OM) des optischen Messprinzips und zumindest ein Verfahrensschritt des elektrischen Messprinzips (EM) durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als optisches Messprinzip eine Kondensationspartikelzählung verwendet wird und/oder dass als elektrisches Messprinzip eine Diffusionsaufladungsmessung verwendet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kondensationspartikelzählung zumindest die folgenden Verfahrensschritte umfasst:
 - Sättigen (S) eines Aerosol-Fluidstroms mit einem Betriebsmitteldampf eines Betriebsmittels (B),
 - Kühlen eines Aerosol-Fluidstroms zum Kondensieren (K) des Betriebsmittels (B) an den enthaltenen Feststoffpartikeln (P),
 - Optisches Messen (OM) der Messgröße in einem Aerosol-Fluidstrom, vorzugsweise mittels Streulichtmessungund/oder dass die Diffusionsaufladungsmessung zumindest die folgenden Verfahrensschritte umfasst:
 - elektrisches, vorzugsweise gepulstes, Aufladen (L) eines Aerosol-Fluidstroms, insbesondere der enthaltenen Feststoffpartikel (P),

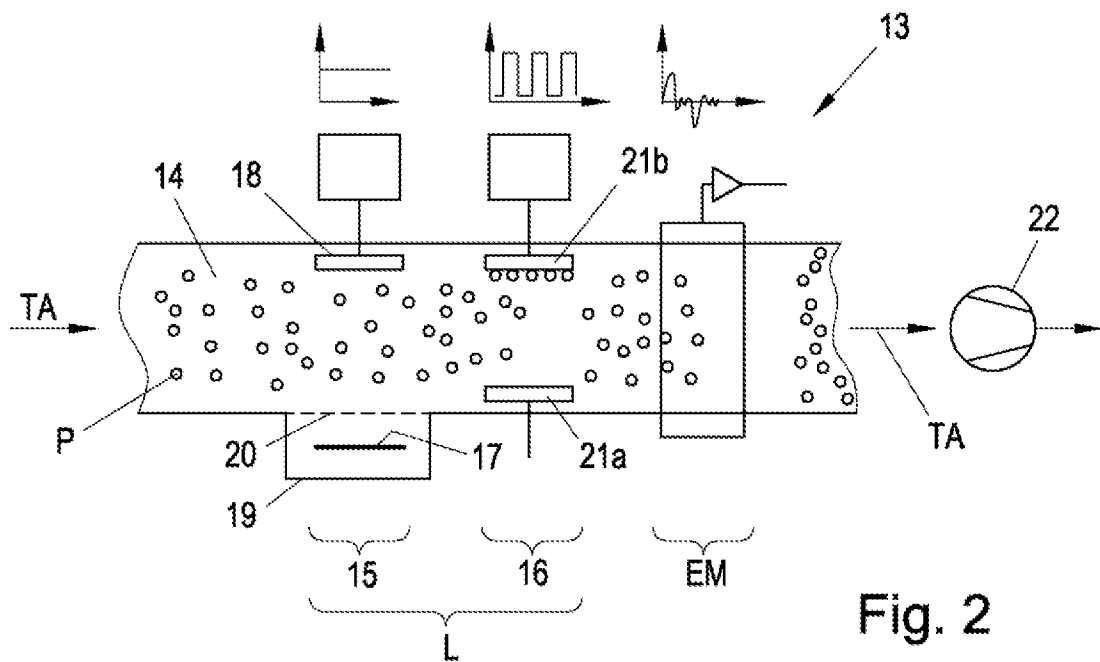
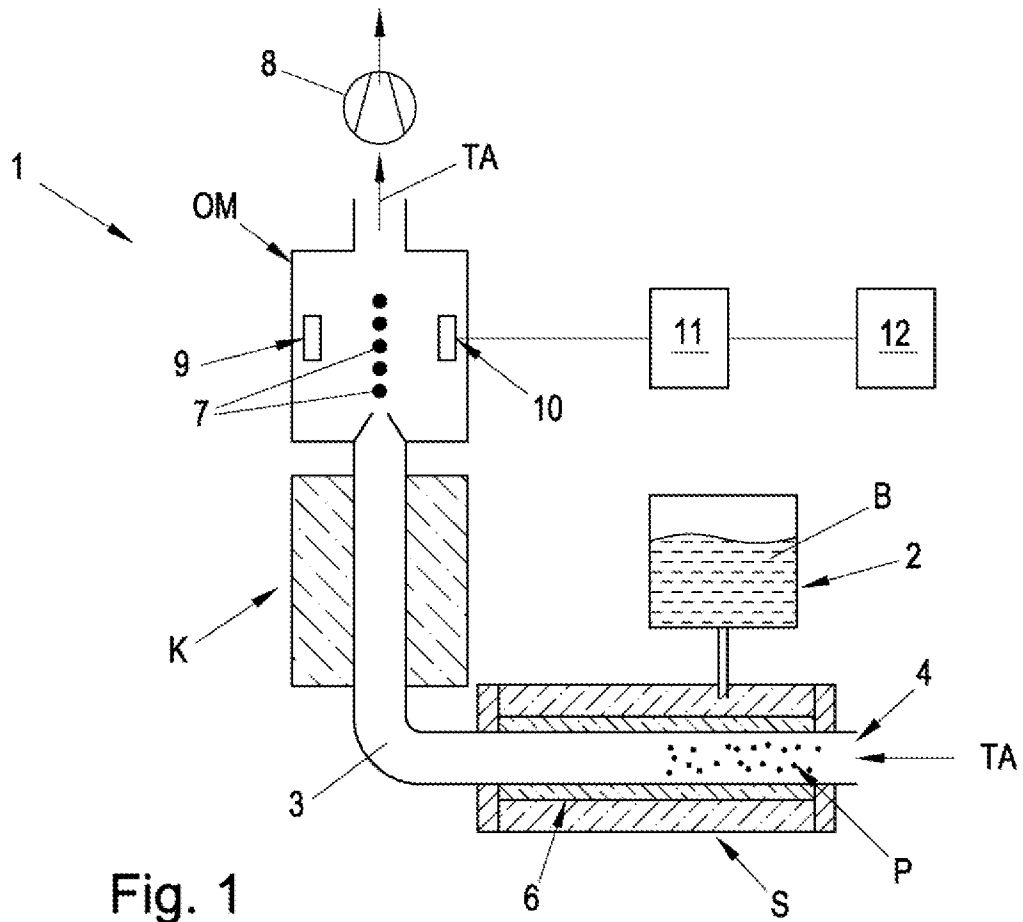
- Elektrisches Messen (EM) der Messgröße oder einer der Messgröße proportionalen elektrischen Messgröße in einem Aerosol-Fluidstrom.
- 10. Vorrichtung (23) zur Ermittlung zumindest einer Messgröße von Feststoffpartikeln (P) in einem Testaerosol-Fluidstrom (TA), wobei in der Vorrichtung ein Messabschnitt (MA) zur Ermittlung der zumindest einen Messgröße im Testaerosol-Fluidstrom (TA) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Messabschnitt (MA) zumindest eine optische Messeinrichtung (1) angeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel (P) des Testaerosol-Fluidstroms nach einem optischen Messprinzip zu ermitteln und dass im Messabschnitt (MA) zusätzlich zumindest eine elektrische Messeinrichtung (13) vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist, zumindest eine Messgröße der Feststoffpartikel (P) an demselben Testaerosol-Fluidstrom (TA) nach einem elektrischen Messprinzip zu ermitteln.
- 11. Vorrichtung (23) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Messeinrichtung (1) dazu ausgebildet ist, als Messgröße eine Partikelanzahl und/oder eine Partikelanzahlkonzentration und/oder eine Partikelmasse und/oder eine Partikelgröße der Feststoffpartikel (P) zu ermitteln und/oder dass und die elektrische Messeinrichtung (13) dazu ausgebildet ist, als Messgröße eine Partikelanzahl und/oder eine Partikelanzahlkonzentration und/oder eine Partikelmasse und/oder eine Partikelgröße der Feststoffpartikel (P) zu ermitteln.
