

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Dezember 2000 (07.12.2000)

PCT

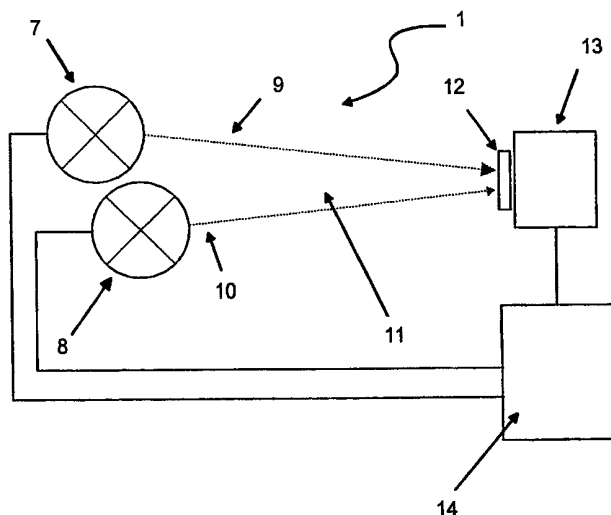
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 00/73768 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01N 21/00** (71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **INSTITUT FÜR CHEMO- UND BIOSENSORIK MÜNSTER E.V.** [DE/DE]; Mendelstrasse 7, D-48149 Münster (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/04838
- (22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2000 (26.05.2000) (72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **SHULGA, Aleksandr** [UA/DE]; Wilhelmstrasse 88, D-48149 Münster (DE). **SCHMALE, Udo** [DE/DE]; Oranienstrasse 43, D-48429 Rheine (DE). **MÜLLER, Holger** [DE/DE]; Hubertistrasse 11, D-48155 Münster (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
199 25 196.7 26. Mai 1999 (26.05.1999) DE (74) **Anwalt: PFENNING MEINIG & PARTNER GBR;**
Kurfürstendamm 170, D-10707 Berlin (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** GAS SENSOR CONFIGURATION

(54) **Bezeichnung:** GASSENSORANORDNUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a gas sensor configuration that comprises a radiation-emitting radiation device, a gas measuring chamber, a detector unit and an evaluation device. A measuring gas that contains at least one gas component is present in the gas measuring chamber. The evaluation device detects the gas component and/or its concentration depending on the output signal of the detector unit. The radiation emitting device comprises at least one source that emits a measuring radiation and at least one reference radiation source, the latter being switched on periodically to measure the aging state of the source that emits the measuring radiation. The evaluation device detects the aging of the source that emits the measuring radiation on the basis of deviations with respect to the output signals of the detector unit when the reference radiation source and the source that emits the measuring radiation are switched on, and, if necessary, compensates for the aging.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird eine Gassensorenanordnung mit einer Strahlung emittierenden Strahlungseinrichtung, einem Gas-messraum, einer Detektoreinrichtung und einer Auswerteeinrichtung vorgeschaltet. Im Gas-messraum befindet sich ein mindestens eine Gaskomponente enthaltendes Messgas. Die Auswerteeinrichtung bestimmt die Gaskomponente und/oder deren Konzentration

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 00/73768 A2



(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): CA, JP, RU, US.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— *Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.*

abhängig vom Ausgangssignal der Detektoreinrichtung. Die Strahlungseinrichtung weist mindestens eine Messstrahlungsquelle und mindestens eine Referenzstrahlungsquelle auf, wobei letztere in zeitlichen Abständen zur Überprüfung des Alterungszustandes der Messstrahlungsquelle eingeschaltet wird. Die Auswerteeinrichtung stellt aus Abweichungen bezüglich der Ausgangssignale der Detektoreinrichtung bei eingeschalteter Referenzstrahlungsquelle und eingeschalteter Messstrahlungsquelle die Alterung der Messstrahlungsquelle fest und gleicht die Alterung gegebenenfalls aus.

Gassensoranordnung

Die Erfindung betrifft eine Gassensoranordnung nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

5

Es ist bekannt, daß viele Gase insbesondere im infraroten Wellenlängenbereich Strahlung absorbieren, wobei diese Absorption auf einer für das betreffende Gas charakteristischen Wellenlänge auftritt, z.B. für CO₂ bei 4,24 µm. Mit Hilfe von Infrarotgassensoren ist es somit möglich, das Vorhandensein einer Gaskomponente bzw. die Konzentration einer Gaskomponente festzustellen.

10

15

Bekannte Infrarotgassensoren weisen beispielsweise eine breitbandige Strahlungsquelle, eine Absorptionsstrecke bzw. einen Meßraum, ein wellenlängenselektives Element, z.B. ein Interferenzfilter, ein Fabry-

Perot-Filter oder ein Gitter und einen Strahlungsdetektor, beispielsweise einen pyroelektrischen, einen PbSe- oder thermophilen Detektor auf. Die von dem Strahlungsdetektor gemessene Strahlungsintensität ist ein Maß für die Konzentration des bei der eingestellten Wellenlänge absorbierenden Gases. Anstelle der breitbandigen Strahlungsquelle und der wellenlängenselektivierenden Elemente ist auch der Einsatz einer selektiven Strahlungsquelle wie z.B. eine LED oder ein Laser in Kombination mit nichtwellenlängenselektiven Strahlungsempfängern bekannt.

Auch sind photoakustische Gassensoren bekannt. Das Funktionsprinzip eines photoakustischen Gassensors basiert auf der Detektion der Druckänderung, die durch die Erwärmung der Gasmoleküle in dem Meßraum entsteht, mittels eines akustischen Detektors wie z.B. ein Mikrofon. Die Erwärmung wird hervorgerufen durch die Absorption der Strahlungsenergie der Strahlungsquelle durch die zu detektierenden Meßgasmoleküle. Eine dem Stand der Technik entsprechende Ausführung eines photoakustischen Gassensors ist z.B. dem Patent DE 195 25 703 A1 zu entnehmen.

Die Langzeitstabilität derartiger Infrarot- und photoakustischen Gassensoren hängt im Wesentlichen von der Alterung der Strahlungsquellen und von der Verschmutzung des gesamten optischen Systems ab. Die Verschmutzungen werden zur Zeit durch geeignete gaspermeable Filter zum Abhalten von verunreinigenden Partikeln verhindert.

Für die Überwachung der Alterung der Strahlungsquelle wird periodisch der Gassensor bzw. die Gassensoren bezüglich Nullpunkt- und Empfindlichkeitsdrift kontrolliert. Dazu werden die Gassensoren mit einem Gas bzw. Gasgemisch ohne die zu messende Gaskomponente bespült, um die Lage des Nullpunktes zu ermitteln. Nach der Nullpunktskontrolle werden sie mit einem Gasgemisch bekannter Konzentration der zu messenden Gaskomponente bespült, wobei der erhaltene Meßwert mit einem vorgegebenen Wert verglichen wird. Diese Kalibrierung muß in der Regel von geschultem Personal durchgeführt werden und ist somit sehr kostenintensiv.

