

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50323/2014  
(22) Anmeldetag: 09.05.2014  
(45) Veröffentlicht am: 15.12.2015

(51) Int. Cl.: **G01N 1/22** (2006.01)  
**G01N 21/53** (2006.01)  
**G01F 1/74** (2006.01)  
**G01F 1/76** (2006.01)  
**F02D 41/02** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102007021913 A1  
RU 2189029 C1  
EP 0880022 A2

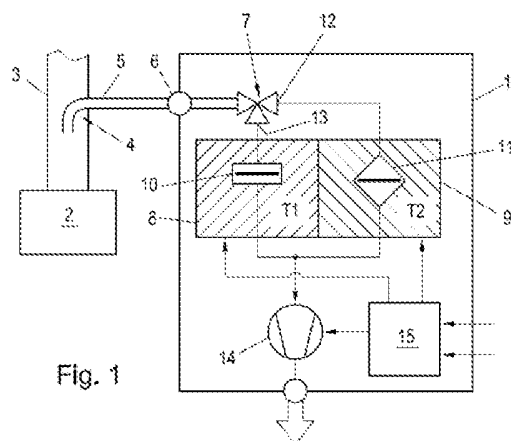
(73) Patentinhaber:  
AVL LIST GMBH  
8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:  
Schiefer Erich Dr.  
8900 Selzthal (AT)  
Vescoli Verena Dr.  
8055 Graz (AT)  
Silvis William Martin  
48105 Ann Arbor (US)  
Tutuianu Monica Dr.  
8010 Graz (AT)

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

(54) **Partikelmessgerät und Verfahren zum Messen der Massenemission und der optischen Absorption eines partikelgeladenen Probengases**

(57) Für eine einfache Ermittlung sowohl der optischen Absorption, als auch der Massenemission eines partikelgeladenen Gasstromes ist ein Partikelmessgerät vorgesehen, mit einem ersten, auf eine erste Temperatur (T1) temperierten Messabschnitt (8), in dem ein erstes Messgerät (10), vorzugsweise ein Messgerät für die Bestimmung der Massenemission, angeordnet ist, und mit einem zweiten, auf eine zweite Temperatur (T2) temperierten Messabschnitt (9), in dem ein zweites Messgerät (11), vorzugsweise ein Messgerät für die Bestimmung der optischen Absorption, angeordnet ist, wobei die erste und die zweite Temperatur (T1, T2) unabhängig voneinander einstellbar sind und dem ersten Messgerät (10) und/oder dem zweiten Messgerät (11) über einen Eingangsanschluss (6) mittels einer Probengaspumpe (14) ein Probengas zugeführt ist, wobei das Probengas dem ersten Messgerät (10) mit einer ersten Probengasentnahmemethode und dem zweiten Messgerät (11) mit einer zweiten Probengasentnahmemethode zugeführt ist.



## Beschreibung

### PARTIKELMESSGERÄT UND VERFAHREN ZUM MESSEN DER MASSENEMISSION UND DER OPTISCHEN ABSORPTION EINES PARTIKELGELADENEN PROBENGASES

**[0001]** Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Partikelmessgerät und ein Verfahren zum Messen der Massenemission und der optischen Absorption eines partikelgeladenen Probengases.

**[0002]** Die derzeit verwendeten Messverfahren für gesetzlich vorgesehene Untersuchungen für die Partikelmessung von Abgasen von Verbrennungskraftmaschinen, wie z.B. Verbrennungsmotoren, beruhen in der Regel auf dem Prinzip des Sammelns der Partikel auf oder in einem Filter und Messung am oder Analyse des Filters, oder auf dem Prinzip der direkten Messung der Partikel, oder Eigenschaften der Partikel, in einem Gasstrom, welcher unverdünnt oder verdünnt sein kann.

**[0003]** Bei der Filtermethode kann die Masse der gesammelten Partikel gravimetrisch mittels Wägung ermittelt werden oder es können optische Eigenschaften der am Filter gesammelten Partikel bestimmt werden, beispielsweise mittels Lichtextinktions-, Lichtabsorptions- oder Lichtstreuungsverfahren, bei einer oder mehreren Wellenlängen oder in bestimmten Wellenlängenbereichen oder auch bezüglich kompletter Spektralbereiche, auch unter verschiedenen (Raum-)Winkelbereichen. Allgemein wird als Extinktion die Summe aus Absorption und Streuung angesehen. Ebenso können bei der Filtermethode auch eine chemische Analyse, beispielsweise der Zusammensetzung, der Art, der chemischen Aktivität, der Toxizität, etc., oder eine thermische Analyse, beispielsweise mit Aufheizen, Abdampfen, chemischen Nachreaktionen, Verbrennung, etc., der am Filter gesammelten Partikel erfolgen.

**[0004]** Bei der direkten Messung der Partikel in einem Gasstrom können optische Eigenschaften, wie z.B. die Opazität (Extinktionseigenschaften), die Absorption (durch das Messen von Transmissions- oder der Reflektionseigenschaften), das Streulicht (Lichtstreuungseffekte durch Mie- und Rayleighstreuung) oder die Partikelzusammensetzung mittels unterschiedlicher Wellenlängen untersucht werden. Ebenso können dabei Partikeleigenschaften wie z.B. Partikelanzahl, Partikelverteilung, die Partikeldurchmesser, die Partikelzusammensetzung oder die Partikelagglomeratstruktur (die dreidimensionale Struktur der Partikel) untersucht werden. Gleichfalls können Reflexionseigenschaften untersucht werden, z.B. mittels Lidar.