- 12. Vorrichtung (23) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Messprinzip mehrere sequentielle Verfahrensschritte (S, K, OM) umfasst, wobei zur Durchführung jedes Verfahrensschrittes (S, K, OM) des optischen Messprinzips zumindest eine Messeinrichtungskomponente (27) vorgesehen ist und/oder dass das elektrische Messprinzip mehrere sequentielle Verfahrensschritte (L, EM) umfasst, wobei zur Durchführung jedes Verfahrensschrittes (L, EM) des elektrischen Messprinzips zumindest eine Messeinrichtungskomponente (28) vorgesehen ist.
- 13. Vorrichtung (23) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Messeinrichtungskomponente (27) der optischen Messeinrichtung (1) und zumindest eine Messeinrichtungskomponente (28) der elektrischen Messeinrichtung (13) so an der Vorrichtung (23) angeordnet sind, dass der jeweilige Verfahrensschritt (OM) des optischen Messverfahrens und der der jeweilige Verfahrensschritt (EM) des elektrischen Messverfahrens zumindest teilweise parallel an demselben Testaerosol-Fluidstrom (TA) durchführbar sind.
- 14. Vorrichtung (23) nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Messeinrichtungskomponente (27) der optischen Messeinrichtung (1) und zumindest eine Messeinrichtungskomponente (28) der elektrischen Messeinrichtung (13) so an der Vorrichtung (23) angeordnet sind, dass die Verfahrensschritte (S, K, OM) des optischen Messprinzips und die Verfahrensschritte (L, EM) des elektrischen Messprinzips zumindest teilweise alternierend durchführbar sind.
- 15. Vorrichtung (23) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtungskomponenten (27) der optischen Messeinrichtung (1) und die Messeinrichtungskomponenten (28) der elektrischen Messeinrichtung (13) so an der Vorrichtung (23) angeordnet sind, dass zuerst alle Verfahrensschritte (S, K, OM) des optischen Messprinzips durchführbar sind und danach alle Verfahrensschritte (L, EM) des elektrischen Messprinzips durchführbar sind oder umgekehrt.
- 16. Vorrichtung (23) nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Vorrichtung (23) zumindest eine Mischeinheit (M) angeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, den Testaerosol-Fluidstrom (TA) mit einem Trägersaerosol-Fluidstrom zu einem Misch-Fluidstrom (MF) zu mischen, wobei zumindest eine Messeinrichtungskomponente (27, 28) der optischen und/oder der elektrischen Messeinrichtung (1, 13) so in der Vorrichtung (23) angeordnet ist, dass der jeweilige Verfahrensschritt (S) des optischen und/oder des elektrischen Messprinzips im Trägersaerosol-Fluidstrom (TRA) vor dem Mischen in der Mischeinheit