Eine weitere Möglichkeit, die Alterung der Strahlungsquelle eines Infrarotgassensors zu überwachen besteht darin, einen zweiten Strahlungsdetektor mit einem optischen Filter für die Detektion der Strahlungsintensität bei der Wellenlänge einzusetzen, bei der keine Gaskomponente des Meßgases eine nennenswerte Absorption aufweist (siehe US 5341214). Durch Quotientenbildung der beiden erhaltenen Signale, d.h. Meßsignal zu Referenzsignal, wird ein Altern der Strahlungsquelle ausgeglichen. Da die Detektoren einen Hauptkostenfaktor der Gassensoren darstellen und da eine doppelte Signalverarbeitung benötigt wird, sind solche Gassensoren relativ teuer. Hinzu kommt, daß bei Temperaturänderungen eine unterschiedliche Drift der Detektoren vorkommen kann.

Des Weiteren gibt es Infrarotgassensoren mit zwei Strahlungsquellen, bei denen der Lichtweg der einen

Strahlungsquelle nicht durch den Meßgasraum geht, womit eine Verschmutzung der Optik und eine Alterung der anderen Strahlungsquelle ermittelt werden soll. Dieses ist allerdings prinzipbedingt nur mit einem Referenzgas ohne die zu messende Gaskomponente möglich.

Ebenso ist eine Anordnung bekannt, wo zwei Lichtquellen innerhalb des Gasraums in einem unterschiedlichen Abstand zum Strahlungsdetektor angeordnet sind. Die beiden Strahlungsquellen werden mit unterschiedlichen Frequenzen moduliert und das Detektorsignal demoduliert. Die Ausgangssignale der verschiedenen Frequenzen werden durcheinander geteilt, so daß der Abstand zwischen beiden Quellen den effektiven Lichtweg ergibt. Daß Strahlungsquellen aber nicht gleichmäßig altern (siehe Fig. 10), kann es zu einer Verstärkung der Drift des Sensors durch die Alterung der Strahlungsquellen kommen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Gas-sensoranordnung nach dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche derart weiter zu entwickeln, daß eine Alterung der Strahlungsquelle zuverlässig ohne großen zusätzlichen Aufwand an Bauelementen und ohne die Notwendigkeit von Kalibriergasen überwacht werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale der unabhängigen Ansprüche in Verbindung mit den Merkmalen ihres Oberbegriffs gelöst.

Durch eine zusätzliche Strahlungsquelle, die Referenzstrahlungsquelle, die in zeitlichen Abständen eingeschaltet wird, kann die Alterung der Meßstrahlungsquelle durch den Vergleich der Ausgangssignale des Detektors bei Betrieb der Referenzstrahlungsquelle zum Ausgangssignal des Detektors bei Betrieb der Meßstrahlungsquelle erfaßt werden. Die Referenzstrahlungsquelle dient dabei nicht der normalen Messung, sie wird in großen Überwachungsintervallen für die Ermittlung der Alterung der Meßstrahlungsquelle betrieben. Die Alterung der Referenzstrahlungsquelle ist zu vernachlässigen, da sie wesentlich seltener als die Meßstrahlungsquelle, d.h. in großen zeitlichen Intervallen betrieben wird, so daß sie in der Lebenszeit des Sensors nicht merklich altert. Durch die erfindungsgemäße Ausführung ist eine kostengünstige und zuverlässige Erfassung der Alterung der Meßstrahlungsquelle ohne Kalibriergas möglich.

Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen möglich.

Bevorzugterweise ist der effektive Lichtweg zwischen den Strahlungsquellen und dem Detektor gleich lang. Unter diesen Bedingungen sind die Sensorkalibrationskurven für die Referenzquelle und die Meßquelle gleich.

Ein weiterer Vorteil eines Gassensors mit mehr als zwei Quellen liegt in der großen Ausfallsicherheit, d.h., wenn eine Meßquelle ausfällt, wird der Sensor

weiter mit der Zusatzquelle betrieben. Die bevorzugte Ausführungsform wird in diesem Falle ein Gassensor mit 3 Strahlungsquellen, eine Meßquelle, eine Referenzquelle, eine Zusatzmeß- bzw. Zusatzreferenzquelle. Die Lebenszeit des Sensors kann dadurch um ein Vielfaches verlängert werden. Zusätzlich kann eine minimale Alterung der Referenzstrahlungsquelle durch die weitere(n) Strahlungsquelle(n) kompensiert werden.

Die Anzahl der Referenzierungsmessungen und damit die Alterung der Referenzstrahlungsquelle können durch die einfache Integration eines zusätzlichen lowcost Strahlungsdetektors (z.B. Si-Photodiode) auf ein notwendiges Minimum reduziert werden. Hierbei wird mittels des zusätzlichen Strahlungsdetektors die Alterung der Messstrahlungsquelle, in einem Spektralbereich (z.B. 850 nm), überwacht, und die Referenzstrahlungsquelle nur in dem Falle eingesetzt, wenn die Strahlungsintensität der Meßquelle gemessen mit dem Lowcost-Detektor sich um einen bestimmten Wert geändert hat.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines ersten Ausführungsbeispiels einer Gassensoranordnung nach der vorliegenden Erfindung mit beliebiger Weglänge zwischen Referenz- bzw. Meßstrahlungsquelle und Detektor,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Gassensoranordnung nach der vorliegenden Erfindung mit symmetrischem Aufbau,

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Gassensoranordnung nach noch einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Infrarotgassensors für die Detektion mehrerer Gaskomponenten,

Fig. 5 ein Aufbaubeispiel einer Infrarotgassensoranordnung nach der vorliegenden Erfindung,

Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Gassensoranordnung nach der vorliegenden Erfindung,

Fig. 7 einen schematischen Aufbau eines als photoakustische Gassensoranordnung ausgebildeten Ausführungsbeispiels der Erfindung, wobei die Ausleuchtung der Meßkammer durch Strahlungsquellen unterschiedlich sein kann,

Fig. 8 einen schematischen Aufbau eines als photoakustische Gassensoranordnung ausgebildeten Ausführungsbeispiels der Erfindung, wobei eine gleichmäßige Ausleuchtung der Meßkammer stattfindet,

Fig. 9 ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung mit zusätzlichem Detektor,

5 Fig. 10 eine beispielhafte Alterungskurve bei verschiedenen Lampen,

Fig. 11 die Alterungskurve einer Meßquelle und ihre Kompensation,

10

Fig. 12 eine Darstellung der Abhängigkeit des Verhältnissfaktors von der Meßgaskonzentration,

Fig. 13 eine Darstellung der Meßergebnisse eines Sensors nach Fig. 5 über die Zeit.

15

Die Gassensoranordnung nach Fig. 1 ist als Infrarotgassensoranordnung ausgebildet und weist einen üblicherweise als eine Einheit aufgebauten Infrarotgassensor 1 auf, der mit einer Auswerte- und Steuereinrichtung 14, beispielsweise durch eine Steckeranordnung verbunden ist.