**[0005]** Es sind eine Vielzahl von Messgeräten und Messsystemen bekannt, welche eine oder mehrere der obigen Eigenschaften durchaus sehr exakt und detailliert messen können. Als Beispiele seien nicht abschließend genannt CVS (Constant Volume Sampler) Systeme, Partikelzähler, Partial Flow Messinstrumente wie Smart Sampler zur Messung der Partikelemission von Fahrzeugen mittels gravimetrischer Filtermessung, Smoke Meter (Messung der Lichtabsorption - ohne Streulichteffekte der abgelagerten Partikel - von auf und in einem Filter abgelagerten Partikeln mittels der optischen Reflexion), Opazimeter für Messung der Lichtextinktion (Schwächung des Lichts durch Absorption + Lichtstreuung) durch Partikel in einer Messzelle, Messung in einem typischerweise breitbandigen Spektralbereich (z.B. mit NDIR (nondispersive infrared sensor)-Prinzip), Spektrometer für Messung der Lichtabsorption über große Spektralbereiche, Photoakustische Messung, Laserinduzierte Messung, Elektrometer, Flammenionisationsdetektoren (FID), Systeme mit Koronaentladungen, Impaktoren, Spektrometer Scanning Mobility Particle Sizer (SSPS) und Differentielle Mobilitätsanalytoren (DDMPS).

**[0006]** Eine Partikelmessung ist mit dem Ziel der Reduktion von Partikelemissionen sowohl als gesundheitspolitisches Erfordernis, als auch als Erfordernis zur Minimierung der Einflüsse der Partikelemissionen auf die globale Erwärmung sinnvoll. Diese beiden Erfordernisse betreffen aber unterschiedliche Parameter der Partikelemissionen, welche nicht direkt miteinander korrelieren, sodass das Minimieren einer Eigenschaft der Partikelemission, nicht unbedingt bedeutet dass auch gleichzeitig die zweite Eigenschaft minimiert wird.

**[0007]** Aus gesundheitspolitischen Erwägungen wird insbesondere die Minimierung der Ge-

sundheitsgefährdungen durch lungengängige Partikel angestrebt, was sich durch Minimierung der Masse der emittierten Partikel und/oder durch die Minimierung der Anzahl der emittierten Partikel erreichen lässt. Für die Auswirkung der Partikelemission auf die globale Erwärmung ist hingegen die optische Absorption der emittierten Partikel, sowohl im sichtbaren Spektralbereich, als auch im IR-Bereich und gegebenenfalls auch in anderen Spektralbereichen, entscheidend.

**[0008]** Die Massenemission und die optische Absorption sind damit einerseits zwar nicht vollkommen miteinander korreliert, andererseits aber auch nicht vollkommen voneinander unabhängig. Die Streubandbreiten der sich ergebenden Korrelationen zwischen optischer Absorption und Massenemission liegt im Bereich eines Faktors von ca. +/-2. Die Messung entweder der optischen Absorption oder der Massenemission alleine reicht daher nicht aus, um, beispielsweise über Korrelationskoeffizienten, sicher auf die jeweils andere Größe schließen zu können. Bei einem solchen Vorgehen muss man daher einen erheblichen unbekanntem Messfehler in Kauf nehmen.

**[0009]** Es gibt zwar Messgeräte, die anhand von vorgegebenen Umrechnungsfaktoren von einer Größe, z.B. optische Absorption, auf eine andere Größe, z.B. Massenemission, umrechnen, allerdings stimmen diese Umrechnungsfaktoren nicht allgemein gültig, also für jedes partikelbehaftete Medium, jeden Temperatur- oder Druckbereich, etc., sodass ein solche Umrechnung immer mit Fehlern behaftet und damit ungenau ist.

**[0010]** Aufgrund der oben genannten Gründe wäre es aber wünschenswert sowohl die Massenemission und die optische Absorption sicher und genau bestimmen zu können.

**[0011]** Z.B. tritt bei Schiffen, welche sowohl in nationalen als internationalen Gewässern betrieben werden, der Fall auf, dass eigentlich Beschränkungen für beide Parameter (Masse/Anzahl der emittierten Partikel und optische Absorption) erforderlich sind und einzuhalten sind. Das erfordert aber auch eine Messung beider Parameter.

**[0012]** Für Verbrennungsmotoren und/oder Fahrzeuge, welche Kraftstoffe mit einem hohen Anteil von Schwefel und/oder auch metallische Komponenten / bzw. Ascheanteile verwenden, sind nun folgende Problematiken zusätzlich erschwerend vorhanden:

**[0013]** Wenn die Partikel mittels einer Ablagerung auf Filtern gesammelt und dann die Massenemission mittels einer Waage gravimetrisch gemessen werden sollen, ist eine unverdünnte Probenentnahme bei Temperaturen größer 110°C erforderlich, um Messartefakte durch Kondensatbildung, durch Bildung von Salzen oder Säuren, etc. am Filter sicher zu vermeiden. Hauptursachen der Artefaktbildungen sind, dass Abgase mit hohen SO<sub>x</sub> und NO<sub>x</sub> Anteilen, bei der Verdünnung mit Umgebungsluft sehr empfindlich mit der Bildung von Schwefelsäure und Salzen reagieren, wobei die Feuchte und die Temperatur der Verdünnungsluft, aber auch der Grad der Vermischung, das Verdünnungsverhältnis usw. starken Einfluss auf die Bildung von Kondensatpartikel und die Bildung von Salzen der Schwefelsäure oder Salpetersäure hat. Eine Messmethode welche hier noch gravimetrische Messungen erlaubt, ist beispielsweise die Method-5 der USA, wo durch Heizen der unverdünnten Probenahmegase und des Partikelfilters auf 120 (+/-14) °C die meisten Artefaktbildungen vermieden werden können.