(M) durchführbar ist und zumindest eine Messeinrichtungskomponenten (27, 28) der elektrischen und/oder der optischen Messeinrichtung (1, 13) so in der Vorrichtung (23) angeordnet ist, dass der jeweilige Verfahrensschritt (L) des elektrischen und/oder des optischen Messprinzips im Testaerosol-Fluidstrom (TA) vor dem Mischen in der Mischeinheit (M) durchführbar ist und dass zumindest eine Messeinrichtungskomponente (27) der optischen Messeinrichtung (1) und zumindest eine Messeinrichtungskomponenten (28) der elektrischen Messeinrichtung (13) so in der Vorrichtung (23) angeordnet sind, dass der jeweilige Verfahrensschritt (OM) des optischen Messprinzips und der jeweilige Verfahrensschritt (EM) des elektrischen Messprinzips im Misch-Fluidstrom (MF) nach der Mischeinheit (M) durchführbar sind, vorzugsweise zumindest teilweise parallel am Misch-Fluidstrom (MF).

17. Vorrichtung (23) nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass als optische Messeinrichtung (1) ein Kondensationspartikelzähler vorgesehen ist und/oder dass als elektrische Messeinrichtung (13) eine Diffusionsaufladungsmesseinrichtung verwendet wird.
18. Vorrichtung (23) nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kondensationspartikelzähler zumindest folgende Messeinrichtungskomponenten umfasst:
 - zumindest eine Sättigungseinheit (S),
 - zumindest eine Kondensationseinheit (K),
 - zumindest eine optische Messzelle (OM) zur optischen Messung der Messgröße, vorzugsweise eine Streulichtmesseinrichtungund/oder dass die Diffusionsaufladungsmesseinrichtung zumindest folgende Messeinrichtungskomponenten umfasst:
 - zumindest eine Aufladeeinheit (L) zum vorzugsweise gepulsten, elektrischen Aufladen eines Aerosol-Fluidstroms, insbesondere der enthaltenen Feststoffpartikel (P),
 - zumindest eine elektrische Messzelle (EM) zum elektrischen Messen der Messgröße oder einer der Messgröße proportionalen elektrischen Messgröße.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3