20

In dem schematischen Aufbau des Infrarotgassensors 1 nach Fig. 1 sind mit dem Bezugszeichen 7 eine Meßstrahlungsquelle und mit dem Bezugszeichen 8 eine Referenzstrahlungsquelle bezeichnet. Die Strahlungsquellen 7, 8 sind vorzugsweise identisch in ihren Parametern und strahlen mit einem breitbandigen Strahlungsspektrum ab. Im Gassensorbetrieb wird die Meßstrahlungsquelle 7 für die Messung der Meßgaskonzentration benutzt, dafür kann sie kontinuierlich oder

25

30

im Pulsbetrieb betrieben werden. Die Referenzstrahlungsquelle 8 wird dagegen nur in großen zeitlichen Intervallen zur Ermittlung der Alterung der Meßstrahlungsquelle 7 eingeschaltet. Die Strahlungsquellen 7, 8 senden Infrarot-Strahlung durch einen Meßraum 11, wo sich das zu detektierende Gas oder das aus mehreren Gaskomponenten zusammengesetzte Gasgemisch befindet. Der Gassensor kann als durchströmte Sensoranordnung, d.h. als eine Durchflußmeßzelle oder als ein auf Diffusion basierender Sensor ausgebildet sein. Im ersten Fall strömt das Gas durch den Meßraum 11, während im zweiten Fall das Gas über eine Membran in den ansonsten geschlossenen Meßraum 11 diffundiert.

Im Abstand zu den Strahlungsquellen 7, 8 ist ein Strahlungsdetektor 13 derart angeordnet, daß nach dem Durchgang des Meßraums 11 die Strahlung auf den Detektor 13 fällt. Ein Interferenzfilter 12 liegt zwischen dem Gasmeßraum 11 und dem Detektor 13 und läßt vorzugsweise nur die Strahlung, die der Absorptionswellenlänge des zu messenden Gases entspricht, durch. Der Interferenzfilter 12 kann auch direkt in das Strahlungsdetektorgehäuse integriert werden. Die Absorptionswellenlängen für unterschiedliche Gase sind z.B. 4,24 μm für CO_2 , 3,46 μm für CH_4 , 4,64 μm für CO , 5,3 μm für NO , 10,9 μm für Freon. Selbstverständlich können anstelle der Interferenzfilter andere optische Bandpassfilter oder wellenlängenselektierende Elemente verwendet werden.

Der Strahlungsdetektor 13 und die Strahlungsquellen 7 und 8 sind mit der Auswerte- und Steuereinrichtung 14

verbunden, die die Ausgangssignale vom Strahlungsdetektor 13 verarbeitet, die Strahlungsquellen 7,8 ansteuert, die Daten über die Alterung der Meßstrahlungsquelle 7 erfaßt, berücksichtigt und die Informationen über die Konzentration des Meßgases liefert. Die Strahlungsquellen 7, 8 weisen jeweils eine unterschiedliche Weglänge ihrer Strahlengänge 9, 10 zu dem Strahlungsdetektor auf.

In Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt, hier sind die Strahlungsquellen 7, 8 vorzugsweise dicht nebeneinander und symmetrisch bezüglich des Strahlungsdetektor 13 derart angeordnet, daß ihre Strahlung mit etwa gleicher Intensität auf den Strahlungsdetektor 13 fällt und daß die effektive Länge ihrer Strahlengänge 9 und 10 durch den Meßraum 13 gleich ist. Dabei können beide Strahlungsquellen auch im selben Gehäuse integriert sein (z.B. zwei oder mehrere Glühwendeln in einem Glaskolben).

Einerseits kann der Infrarotgassensor 1 so aufgebaut sein, daß der Strahlungsdetektor 13 zusammen mit dem Interferenzfilter 12 direkt gegenüber den Strahlungsquellen 7, 8 plaziert und von den Strahlungsquellen 7, 8 direkt bestrahlt wird. Andererseits kann das von den Strahlungsquellen 7, 8 gesendete Licht entlang der Strahlengänge 9, 10 sowohl innerhalb als auch außerhalb des Meßraums 11 von einer oder mehreren reflektierenden Oberflächen gelenkt und zum Strahlungsdetektor 13 weitergeführt werden.

Das von der Meßstrahlungsquelle 7 bzw. Referenzstrah-

5 lungsquelle 8 gesendete Licht geht durch den Meßraum
11, den optischen Filter 12 und fällt letztendlich
auf den Strahlungsdetektor 13. In Anwesenheit des zu
detektierenden Gases im Meßraum 11 wird ein Teil des
durch den Meßraum gestrahlten Lichts im Wellenlängen-
bereich, der dem Absorptionsbereich des Meßgases ent-
spricht, von Meßgasmolekülen absorbiert. Die dadurch
verursachte Abschwächung der von dem Strahlungsdetek-
tor 13 registrierten Lichtintensität folgt dem Lam-
10 bert-Beerschen-Gesetz

$$I_c = I_o \cdot \exp(-aCL)$$

15 a ist der Absorptionskoeffizient des zu messenden
Gases im Transmissionsbereich des optischen Fil-
ters 12,

C ist die Konzentration des zu messenden Gases im
Meßraum 11,

20 L ist die effektive Länge der Strahlungswege 9
bzw. 10,

I_o ist die Intensität der auf den Strahlungsdetek-
tor 13 fallenden Strahlung ohne die Abschwächung
durch die Meßgasmoleküle

25 I_c ist die Intensität der auf den Strahlungsdetek-
tor 13 fallenden Strahlung in Anwesenheit des zu
detektierenden Gases im Meßraum 11.

30 Vor den eigentlichen Messungen wird der Sensor kali-
briert, wobei die Parameter z.B. Art und Konzentration
des Gases, Temperatur und dgl. bekannt sind, d.h.
es wird mindestens eine Sensorkennlinie erstellt, die
das Ausgangssignal des Strahlungsdetektors 13 mit der

Meßgaskonzentration im Meßraum 11 verbindet.

Die bei der Messung erzeugten Ausgangssignale des Strahlungsdetektors 13 werden an die Auswerte- und Steuereinrichtung 14 geliefert, die unter Verwendung der während der Sensorkalibration ermittelten Sensor-
kennlinie die Konzentration des Meßgases berechnet. Es kann auch die Gassensortemperatur während der Messung erfaßt und bei der Berechnung der Meßgaskonzentration berücksichtigt werden.

Aufgrund der Anordnungen der Strahlungsquellen 7,8 bezüglich des Strahlungsdetektors 13 gilt unabhängig von der Meßgaskonzentration im Meßraum 11 die Bedingung:

$$U_R = F \cdot U_M$$

Dabei ist

U_M das Ausgangssignal des Strahlungsdetektors 13 bei Betrieb der Meßstrahlungsquelle 7,
 U_R das Ausgangssignal des Strahlungsdetektors 13 bei Betrieb der Referenzstrahlungsquelle 8,
 F ein Verhältnisfaktor, wobei vorzugsweise die Strahlungsquellen 7 und 8 möglichst gleich gewählt werden, was bei einem neuen Sensor zu einem Wert $F=1$ führen kann.

Da im Zuge von Messungen die Betriebszeit der Meßstrahlungsquelle 7 viel länger als die der Referenzstrahlungsquelle 8 ist, ändert sich der Wert des Verhältnisfaktors F wegen der unterschiedlichen Alterung

der beiden Quellen mit der Zeit.

Die Korrektur der Alterung bei einer beliebigen An-
ordnung der Strahlungsquellen 7, 8 (siehe Fig. 1)
wird im Folgenden mathematisch angelegt.