**[0014]** Messverfahren zur Bestimmung der optischen Absorption fordern aber gänzlich andere Temperaturbereiche. So sind bei einem Smokemeter z.B. Temperaturen von 50°C bis 65°C +/- 5°C vorzusehen. Ein Smokemeter arbeitet bekanntermaßen nach der Filtermethode, bei der die Schwärzung des Filterpapiers durch abgelagerte Partikel mittels eines fotoelektrischen Messkopfes ausgewertet wird und in Form einer Schwärzungszahl oder in Form einer Partikelkonzentration in mg/m<sup>3</sup> ausgegeben wird. Das Messprinzip beruht hier auf Messung der Absorption des einfallenden Lichtes und auf und in dem verwendeten Filterpapier diffus gestreuten Lichtes im Reflektionsmodus, sodass Streulichteffekte durch die zu messenden und am Filter abgelagerten Partikel, wie sie beispielsweise in einem in Durchlichtmodus messendem Opazimeter vorkommen, beim Smokemeter nicht mehr (maßgeblich) auftreten können.

**[0015]** Daneben stellen die unterschiedlichen Messmethoden auch gänzlich unterschiedliche Anforderungen an die Probenentnahme. Für eine Messung nach Method-5 ist z.B. eine isokine-

tische Probenentnahme vorgeschrieben, wohingegen bei einem Smokemeter bei konstantem Volumenstrom bzw. Massenstrom entnommen werden muss. Bei einer isokinetischen Probenentnahme muss das Probengas mit derselben Geschwindigkeit wie die Geschwindigkeit des partikelgeladenen Gasstromes entnommen werden, wodurch hier der Massenstrom des Messgases variiert, während bei konstantem Volumenstrom das entnommene Probengasvolumen konstant bleibt, aber sich die Strömungsgeschwindigkeit der entnommenen Probe an der Stelle der Probenentnahme stark von der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases unterscheiden kann.

**[0016]** Die Messung der optischen Absorption und der Massenemission bedingen somit gänzlich unterschiedliches Vorgehen und unterschiedliche Rahmenbedingungen. Die Messung dieser beiden Parameter eines partikelgeladenen Gasstromes ist daher mit einem hohen apparativen Aufwand verbunden.

**[0017]** Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, eine Vorrichtung, und ein zugehöriges Verfahren zum Messen der Massenemission und der optischen Absorption eines partikelgeladenen Probengases anzugeben, mit dem auf einfache Weise sowohl die optische Absorption als auch die Massenemission eines partikelgeladenen Gasstromes bestimmt werden kann.

**[0018]** Diese Aufgabe wird für ein Partikelmessgerät gelöst, mit einem ersten, auf eine erste Temperatur temperierten Messabschnitt, in dem ein erstes Messgerät für die Bestimmung der Massenemission, angeordnet ist, und mit einem zweiten, auf eine zweite Temperatur temperierten Messabschnitt, in dem ein zweites Messgerät für die Bestimmung der optischen Absorption, angeordnet ist, wobei die erste und die zweite Temperatur unabhängig voneinander einstellbar sind und dem ersten Messgerät und/oder dem zweiten Messgerät über einen Eingangsanschluss mittels zumindest einer Probengaspumpe ein Probengas zuführbar ist, wobei das Probengas dem ersten Messgerät mit einer ersten Probengasentnahmemethode und dem zweiten Messgerät mit einer zweiten Probengasentnahmemethode zuführbar ist. Für das Verfahren wird die Massenemission mit einem ersten in einem ersten Messabschnitt angeordneten Messgerät gemessen, wobei der erste Messabschnitt auf eine erste Temperatur temperiert wird und mittels zumindest einer Probengaspumpe Probengas mit einer ersten Probengasentnahmemethode durch das erste Messgerät gefördert wird und die optische Absorption mit einem zweiten in einem zweiten Messabschnitt angeordneten Messgerät gemessen, wobei der zweite Messabschnitt auf eine zweiten Temperatur temperiert wird und mittels einer Probengaspumpe Probengas mit einer zweiten Probengasentnahmemethode durch das zweite Messgerät gefördert wird. Dadurch ist es auf einfache Weise möglich, die für die beiden Messungen vorgesehenen Vorschriften hinsichtlich der Temperatur der Messung und der Probengasentnahme unabhängig voneinander einzuhalten, wodurch die beiden gewünschten Parameter des partikelgeladenen Probengasstromes einfach und genau ermittelt werden können.

**[0019]** Die Umschaltung auf die verschiedenen Messgeräte kann sehr einfach erfolgen, wenn im Partikelmessgerät zumindest ein erstes Umschaltventil vorgesehen ist, das mit dem Eingangsanschluss des Partikelmessgerätes und mit dem ersten Messgerät und dem zweiten Messgerät verbunden ist, wobei mit dem ersten Umschaltventil der partikelgeladene Probengasstrom auf das erste Messgerät oder das zweite Messgerät aufschaltbar ist und im Partikelmessgerät weiters zumindest eine Probengaspumpe angeordnet ist, mit der partikelgeladenes Probengas gemäß der ersten Probengasentnahmemethode durch das erste Messgerät oder gemäß der zweiten Probengasentnahmemethode durch das zweite Messgerät saugbar ist. Damit kann abwechselnd mit einem Messgerät gemessen werden.

**[0020]** Mit einem stromaufwärts der Probengaspumpe angeordneten zweiten Umschaltventil, das mit dem Ausgang des ersten Messgerätes und dem Ausgang des zweiten Messgerätes verbunden ist, kann die ungewollte Beaufschlagung des gerade nicht im Betrieb befindlichen Messgerätes sicher unterbunden werden. Außerdem kann mit dem zweiten Umschaltventil auch gezielt ein Messgerät mit Luft oder Nullgas gespült werden. In einer Variante der Erfindung ist das zweite Umschaltventil stromaufwärts der zumindest einen Probengaspumpe und stromab-

wärts des ersten und zweiten Messgeräts angeordnet.

**[0021]** Auch eine gleichzeitige Messung mit den beiden Messgeräten kann realisiert werden, wenn im Partikelmessgerät eine erste Probengaspumpe und eine zweite Probengaspumpe vorgesehen werden, wobei mit der ersten Probengaspumpe Probengas gemäß der ersten Probengasentnahmemethode durch das erste Messgerät und mit der zweiten Probengaspumpe Probengas gemäß der zweiten Probengasentnahmemethode durch das zweite Messgerät saugbar ist.