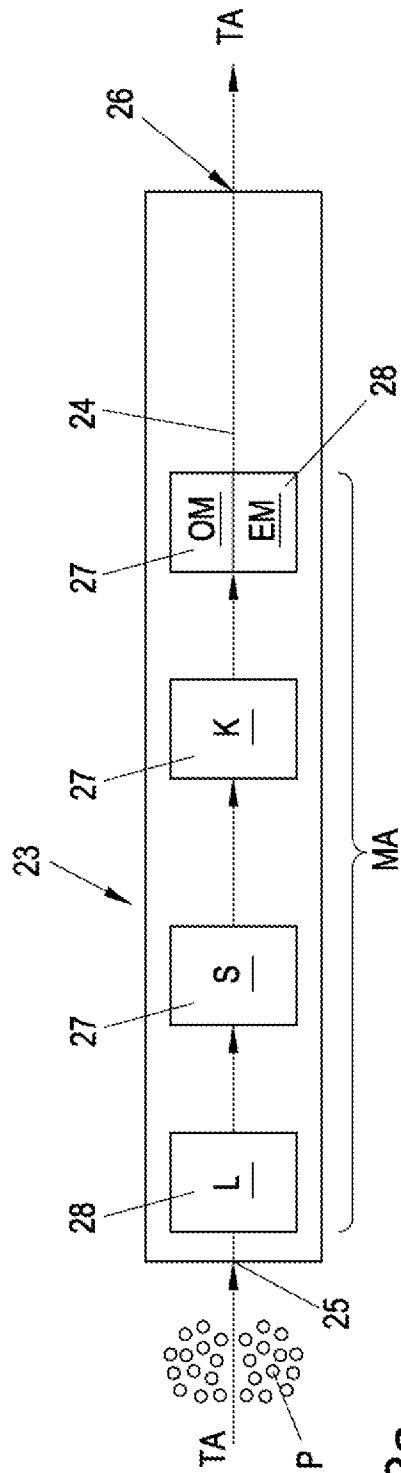


Fig. 3a

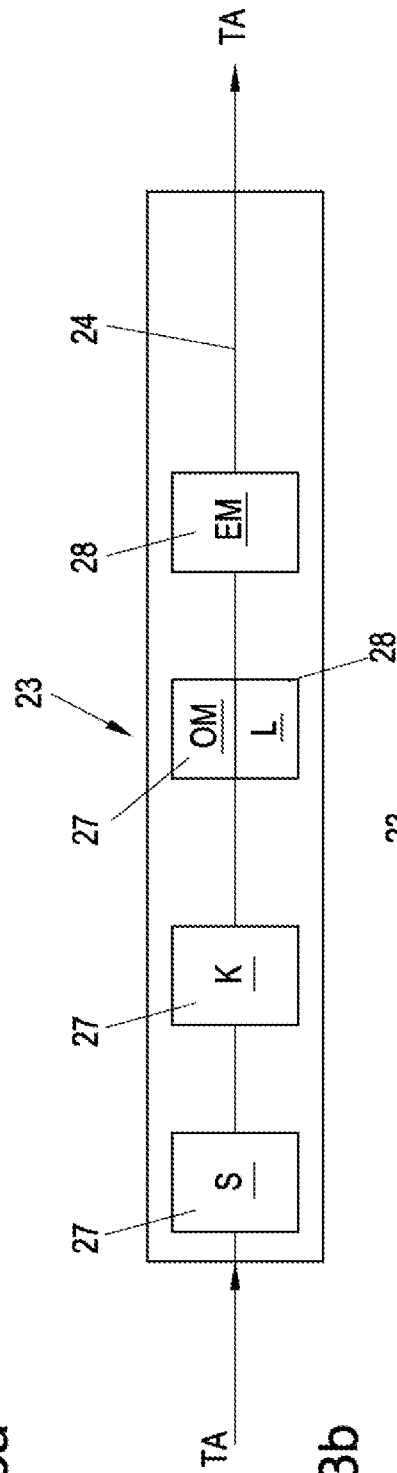


Fig. 3b

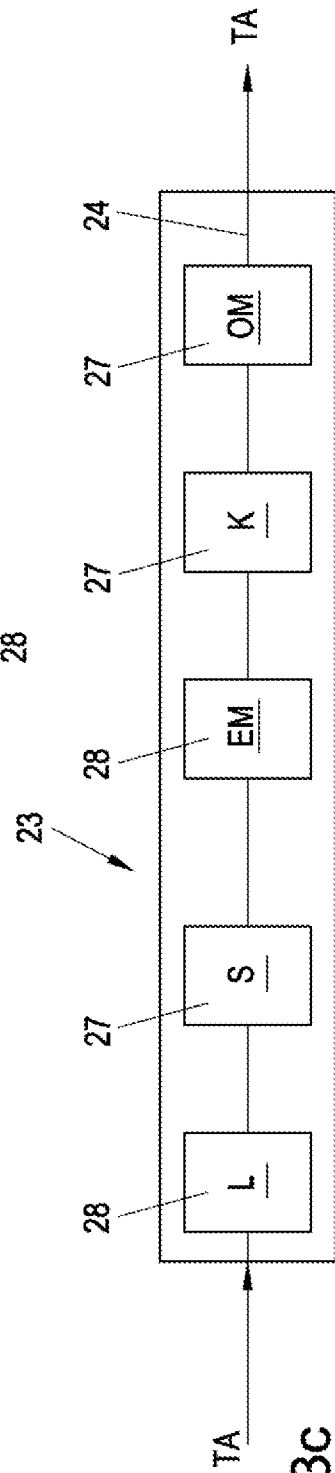