Bei der Anfangskalibration bei der Fertigung zum
Zeitpunkt $t=0$ werden die Kalibrierfunktionen für die
beiden Quellen 7, 8 gespeichert.

$$(1) \quad U_M(0, C) = U_M(0, 0) \exp(-aCL_M)$$

$$(2) \quad U_R(0, C) = U_R(0, 0) \exp(-aCL_R)$$

mit

C - ist die Konzentration des zu messenden Gases im
Meßraum

C^* - ist die Konzentration des zu messenden Gases im
Meßraum während des Korrekturvorgangs

L_M - ist der effektive Lichtweg der Strahlung von der
Meßstrahlungsquelle zum Detektor

L_R - ist der effektive Lichtweg der Strahlung von der
Referenzstrahlungsquelle zum Detektor

U_{Quelle} (Zeit, Konzentration):

$U_M(0, 0), U_R(0, 0)$ - ist das Ausgangssignal des Detek-
tors bei Betrieb der Meß- bzw. Re-
ferenzquelle in der Abwesenheit
des zu detektierenden Gases im
Meßraum zum Zeitpunkt $t=0$

$U_M(0, C), U_R(0, C)$ - ist das Ausgangssignal des Detek-

tors bei Betrieb der Meß- bzw. Referenzquelle in Anwesenheit des zu detektierenden Gases im Meßraum zum Zeitpunkt $t=0$

5

Der Verhältnissfaktor F der Signale für die zwei Quellen ist konzentrationsabhängig:

$$(3) \quad F(0, C) = \frac{U_R(0, C)}{U_M(0, C)} = \frac{U_R(0, 0)}{U_M(0, 0)} \exp(-aC\Delta L), \Delta L = L_R - L_M$$

10

Nach der Zeit t im Betrieb wird sich die Kalibrierfunktion der Meßquelle verändern:

$$(4) \quad U_M(t, C) = U_M(t, 0) \exp(-aCL_M)$$

15

Dann wird der Korrekturvorgang durchgeführt. Zu dem Zeitpunkt ist die Konzentration des zu messenden Gases gleich C^* . Dann folgt

20

$$(5) \quad U_M(t, C^*) = U_M(t, 0) \exp(-aC^*L_M)$$

$$(6) \quad U_R(t, C^*) = U_R(t, 0) \exp(-aC^*L_R)$$

25

Da $U_R(t, 0) = U_R(0, 0)$ (die Referenzquelle 8 altert kaum), ist die Gleichung (6) äquivalent zu der Gleichung (2) und die gespeicherte Kalibrierfunktion der Referenzquelle 8 kann für die Berechnung der Konzentration des zu bestimmenden Gases zum Zeitpunkt der Messung t , C^* , benutzt werden.

30

$$(7) \quad C^* = \frac{-1}{aL_R} \ln \left(\frac{U_R(t, C^*)}{U_R(0, 0)} \right)$$

Mit Hilfe dieses C^* und der Gleichung (1) wird der Signalwert der nicht gealterten Messquelle berechnet. Anschließend wird das Verhältnis aus dem berechneten Signal der nichtgealterten Messquelle (für die die Kalibrationsfunktion bestimmt wurde) und dem tatsächlichen Signal der Messquelle als der Korrekturfaktor K berechnet.

$$(8) \quad K(t) = \frac{U_M(0, C^*)}{U_M(t, C^*)}$$

Aus (4), (5) und (8) folgt für die korrigierte Kalibrierfunktion der Meßquelle

$$(9) \quad U_M(t, C) = 1/K \, U_M(0, C)$$

Die Kalibrierfunktion (9) kann dann bis zum nächsten Korrekturvorgang benutzt werden. Die Korrektur ist ebenfalls bei z.B. einer linear oder quadratisch Kalibrierfunktion möglich.

Die Korrektur der Alterung bei einer symmetrischen Anordnung der Strahlungsquellen 7, 8 (s. Fig. 2) ist wie folgt:

Bei der Verwendung von zwei Strahlungsquellen, die symmetrisch zum Detektor angeordnet sind, gelten zum Zeitpunkt $t = 0$ folgende Signalabhängigkeiten von der Konzentration:

$$(1') \quad U_M(0, C) = U_M(0, 0) \exp(-aCL)$$

$$(2') \quad U_R(0, C) = U_R(0, 0) \exp(-aCL)$$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Verhältnissfaktor $F(0, C)$ zwischen den beiden Strahlungsquellen gebildet.

$$(3') \quad F(0, C) = \frac{U_R(0, C)}{U_M(0, C)} = \frac{U_R(0, 0) \exp(-aCL)}{U_M(0, 0) \exp(-aCL)} = \frac{U_R(0, 0)}{U_M(0, 0)} = F(0)$$

Das Verhältnis der Signale für die zwei Quellen ist konzentrationsunabhängig, da die beiden Lichtwege L gleich lang sind.

10

Daraus folgt:

$$(4') \quad U_M(0, 0) = 1/F(0) \quad U_R(0, 0)$$

15

Mit der vorher aufgenommenen Kalibrierfunktion (Gleichung 1') gilt

$$(5') \quad U_M(0, C) = 1/F(0) U_R(0, 0) \exp(-aCL)$$

20

Nach der Zeit t im Betrieb wird sich die Kalibrierfunktion der Meßquelle verändern. Zu dem Zeitpunkt t bei einer beliebigen Konzentration des zu messenden Gases gilt:

$$(6') \quad U_M(t, C^*) = U_M(t, 0) \exp(-aC^*L)$$

$$(7') \quad U_R(t, C^*) = U_R(t, 0) \exp(-aC^*L)$$

Daraus ergibt sich der konzentrationsunabhängige Verhältnissfaktor $F(t)$.

30

$$(8') \quad F(t, C^*) = \frac{U_R(t, C^*)}{U_M(t, C^*)} = \frac{U_R(t, 0)}{U_M(t, 0)} = F(t)$$

Da $U_R(t, 0) = U_R(0, 0)$ (die Referenzquelle altert kaum) ist, gilt

$$(9') \quad U_M(t, 0) = 1/F(0) U_R(0, 0)$$

Die zeitliche Änderung der Strahlungsintensität der Messstrahlungsquelle wird mit der Bildung des Verhältnissfaktors $F(t)$ kompensiert. Zusammen mit Gleichung (6') und Gleichung (9') gilt dann für die Kalibrierfunktion:

$$(10') \quad U_M(t, C) = 1/F(t) U_R(0, 0) \exp(-aCL)$$

Der Verhältnissfaktor $F(t)$ wird bis zur nächsten Referenzierung benutzt.

Bei nicht symmetrischer Anordnung der beiden Strahlungsquellen z.B. vor Inbetriebnahme einer Kalibration mit Prüfgas unterzogen. Im Betrieb des Sensors wird zu bestimmten Zeiten die Referenzstrahlungsquelle eingeschaltet.