**[0022]** In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus den Messungen mit dem ersten Messgerät und dem zweiten Messgerät an einem Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine ein Korrekturfaktor zwischen den beiden Messungen ermittelt. Das ermöglicht es, für diese Verbrennungskraftmaschine oder diesen Typ Verbrennungskraftmaschine aus Kenntnis entweder der Massenemission oder der optischen Absorption die jeweils andere Größe zu berechnen. Bei Kenntnis des Korrekturfaktors kann also die Messung einer Größe ausreichen, um mit ausreichender Genauigkeit auf die andere Größe zu schließen.

**[0023]** In einer weiteren Variante wird aus Messungen mit dem ersten Messgerät und dem zweiten Messgerät an verschiedenen Betriebspunkten der Verbrennungskraftmaschine jeweils ein Korrekturfaktor zwischen den beiden Messungen ermittelt und aus den derart ermittelten Korrekturfaktoren ein Korrekturkennfeld erstellt. Durch die Vermessung verschiedener Betriebspunkte und Erstellung des Korrekturkennfeldes kann zumindest über einen Betriebsbereich, vorzugsweise über den ganzen Betriebsbereich, der Verbrennungskraftmaschine eine hinreichend genaue Umrechnung einer bekannten Größe auf die jeweils andere Größe vorgenommen werden.

**[0024]** Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 3 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

**[0025]** Fig.1 eine erste vorteilhafte Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Partikelmessgerätes,

**[0026]** Fig.2 eine zweite vorteilhafte Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Partikelmessgerätes und

**[0027]** Fig.3 ein erfindungsgemäßes Messgerät mit zwei Probengaspumpen.

**[0028]** Das erfindungsgemäße Partikelmessgerät 1 ist in einer Ausführungsform schematisch in Fig.1 dargestellt. Aus einem partikelgeladenen Gasstrom, z.B. ein Abgasstrom aus dem Auspuff 3 einer Verbrennungskraftmaschine 2, z.B. eines Verbrennungsmotors, wird mittels einer hinlänglich bekannten Entnahmesonde 4 partikelgeladenes Probengas entnommen und über eine Probengasleitung 5 dem Partikelmessgerät 1 zugeführt. Hierzu ist die Probengasleitung 5 mit einem Eingangsanschluss 6 des Partikelmessgeräts 1 verbunden. Der Eingangsanschluss 6 ist im Partikelmessgerät 1 über eine Leitung mit einem ersten Umschaltventil 7 verbunden.

**[0029]** Im Partikelmessgerät 1 sind ein erster Messabschnitt 8 und ein zweiter Messabschnitt 9 vorgesehen, die einzeln und unabhängig voneinander auf eine bestimmte erste Temperatur T1 bzw. zweite Temperatur T2 temperiert sind. Dazu können im Partikelmessgerät 1 geeignete Heizeinrichtungen, angedeutet durch die schraffierten Bereiche, vorgesehen sein. Im ersten Messabschnitt 8 ist ein erstes Messgerät 10 und im zweiten Messabschnitt 9 ein zweites Messgerät 11 angeordnet, die folglich auf der jeweils in den Messabschnitten 8, 9 vorherrschende Temperatur T1, T2 gehalten werden.

**[0030]** Das erste Umschaltventil 7 ist mit seinen beiden Ausgangsanschlüssen 12, 13 über Leitungen im Partikelmessgerät 1 jeweils mit einem der Messabschnitte 8, 9 und mit dem Eingang des darin angeordneten Messgeräts 10, 11 verbunden. Somit kann durch Umschalten des ersten Umschaltventils 7 der entnommene partikelgeladene Probengasstrom entweder auf das erste Messgerät 10 oder auf das zweite Messgerät 11 aufgeschaltet werden.

**[0031]** Im Partikelmessgerät 1 ist zumindest eine Probengaspumpe 14 vorgesehen, die mit den

Ausgängen der beiden Messgeräte 10, 11 verbunden ist, um Probengas durch das Partikelmessgerät 1 und damit auch durch eines der Messgeräte 10, 11 zu saugen.

**[0032]** Nachdem die beiden Messgeräte 10, 11 unterschiedliche Temperaturen T1, T2 und auch unterschiedliche Probengasentnahmemethoden bedingen können, ist im Partikelmessgerät 1 eine Steuereinheit 15 vorgesehen, die einerseits die korrekte Temperierung der Messabschnitte 8, 9 sicherstellt und andererseits die Probengaspumpe 14 regelt, um die für das jeweilige Messgerät 10, 11 erforderliche Probengasentnahme sicherzustellen. Die Steuereinheit 15 steuert auch das erste Umschaltventil 7, um das Probengas über das gewünschte Messgerät 10, 11 zu leiten.

**[0033]** In Fig.2 ist eine andere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Partikelmessgerätes 1 dargestellt. Hier ist das erste Umschaltventil 7 im ersten Messabschnitt 8 angeordnet und wird damit ebenfalls auf der darin herrschenden Temperatur T1 gehalten. Weiter kann auch die Probengasleitung 5 mittels geeigneter Heizelemente 22 temperiert sein. Auf diese Weise kann eine bestimmte Temperatur des Probengases bis zum ersten Messgerät 10 im ersten Messabschnitt 8 sichergestellt werden. Zu große Temperaturschwankungen im Probengas lassen sich so einfach vermeiden. Darüber hinaus kann auch die Probengaspumpe 14 in einem auf eine dritte Temperatur T3 temperierten Abschnitt 20 des Partikelmessgerätes 1 angeordnet sein, um unerwünschte Kondensatbildung in der Probengaspumpe 14 zu vermeiden.