Fig. 3c

3/3

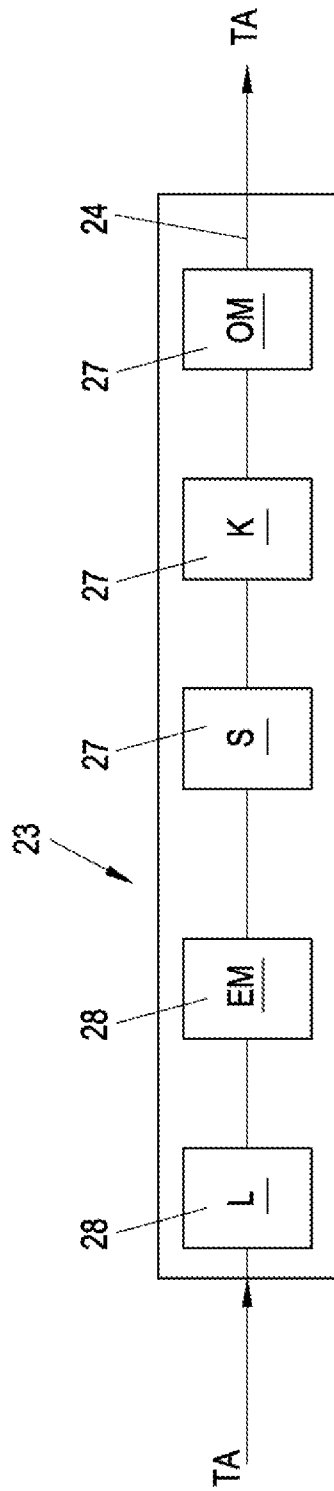


Fig. 3d

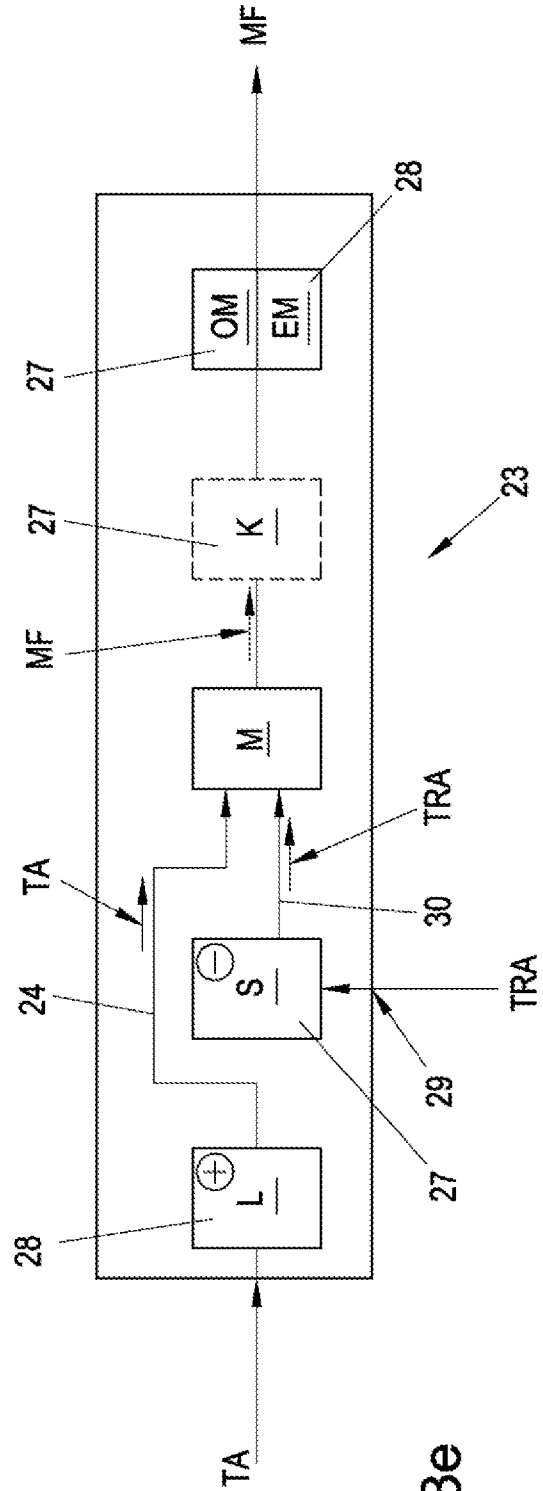


Fig. 3e