Schematisch läuft der oben beschriebene Algorithmus zur Korrektur der Alterung der Meßquelle zum Zeitpunkt t_1 wie folgt ab:

1. Zuerst wird das Detektorsignal $U_M(t_1)$, beim Betrieb der Meßquelle gemessen.

2. Danach wird das Detektorsignal $U_R(t_2)$, beim Betrieb der Referenzquelle bestimmt.
3. Da die Referenzquelle selten betrieben wird und deshalb stabil bleibt wird der Wert $U_R(t_2)$ mit Hilfe der gespeicherten Kalibrierfunktion für die Referenzquelle dazu benutzt die momentane Umgebungskonzentration vom zu messenden Gas, $C(t_2)$, zu berechnen.
4. Ausgehend vom Wert $C(t_2)$ wird mit Hilfe der inversen Kalibrierfunktion für die Meßquelle das Detektorsignal $U_M(0)$, das dem der nicht gealterten Meßquelle entsprechen würde, berechnet.
5. Danach wird der Korrekturfaktor K durch den Vergleich der Werte $U_M(t_1)$ und $U_M(0)$ bestimmt, z.B. wie folgt: $K(t_1) = U_M(0)/U_M(t_1)$.
6. Anschließend wird die Messung mit der Meßquelle wiederholt und das Detektorsignal $U_M(t_3)$ mit dem wert $U_M(t_1)$ am Anfang des Korrekturvorgangs verglichen. Liegt eine Abweichung vor, die größer als erlaubt ist (das Kriterium wird vorher bestimmt), muß die Messung wiederholt werden. Vorzugsweise sollten die Zeitintervalle (t_2-t_1) und (t_3-t_1) viel kleiner als die diffusionsbedingte Ansprechzeit des Gassensors sein. Dadurch wird eine nahezu konstante Konzentration des zu bestimmenden Gases während des Korrekturvorgangs gewährleistet.

7. Der wie oben beschriebene berechnete Korrekturfaktor $K(t_1)$ wird jetzt dazu benutzt die alterationsbedingte Verschiebung der Kalibrierfunktion der Meßquelle auszugleichen. Im vorliegenden Falle, z.B., sollen die ab jetzt gemessenen Werte des Detektorsignals mit dem Korrekturfaktor K multipliziert werden: $U_M^{korrr} = U_M^{gemessen} \times K(t_1)$. Dann wird mit Hilfe der Werte U_M^{korrr} und der gespeicherten Kalibrierfunktion für die Meßquelle der richtige Wert der Konzentration des zu messenden Gases C errechnet.

8. Der Wert des Korrekturfaktors $K(t_1)$ wird solange benutzt bis der nächste Korrekturvorgang durchgeführt wird.

9. Anschließend wird die Konzentrationsberechnung mit der gespeicherten Kalibrierfunktion durchgeführt. Diese kann je nach geforderter Genauigkeit, bzw. gefordertem Meßbereich z.B. mit einer linearen, quadratischen oder exponentiellen Funktion ausgeführt sein.

Zur Bestimmung des Verhältnissfaktors F bei einem symmetrischen Aufbau wird ebenfalls zu bestimmten Zeiten im Betrieb des Sensors die Referenzstrahlungsquelle eingeschaltet. Zur Kontrolle, ob die beiden effektiven Lichtwege gleich lang sind, wird z.B. vor Inbetriebnahme der Sensor mit einer bekannten Gaskonzentration des zu messenden Gases beaufschlagt und die Konzentrationsabhängigkeit von Meß- bzw. Referenzstrahlungsquelle überprüft. Sind die Abhängigkeiten

gleich wird z.B. nur eine Konzentrationskalibration mit der Referenzquelle vorgenommen.

Schematisch läuft der Algorithmus zur Korrektur der Alterung der Meßquelle zum Zeitpunkt t_1 wie folgt ab:

1. Zuerst wird das Detektorsignals $U_M(t_1)$, beim Betrieb der Meßquelle gemessen.
2. Danach wird das Detektorsignal $U_R(t_2)$, beim Betrieb der Referenzquelle bestimmt.
3. Die Bestimmung des Verhältnisfaktors F erfolgt durch den Vergleich der Werte $U_M(t_1)$ und $U_R(t_2)$ z.B. wie folgt: $F(t_1) = U_R(t_2)/U_M(t_1)$
4. Anschließend wird die Messung mit der Meßquelle wiederholt und das Detektorsignal $U_M(t_3)$ mit dem Wert $U_M(t_1)$ am Anfang des Korrekturvorgangs verglichen. Liegt eine Abweichung vor, die größer als erlaubt ist (das Kriterium wird vorher bestimmt), muß die Messung wiederholt werden. Vorzugsweise sollten die Zeitintervalle (t_2-t_1) und (t_3-t_1) viel kleiner als die diffusionsbedingte Ansprechzeit des Gassensors sein. Dadurch wird eine nahezu konstante Konzentration des zu bestimmenden Gases während des Korrekturvorgangs gewährleistet.
5. Der wie oben beschriebene berechnete Verhältnisfaktor $F(t_1)$ wird jetzt dazu benutzt, die alterungsbedingte Verschiebung der Kalibrierfunktion

der Meßquelle auszugleichen. In unserem Falle, z.B., sollen die ab jetzt gemessenen Werte des Detektorsignals mit dem F-Faktor multipliziert werden: $U_M^{\text{korrr}} = U_M^{\text{gemessen}} \times F(t_1)$. Dann mit Hilfe der Werte U_M^{korrr} und der gespeicherten Kalibrierfunktion für die Referenzquelle wird der richtige Wert der Konzentration des zu messenden Gases C errechnet.

6. Der Wert $F(t_1)$ wird solange benutzt, bis der nächste Korrekturvorgang durchgeführt wird.
7. Anschließend wird die Konzentrationsberechnung mit Hilfe der gespeicherten Kalibrierfunktion für die Referenzquelle durchgeführt. Diese kann je nach geforderter Genauigkeit, bzw. gefordertem Meßbereich, z.B. mit einer linearen, quadratischen oder exponentiellen Funktion ausgeführt sein.

Die Korrektur der Alterung der Meßstrahlungsquelle kann durch die folgenden Maßnahmen vorgenommen werden.

Eine Möglichkeit stellt die Normierung des Detektorausgangssignals bei Betrieb der Meßstrahlungsquelle 7 auf den Wert bei Betrieb der Referenzstrahlungsquelle 8 dar. Hierbei bezieht sich die Kennlinie des Gassensors auf das Detektorausgangssignal bei Betrieb der Referenzstrahlungsquelle 8. Während des normalen Betriebs des Sensors wird das Ausgangssignal des Detektors 13 immer mit dem Verhältnissfaktor F multipli-

ziert, bevor die Kennlinie zur Konzentrationsbestimmung auf die Meßwerte angewandt wird. Änderungen des Verhältnissfaktors F mit der Zeit werden somit automatisch berücksichtigt.

5

In einem anderen Ausführungsbeispiel ist dem Strahlungsdetektor 13 ein variabler Verstärker nachgeschaltet, dessen Verstärkung abhängig vom aktuellen Verhältnissfaktor F bzw. Korrekturfaktor K von der Auswerte- und Steuereinrichtung 14 so nachgeregelt wird, daß die Ausgangssignale des Verstärkers bei Betrieb mit der Meßstrahlungsquelle 7 und bei Betrieb mit der Referenzstrahlungsquelle 8 gleich sind. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die frühzeitige Erkennung des Endes der Lebensdauer der Meßstrahlungsquelle 7 bzw. des Gassensors dadurch ermöglicht, daß die nachgeführte Verstärkung einen maximalen Wert als Grenzwert erreicht, der nicht überschritten werden darf.