**[0034]** Für eine isokinetische Probengasentnahme kann im Auspuff 3 im Bereich der Probenentnahme auch ein Drucksensor 23 angeordnet sein. Zusammen mit einem Drucksensor 24 in der Probengasleitung 5 kann der Steuereinheit 15 ein Differenzdruck  $\Delta p$  zugeführt werden, mittels dem eine isokinetische Entnahme geregelt werden kann. Bei einer isokinetischen Entnahme muss der Differenzdruck  $\Delta p$  typischerweise Null sein. Natürlich sind auch andere Methoden für eine isokinetische Probenentnahme bekannt. So kann z.B. auch direkt die Geschwindigkeit des Abgases und des Probengases in der Probengasleitung 5 gemessen werden, die für eine isokinetische Entnahme gleich sein müssen. Mögliche Methoden für eine isokinetische Probenentnahme sind beispielsweise in der Norm ISO 8178-1:2006 dargestellt.

**[0035]** Stromaufwärts der Probengaspumpe 14 kann auch ein zweites Umschaltventil 21 vorgesehen sein, entweder im temperierten Abschnitt 20 der Saugpumpe 14 oder auch in einem der Messabschnitte 8, 9 oder an einer anderen geeigneten Stelle des Partikelmessgerätes 1.

**[0036]** Damit kann Probengas gezielt über eines der Messgeräte 10, 11 geführt werden, ohne dabei das jeweils andere Messgerät 10, 11 mit Probengas zu beaufschlagen. Gleichfalls kann damit auch gezielt ein Messgerät 10, 11 gespült werden, wenn z.B. am Eingangsanschluss 6 keine Probengasleitung 5 angeschlossen wird, sondern Luft durch das Partikelmessgerät 1 gesaugt wird. Alternativ könnte man am Eingangsanschluss 6 auch ein definiertes Nullgas zum Spülen zuführen.

**[0037]** Zur Durchführung einer Messung mit dem Partikelmessgerät 1 wird über das Umschaltventil 7 zuerst das erste Messgerät 10 mit Probengas beaufschlagt. Hierzu stellt die Steuereinheit 15 die korrekte Temperatur T1 im ersten Messabschnitt 8 und durch die Regelung der Probengaspumpe 14 die korrekte Probengasentnahmemethode sicher. Nach der ersten Messung wird das Umschaltventil 7 umgeschaltet, womit nun mit dem zweiten Messgerät 11 gemessen wird. Auch hier stellt die Steuereinheit 15 die korrekte Temperatur T2 im zweiten Messabschnitt 9 und die korrekte Probengasentnahmemethode durch die Regelung der Probengaspumpe 14 sicher. Die Reihenfolge kann natürlich auch umgekehrt werden oder es können auch mehrere hintereinander folgende Messungen mit einem der Messgeräte 10, 11 durchgeführt werden, bevor auf das andere Messgeräte 10, 11 umgeschaltet wird.

**[0038]** Das erste Messgerät 10 ist beispielsweise ein Messgerät, das die Massenemission bestimmt, z.B. ein Messgerät nach Method-5 der USA. Im Falle eines Method-5 Messgerätes wird die Temperatur T1 im ersten Messabschnitt auf  $120^{\circ}\text{C} \pm 12^{\circ}\text{C}$  gehalten und das Probengas isokinetisch entnommen. Vorteilhaft wird hierzu auch die Probengasleitung 5 auf diese Temperatur T1 temperiert. Bei schwefelfreien Kraftstoffen des Verbrennungsmotors 2, kann

eine Temperatur T1 von 80 °C ausreichend sein, bei CNG (Compressed Natural Gas) als Kraftstoff, ist zumindest eine Temperatur T1 von 100 °C einzuhalten. Der mit Partikel beaufschlagte Filter (angedeutet durch den dicken waagrechten Strich) des Method-5 Messgerätes 10 kann danach entnommen und analysiert werden, beispielsweise durch gravimetrische Messung der darauf abgelagerten Partikel mittels einer Waage. Auf diese Weise erhält man sehr genaue Messungen der Massenemission.

**[0039]** Das erste Messgerät 10 könnte alternativ auch ein Messgerät zur Messung verdünnter Partikel, wie z.B. ein Smart Sampler, sein. Hierzu kann eine Temperatur T1 von bis zu 55 °C ausreichen, wobei die Massenemission wieder gravimetrisch bestimmt wird.

**[0040]** Das zweite Messgerät 11 ist beispielsweise ein bekanntes Smokemeter zur Bestimmung der Schwärzungszahl (FSN) oder einer Partikelkonzentration als Maß für die optische Absorption. Hierzu ist die Temperatur T2 im zweiten Messabschnitt 9 vorzugsweise auf 55 °C bis 70 °C temperiert und die Probengaspumpe 14 regelt auf konstanten Volumenstrom des Probengases.

**[0041]** Es ist auch eine Ausführung des Partikelmessgerätes 1 denkbar, bei dem die optische Absorption und die Massenemission gleichzeitig gemessen werden, wie in Fig.3 dargestellt. Dazu sind im Partikelmessgerät 1 zwei separat geregelte Probengaspumpen 14-1, 14-2 vorgesehen, wobei jede der Probengaspumpen 14-1, 14-2 einem der Messgeräte 10, 11 zugeordnet ist. Ansonsten gilt das oben Gesagte in analoger Weise.

**[0042]** Auch wäre eine Ausführung eines Partikelmessgerätes 1 denkbar, in dem mehr als zwei Messgeräte angeordnet sind.

**[0043]** Durch die genaue Ermittlung der optischen Absorption und der Massenemission im Partikelmessgerät 1 könnte man nun für verschiedene Betriebspunkte der Verbrennungskraftmaschine 2, z.B. in Form von Drehmoment und Drehzahl, diese beiden Größen ermitteln. Damit kann für diesen Typ der Verbrennungskraftmaschine 2 eine Korrelation zwischen den beiden Messungen und auch eine Korrekturfunktion bzw. ein Korrekturkennfeld ermittelt werden, um bei gegebenen Betriebspunkt aus der Kenntnis einer der beiden Größen auf die andere Größe umrechnen zu können. Die Korrekturfunktion (Korrekturkennfeld) kann beispielsweise durch bekannte Methoden an die Werte an den gemessenen Betriebspunkten angenähert werden. Mit Kenntnis dieser Korrekturfunktion reicht dann für diesen Typ der Verbrennungskraftmaschine 2 die Messung nur mehr einer der beiden Größen aus, um auch die andere Größe mit guter Genauigkeit ermitteln zu können - zumindest mit einer besseren Genauigkeit als bisher möglich. Hierzu könnte man z.B. wie nachfolgend beschrieben vorgehen, wobei üblichen und erforderlichen Verfahren und Methoden zum Behandeln der Filter für die gravimetrische Partikelmessung werden hier nicht extra dargestellt, da sie in den entsprechenden Vorschriften (z.B. Normen und Gesetze) der verschiedenen Methoden ausführlich beschrieben sind.

**[0044]** Es müssen zu mindestens einem oder auch mehreren repräsentativen Betriebspunkten der Verbrennungskraftmaschine 2 Vergleichsmessungen mit beiden Messgeräten 10, 11 durchgeführt werden, sodass daraus eine gültige Korrelations-Beziehung zwischen den beiden Messwerten geschaffen werden kann.

**[0045]** a) Messung mit erstem Messgerät 10 (z.B. Method-5):

**[0046]** • Isokinetische Probenentnahme über das Filter des Messgerätes 10 (typischerweise ein Glasfaserpapier mit oder ohne Beschichtungen)

**[0047]** • Messung des Gewichtes der am Filter abgelagerten Partikel (eventuell inklusive chemischer oder physikalischer Vor- und Nachbehandlungen) in mg

**[0048]** • Messung des Geräte-Messvolumenstroms über das Filter in m<sup>3</sup>

**[0049]** • Messung des Querschnittsverhältnisses von Probenentnahmesonde 4 zur Querschnittsfläche des Auspuffes 3 am Ort der Probenentnahme (das kann auch bekannt sein)

**[0050]** • Kalkulation der gemessenen Konzentration in mg/m<sup>3</sup>

- [0051]** • Kalkulation der gemessenen Massenemission in mg/MJoul oder mg/Test, je nach angewandtem Gesetz oder Vorschrift.
- [0052]** b) Messung mit zweitem Messgerät 11 (z.B. ein Smoke Meter):
- [0053]** • Probengasentnahme mit konstantem Volumenstrom über das Filterpapier
- [0054]** • Messung der Schwärzungszahl (FSN-Wert) und der Papierschwärzung PS der am Filter abgelagerten Partikel
- [0055]** • Messung des Volumenstroms über das Messgerät 11 über das Filter in m<sup>3</sup> oder cm<sup>3</sup> (kann auch bekannt sein)
- [0056]** • Kalkulation der gemessenen Konzentration des Messgerätes 11 in mg/m<sup>3</sup>, z.B. anhand im Messgerät 11 hinterlegten Korrelationskurve zwischen Schwärzungszahl und Konzentration
- [0057]** c) Ermittlung des Korrekturfaktors K
- [0058]** • Kalkulation eines Korrekturfaktors des vermessenen Betriebspunktes für die gravimetrische Korrelation zwischen den beiden Messgeräten 10, 11, z.B. Korrekturfaktor  $K = (\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Messgerät 10}})/(\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Messgerät 11}})$
- [0059]** • Für diesen Betriebspunkt gilt dann:  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Messgerät 11}} * \text{Korrekturfaktor K}$  entspricht  $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Messgerät 10}}$ .
- [0060]** Wenn erforderlich können mehrere Punkte eines Kennfeldes so vermessen werden, und daraus ein Korrekturkennfeld geschaffen werden, welches es des Weiteren auch ermöglicht Messungen eines Messgeräts 10,11 durch die Messungen des jeweils anderen Messgeräts 10, 11 zu rekonstruieren.
- [0061]** Eine ähnliche Vorgangsweise ist natürlich auch für die Messung des optischen Absorptionskoeffizienten möglich, sodass auch diesbezüglich ein Korrekturfaktor oder ein Korrekturkennfeld ermittelt werden kann.