20

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Meßstrahlungsquelle 7 regelbar ausgebildet, d.h. die Strahlungsintensität der Meßstrahlungsquelle 7 wird von der Auswerte- und Steuereinheit 14 so nachgeregelt, daß ein bestimmter Wert des Verhältnissfaktors F , z.B. $F = 1$, bzw. des Korrekturfaktors während des Gassensorbetriebs immer aufrechterhalten wird. Solange die Abweichung des Verhältnissfaktors $F(t)$ bzw. des Korrekturfaktors ($K(t)$) gemessen zu einem Zeitpunkt t von seinem Ausgangswert $F(0)$ bzw. $K(0)$ einen vorgegebenen Grenzwert nicht überschreitet, wird ein Ausgleich der Alterung durch die oben beschriebenen Maß-

25

30

nahmen durchgeführt.

Wenn jedoch die Abweichung zu groß wird und der vorgegebenen Grenzwert überschritten wird, wird beispielsweise von der Auswerte- und Steuereinrichtung 14 ein Signal erzeugt und angezeigt, daß das Ende der Lebensdauer der Meßstrahlungsquelle 7 und damit üblicherweise des Gassensors selbst angibt.

Ein Vorteil des Gassensors 1 ist seine größere Ausfallsicherheit. Wenn die Meßstrahlungsquelle 7 total ausfällt, kann der Infrarotgassensor 1 übergangsweise bis die Störung behoben wird anstelle der Meßstrahlungsquelle 7 mit der Referenzstrahlungsquelle 8 betrieben werden. In einem anderen Ausführungsbeispiel werden mehr als zwei Strahlungsquellen benutzt, wodurch die Lebensdauer des Sensors erhöht und ein zusätzlicher Ausgleich der Alterung in oben beschriebener Weise z.B. der Referenzstrahlungsquelle vorgenommen werden kann.

Fig. 3 zeigt einen Infrarotgassensor 2, wobei im Unterschied zu dem Infrarotgassensor 1 (Fig. 1, Fig. 2) der Interferenzfilter 12 zwischen die Strahlungsquellen 7, 8 und den Gasmeßraum 11 geschaltet ist.

Fig. 4 zeigt einen Infrarotgassensor 3 für die gleichzeitige Messung mehrerer Gaskomponenten. Der Infrarotgassensor 3 beinhaltet mehrere Strahlungsdetektoren 15, 16, 17, die in einer Reihe den Strahlungsquellen 7, 8 gegenüberliegend angeordnet sind. Dazwischen liegt der Meßraum 11. Die Strahlungsquel-

len 7, 8 werden symmetrisch bezüglich der Strahlungsdetektoren 15,16,17 angeordnet, so daß der Abstand zwischen den beiden Quellen und dem jeweiligen Strahlungsdetektor gleich ist und die beiden Quellen den jeweiligen Strahlungsdetektor etwa gleich beleuchten. Die Strahlungsquellen kann man z. B. dicht nebeneinander so anordnen, daß die Ausrichtungslinie, an welcher die Strahlungsquellen angeordnet ist, senkrecht zu der Ausrichtungslinie, an welcher die Strahlungsdetektoren 15, 16, 17 plaziert sind, verläuft. Der Infrarotgassensor 3 ist für z.B. drei zu messende Gase bzw. Gaskomponenten ausgebildet, wobei die Strahlungsdetektoren 15, 16, 17 mit integrierten Interferenzfiltern 18, 19, 20 auf verschiedene Wellenlängen entsprechend den zu messenden Gasen abgestimmt sind. Es können auch nur zwei Gase bzw. Gaskomponenten gemessen werden und der dritte Detektor dient als Referenz, hierzu besitzt dieser einen Interferenzfilter, der für eine Wellenlänge ausgelegt ist, wo bevorzugterweise kein Gas eine Strahlungsabsorption aufweist (z.B. $9,0\text{ }\mu\text{m}$). Des weiteren ist es ebenfalls möglich, daß alle Detektoren in ein Detektorgehäuse integriert sind (Quaddetektoren).

Figur 5 stellt eine weitere Ausführungsform eines Infrarotgassensors 4 dar, der mit der Auswerte- und Steuereinrichtung 14 verbunden ist. Dabei bezeichnet das Bezugszeichen 21 einen Reflektor aus Aluminium, der die aus der Meßstrahlungsquelle 7 bzw. der Referenzstrahlungsquelle 8 austretende Strahlung in den Meßraum 11 reflektiert. Dabei sind die Strahlungsquellen 7 und 8 als Miniaturglühlampen gleicher Art

ausgebildet. Die Strahlung der Strahlungsquellen 7, 8 wird durch ein von innen poliertes Edelstahlrohr 22 auf den wellenlängenselektiven Strahlungsdetektor 13 geführt. Das Rohr 22 grenzt den Gasmeßraum 11 ein.

5

Weiterhin ist ein Temperatursensor 23 vorgesehen, der die Temperatur des Strahlungsdetektors 13 bzw. des gesamten Gassensors 4 erfaßt. Alle beschriebenen Bauelemente sind zur mechanischen Stabilisierung und zur elektrischen Kontaktierung auf einer Platine 25 angeordnet.

10

15

Die über einen Stecker 24 angeschlossene Auswert- und Steuereinrichtung 14 verarbeitet die Ausgangssignale vom Strahlungsdetektor 13 und vom Temperatursensor 23, steuert die Strahlungsquellen 7,8 an, erfaßt die Daten über die Alterung der Meßstrahlungsquelle 7 und liefert die Informationen über die Konzentration des Meßgases.

20

25

30

Fig. 6 stellt schematisch eine weitere Ausführungsform für einen mechanisch stabilen und reproduzierbaren Aufbau eines Infrarotgassensors 5 dar. Zur Gewährleistung dieses reproduzierbaren Aufbaus wird ein Metallblock 28 verwendet. Eine Bohrung dient zur Positionierung eines Strahlungsdetektors 13 mit einem vorgeschalteten oder direkt im Detektorsgehäuse integrierten optischen Bandpassfilter. Dem Strahlungsdetektor 13 gegenüberliegend werden zwei Strahlengänge unter einem Winkel von 8° gebohrt, die am Detektor 13 zusammenlaufen. Der Winkel der beiden Strahlenringe kann beliebig groß sein, wird aber vorzugsweise so

gewählt, daß die Dimensionen des Sensors bei gegebenem Lichtweg möglichst klein bleiben. In diese Strahlengänge, die den Meßraum 11 bilden, werden zwei Strahlungsquellen 7 und 8 so befestigt, daß sie die gleiche Entfernung zum Detektor haben. Drei zu den Strahlungsgängen senkrechte Bohrungen 26 dienen als Einlaß für das hineindiffundierende zu untersuchende Gas. Diese Bohrungen werden mittels eines gaspermeablen Filters 27 zur Abhaltung von Staub und anderen Partikeln abgedeckt. Der gesamte Metallblock 28 wird zur elektrischen Kontaktierung der Strahlungsquellen 7 und 8 und des Detektors 13 auf einer Platine 25 befestigt. Ein hinter dem Detektor montierter Temperatursensor 23 dient zur Aufnahme der Temperatur. Die elektrische Verbindung zur Auswerte- und Steuerungseinrichtung erfolgt mittels des an der Platine 25 integrierten Stecker 24.