## Patentansprüche

1. Partikelmessgerät mit einem ersten, auf eine erste Temperatur (T1) temperierten Messabschnitt (8), in dem ein erstes Messgerät (10) für die Bestimmung der Massenemission angeordnet ist, und mit einem zweiten, auf eine zweite Temperatur (T2) temperierten Messabschnitt (9), in dem ein zweites Messgerät (11) für die Bestimmung der optischen Absorption angeordnet ist, wobei die erste und die zweite Temperatur (T1, T2) unabhängig voneinander einstellbar sind und dem ersten Messgerät (10) und/oder dem zweiten Messgerät (11) über einen Eingangsanschluss (6) mittels zumindest einer Probengaspumpe (14) ein partikelgeladenes Probengas zuführbar ist, wobei das Probengas dem ersten Messgerät (10) mit einer ersten Probengasentnahmemethode und dem zweiten Messgerät (11) mit einer zweiten Probengasentnahmemethode zuführbar ist.
2. Partikelmessgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Partikelmessgerät (1) zumindest ein erstes Umschaltventil (7) vorgesehen ist, das mit dem Eingangsanschluss (6) des Partikelmessgerätes (1) und mit dem ersten Messgerät (10) und dem zweiten Messgerät (11) verbunden ist, wobei mit dem ersten Umschaltventil (7) der partikelgeladene Probengasstrom auf das erste Messgerät (10) oder das zweite Messgerät (11) aufschaltbar ist und mit der Probengaspumpe (14) das partikelgeladene Probengas gemäß der ersten Probengasentnahmemethode durch das erste Messgerät (10) oder gemäß der zweiten Probengasentnahmemethode durch das zweite Messgerät (11) saugbar ist.
3. Partikelmessgerät nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromaufwärts der Probengaspumpe (14) ein zweites Umschaltventil (21) angeordnet ist, das mit dem Ausgang des ersten Messgerätes (10) und dem Ausgang des zweiten Messgerätes (11) verbunden ist.
4. Partikelmessgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Partikelmessgerät (1) eine erste Probengaspumpe (14-1) und eine zweite Probengaspumpe (14-2) vorgesehen sind, wobei mit der ersten Probengaspumpe (14-1) Probengas gemäß der ersten Probengasentnahmemethode durch das erste Messgerät (10) und mit der zweiten Probengaspumpe (14-2) Probengas gemäß der zweiten Probengasentnahmemethode durch das zweite Messgerät (11) saugbar ist.
5. Verfahren zum Messen der Massenemission und der optischen Absorption eines partikelgeladenen Probengases, das aus dem Abgasstrom einer Verbrennungskraftmaschine (2) entnommen wird, wobei die Massenemission mit einem in einem ersten Messabschnitt (8) angeordneten ersten Messgerät (10) gemessen wird, wobei der erste Messabschnitt (8) auf eine erste Temperatur (T1) temperiert wird und mittels zumindest einer Probengaspumpe (14) Probengas mit einer ersten Probengasentnahmemethode durch das erste Messgerät (10) gefördert wird und die optische Absorption mit einem in einem zweiten Messabschnitt (9) angeordneten zweiten Messgerät (11) gemessen wird, wobei der zweite Messabschnitt (9) auf eine zweiten Temperatur (T2) temperiert wird und mittels der Probengaspumpe (14) Probengas mit einer zweiten Probengasentnahmemethode durch das zweite Messgerät (11) gefördert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Messungen mit dem ersten Messgerät (10) und dem zweiten Messgerät (11) an einem Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine (2) ein Korrekturfaktor (K) zwischen den beiden Messungen ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus Messungen mit dem ersten Messgerät (10) und dem zweiten Messgerät (11) an verschiedenen Betriebspunkten der Verbrennungskraftmaschine (2) jeweils ein Korrekturfaktor (K) zwischen den beiden Messungen ermittelt wird und aus den derart ermittelten Korrekturfaktoren (K) ein Korrekturfaktorenfeld erstellt wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