Figur 7 zeigt einen schematischen Aufbau eines photoakustischen Gassensors 6 im Querschnitt mit einer Meßzelle 31, einer Meßstrahlungsquelle 7 und einer Referenzstrahlungsquelle 8, einem optischen Bandpassfilter 12, einem akustischen Detektor bzw. Mikrofon 30, einer gaspermeablen Membran 29 und einer Auswerte- und Steuereinrichtung 14. Die Strahlungsquellen 7, 8 sind vorzugsweise dicht aneinander angeordnet, so daß sie den Bandpassfilter 12 möglichst identisch bestrahlen. Eine weitere Ausführungsform, bei der jeder Strahlungsquelle ein eigener Bandpassfilter zugeordnet ist, ist auch möglich. Die Ausleuchtung der Meßzelle 31 durch die Strahlungsquellen ist in Fig. 7 unterschiedlich.

In Fig. 8 sind die Strahlungsquellen 7, 8 im Unterschied zu Fig. 7 in Bezug auf die Meßzelle 31 symmetrisch zu mindestens einer Symmetrieachse der Meßzelle 31 angeordnet und/oder strahlen in einem im wesentlichen gleichen Raumwinkel ab.

Die Strahlungsquellen 7,8 werden gepulst betrieben, jedoch ist auch ein anderer Wechselbetrieb möglich. Nach Filterung am Bandpassfilter 12 gelangt das von den Strahlungsquellen 7, 8 ausgestrahlte Licht in die Meßzelle 31. Der Transmissionsbereich des optischen Bandpassfilters 12 wird so abgestimmt, daß vorzugsweise nur die Strahlung durchgelassen wird, die von den zu messenden Gasmolekülen absorbiert wird. Befindet sich das zu messende Gas in der Umgebung des Gassensors 6, dringt es durch die gaspermeable Membran 29 in die Meßzelle 31 ein, wo es das Licht absorbiert und sich erwärmt. Durch die Erwärmung dehnt es sich aus und erzeugt eine Druckmodulierung, die vom Mikrofon 30 in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Die Meßstrahlungsquelle 7 wird zum Betrieb des Gassensors 6 benutzt. Die Referenzstrahlungsquelle 8 wird nur selten in vorgegebenen Zeitintervallen regelmäßig benutzt, um die Alterung der Meßstrahlungsquelle 7 zu ermitteln und sie bei der Berechnungen der Meßgaskonzentration zu berücksichtigen. Gegebenenfalls kann die Referenzstrahlungsquelle 8 sowohl zur Überwachung der Funktion des Mikrofons 30 als auch für den Sensorbetrieb beim Ausfall der Meßstrahlungsquelle 7 benutzt werden.

Die Auswertung der Ausgangssignale vom Mikrophon und die Kompensation der Alterung werden so wie in den vorherigen Ausführungsbeispielen durchgeführt.

5 Die Anzahl der Referenzierungsmessungen und damit die Alterung der Referenzquelle 8 können durch die einfache Integration eines der Meßstrahlungsquelle zugeordneten zusätzlichen "lowcost" d.h. Niedrigpreis-Strahlungsdetektors 32 (z.B. Si-Photodiode) entsprechend Fig. 9 auf ein notwendiges Minimum reduziert werden. Hierbei wird mittels des zusätzlichen Strahlungsdetektors 32 die Alterung der Meßstrahlungsquelle 7 bei einer Wellenlänge von z.B. 850 nm überwacht, und die Referenzstrahlungsquelle 8 nur in dem Fall
10 eingesetzt, wenn die Strahlungsintensität der Meßquelle 7, gemessen mit dem Detektor 32, sich um einen bestimmten Wert geändert hat.
15

Figur 10 zeigt die typische Alterung von Subminiaturlampen am Beispiel des Typs T1 5V 60mA der Firma VCH. Für den Test wurden die Lampen alle 20s für ca. 200ms eingeschaltet. Wie deutlich zu erkennen ist, kann keine allgemeine Aussage über die Alterung der Quelle in Bezug auf die Richtung und die Größe der Signaländerung gemacht werden. Die dargestellte Drift bezieht sich auf einen symmetrisch aufgebauten Gassensor nach
20 Figur 5 mit einer Lichtweglänge von 25 mm und einem pyroelektrischen Strahlungsdetektor vom Typ LHi807 TC G2 der Firma Perkin Elmer Optoelectronics mit integriertem Interferenzfilter.
25
30

Figur 11 zeigt die beiden am meisten driftenden Quel-

len aus Figur 10 sowie die resultierenden Ergebnisse einer Driftkompensation. Es ist deutlich zu erkennen, daß nach einer Voralterung von hier ca. 40000 Pulsen eine Alterung der Messstrahlungsquelle in einem Fehlerbereich von ca. ± 40 ppm CO₂ ausgeglichen werden kann.

Da die Referenzquelle bei einem Taktverhältnis von 1:4000 (Referenz/Messquelle) über eine Betriebszeit des Sensors (z.B. 10 Jahre) insgesamt nur einen Tag im Betrieb (A'-A) ist, kann eine Drift der Referenzquelle sehr gering gehalten werden.

In Figur 12 ist die Abhängigkeit des Korrekturfaktors F von der Messgaskonzentration im Gasmessraum für einen symmetrisch aufgebauten Gassensor nach Figur 5 mit Quellen des Typs VCH T1 5V 115mA und einem Strahlungsdetektor vom Typ LHi807 TC G2 der Firma Perkin Elmer Optoelectronics mit integriertem Interferenzfilter für CO₂ dargestellt. Wie deutlich zu erkennen ist, beträgt der Anzeigefehler durch die Abhängigkeit des Korrekturfaktors F dieses Sensors maximal 15ppm CO₂.

Figur 13 zeigt die Messergebnisse eines symmetrisch aufgebauten Gassensors nach Figur 5 mit Quellen des Typs VCH T1 5V 115mA und einem Strahlungsdetektor vom Typ LHi807 TC G5 der Firma Perkin Elmer Optoelectronics mit integriertem Interferenzfilter für CH₄.

Hierbei wurde die Messquelle jede Stunde referenziert.

Eine weitere Ursache der Langzeitinstabilität eines IR-Gassensors stellt eine mögliche zeitliche Veränderung der Spannung, die zum Betreiben der Strahlungsquelle benutzt wird, dar. Abweichungen des tatsächlichen Werts dieser Spannung von dem bei der Kalibration vorgegebenen Wert führen zu einer Änderung der Strahlungsintensität der Quelle und dementsprechend zu einer zeitlichen Veränderung des Sensorsignals.

Da die Strahlungsintensität der Strahlungsquellen von der Anregungsspannung abhängt, und da diese je nach Art der verwendeten Bauelementen über die Zeit driften kann, ist möglicherweise ein Ausgleich für diese Drift erforderlich. Erfindungsgemäß stehen eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung den erforderlichen Driftausgleich zu realisieren.