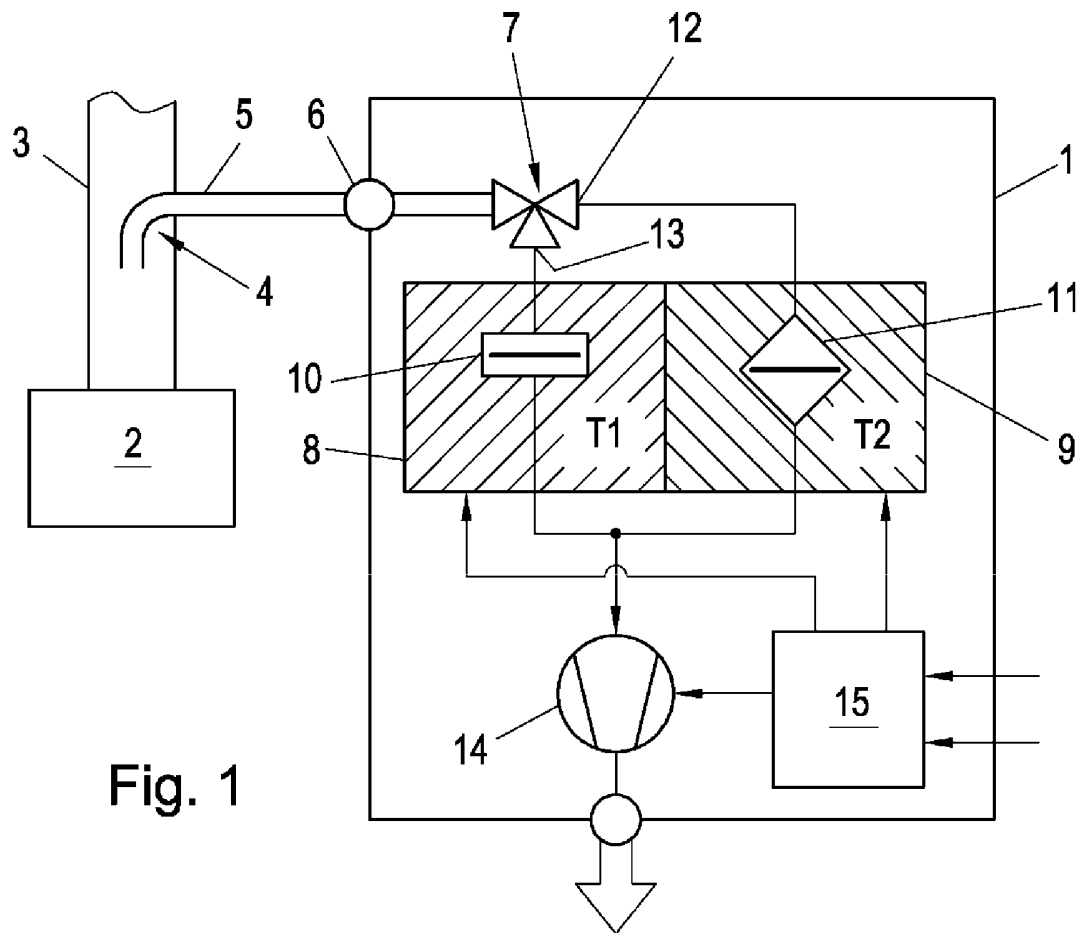


Fig. 1

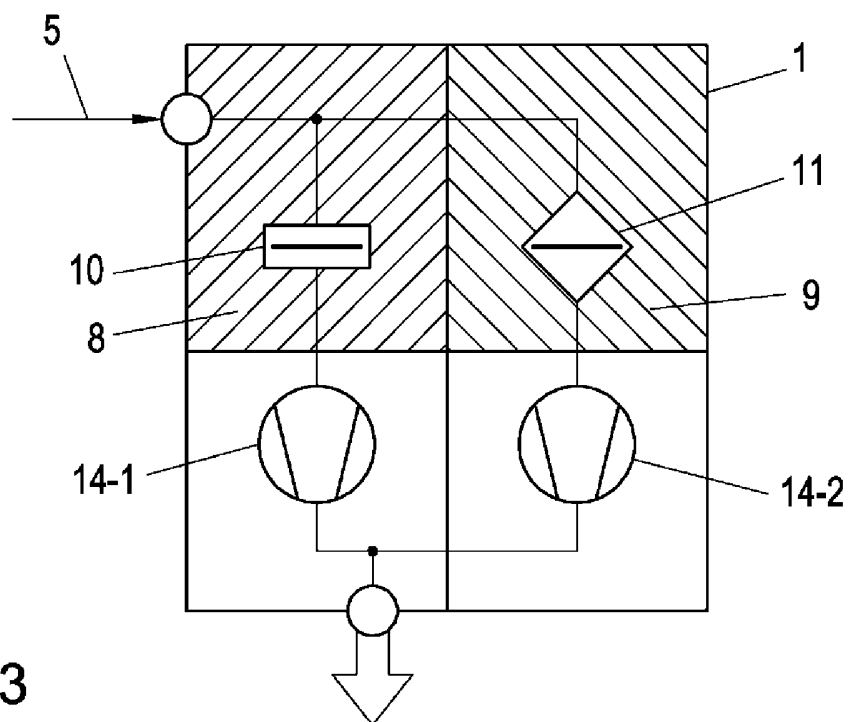


Fig. 3

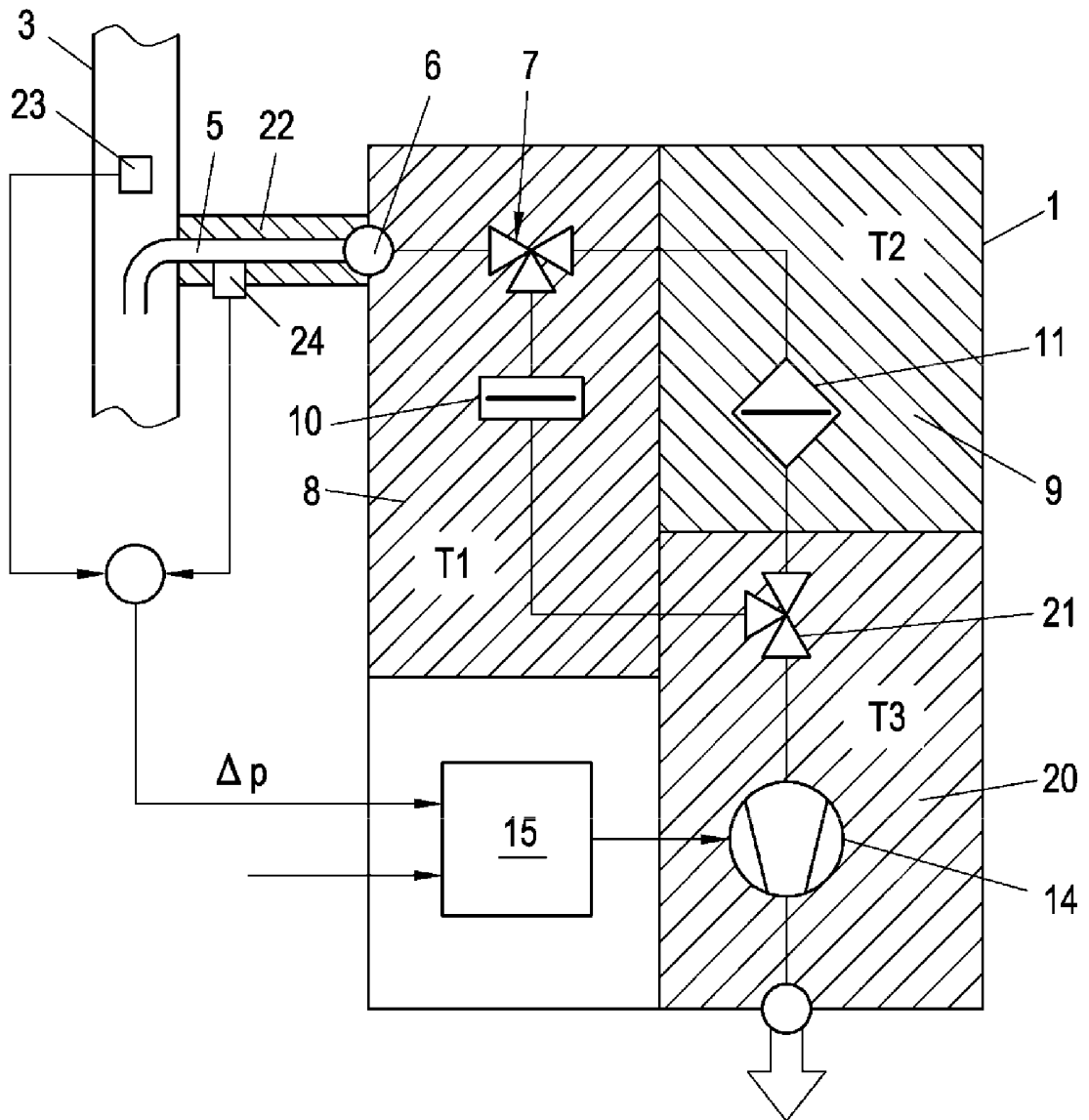


Fig. 2