Um diesen Ausgleich zu ermöglichen wird während des Sensorbetriebs je nach dem angewendeten Meßprotokoll die an der Strahlungsquelle angelegte Spannung vor, während oder nach der Einschaltung der Quelle gemessen und mit dem bei der Kalibration ermittelten Anfangswert der Spannung verglichen. Die auf diesem Wege ermittelten Quellenspannungsveränderungen werden dann explizit dazu verwendet, die dadurch verursachte Änderungen des Signals des Sensors auszugleichen bzw. zu kompensieren. Es können dafür folgende technische Lösungen benutzt werden:

1. Bei der Sensorfertigung wird eine Kalibration des Detektorausgangssignals gegenüber den Veränderungen der Quellenspannung für jede im Sensor

eingesetzte Strahlungsquelle ermittelt und gespeichert (U-Kalibration). Später beim Sensorbetrieb werden diese Daten dazu benutzt die mit der Zeit auftretende Drift der Quellenspannung auszugleichen. Bei geringfügigen Veränderungen der Quellenspannung von seinem Anfangswert besteht z.B. eine lineare Abhängigkeit des Detektorsignals von dem Wert der angelegten Quellenspannung, obwohl auch andere Möglichkeiten bestehen können. Die erforderliche U-Kalibration wird zusammen mit der Temperatur- und Konzentrationskalibration des Sensors durchgeführt. Dafür werden das Detektorsignal bei mehreren (bevorzugt zwei) Werten der angelegten Quellenspannung in Nullluft (Konzentration des zu messenden Gases ist Null) und gegebenenfalls bei mindestens einer bekannten Konzentration des zu messenden Gases ermittelt und die daraus resultierende Funktion gespeichert. Zum Beispiel erfolgt eine Messung bei dem Anfangswert der Quellenspannung und die zweite bei einem leicht abweichenden Spannungswert. Technisch kann man die Durchführung dieser U-Kalibration unterschiedlich lösen, z.B.: a) man kann direkt mit der dementsprechend angepassten Sensorschaltung unterschiedliche Quellenspannungen erzeugen, was von dem sensoreigenen Mikrokontroller gesteuert wird; b) andererseits, können bei der U-Kalibration im Werk die erforderlichen variablen Spannungswerte am Kalibrationsstand an den Sensor extern angelegt und anschließend als Kalibrationsdaten (U-Kalibration) abgespeichert werden.

2. Werden bei der Sensorenfertigung Strahlungsquellen eines bestimmten Typs eingesetzt, kann man durch eine Reihenuntersuchung für verschiedene Quellen der selben Charge oder des selben Typs eine statistisch mittlere Abhängigkeit des Detektorausgangssignals von der Quellenspannung ermitteln. Durch diese Funktion wird dann während des Sensorbetrieb die Drift der Quellenspannung für alle Sensoren mit Lampen diesen Typs bzw. dieser Charge kompensiert.

Patentansprüche

- 5 1. Gassensoranordnung mit einer Strahlung emittie-
10 renden Strahlungseinrichtung, einem Gasmeßraum,
einer Detektoreinrichtung und einer Auswerteein-
richtung, wobei sich im Gasmeßraum ein minde-
stens eine Gaskomponente enthaltendes Meßgas be-
findet und die Auswerteeinrichtung die Gaskompo-
nente und/oder deren Konzentration abhängig vom
Ausgangssignal der Detektoreinrichtung bestimmt,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Strahlungseinrichtung mindestens eine
15 Meßstrahlungsquelle (7) und mindestens eine Re-
ferenzstrahlungsquelle (8) aufweist, und daß die
Referenzstrahlungsquelle (8) in zeitlichen Ab-
ständen zur Überprüfung des Alterungszustandes
der Meßstrahlungsquelle (7) eingeschaltet wird,
20 die Auswerteeinrichtung (14) aus Abweichungen
bezüglich der Ausgangssignale der Detektorein-
richtung (13) bei eingeschalteter Referenzstrah-
lungsquelle (8) und eingeschalteter Meßstrah-
lungsquelle (7) die Alterung der Meßstrahlungs-
25 quelle (7) feststellt und die Alterung gegebe-
nenfalls ausgleicht.
- 30 2. Gassensoranordnung nach Anspruch 1, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Detektoreinrichtung (13)
mindestens einen Strahlungsdetektor, der die Än-
derung der Intensität bei Durchstrahlen des Gas-
meßraums erfaßt, oder ein Mikrophon, das die
Druckänderung des Meßgases durch Absorption der
in den Gasmeßraum eintretenden Strahlung erfaßt,
einschließt.

3. Gassensoranordnung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstrahlungsquelle (7) und die Referenzquelle (8) derart angeordnet sind, daß ihre Strahlengänge (9, 10) die gleiche effektive Lichtweglänge zu der Detektoreinrichtung (13) aufweisen, oder daß sie symmetrisch zu einer Symmetrieachse des Gasmeßraums liegen.
4. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasmeßraum mindestens eine Symmetrieachse hat, und daß der Detektor auf einer dieser Symmetrieachsen liegt, und daß die Quellen (7 und 8) symmetrisch zu dieser Symmetrieachse im gleichen Abstand zum Detektor angeordnet sind.
5. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasmeßraum mindestens eine Symmetrieachse und ein Lichteintrittsfenster, das insbesondere ein Bandpaßfilter ist, aufweist, welches symmetrisch zu einer dieser Symmetrieachsen angeordnet ist, und daß die Quellen (7 und 8) symmetrisch zu dieser Symmetrieachse im gleichen Abstand zum Lichteintrittsfenster angeordnet sind.
6. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (14) die Alterung aufgrund der Änderung eines Verhältnisses der jeweiligen Ausgangssignale der Detektoreinrichtung bei eingeschalteter Meßstrahlungsquelle (7) und bei eingeschalteter Referenzstrahlungsquelle (8) bestimmt.

- 5 7. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Wellenlängen-selektives Element (12) vorgesehen ist, dessen Wellenlängenbereich auf das Meßgas abgestimmt ist, und daß zwischen Strahlungsquellen und Gasmeßraum und/oder mindestens einem Detektor der Detektoreinrichtung zugeordnet ist.
- 10 8. Gassensoranordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Strahlungsdetektoren (15 bis 17) mit unterschiedlichen Wellenlängen-selektiven Elementen zur Messung unterschiedlicher Gaskomponenten und/oder deren Konzentration vorgesehen sind.
- 15 9. Gassensoranordnung nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Wellenlängen-selektive Element als in den Detektor integriertes oder dem Detektor vorgeschaltetes Interferenzfilter ausgebildet ist.
- 20 10. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ausgleich der Alterung die Meßstrahlungsquelle (7) in ihrer Strahlungsstärke regelbar ist.
- 25 11. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ausgleich der Alterung der Meßstrahlungsquelle (7) dem jeweiligen Detektor ein in seiner Verstärkung regelbarer Verstärker nachgeschaltet ist.
- 30 12. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung (14) die Alterung der Meßstrahlungsquelle (7) bei der Bestimmung der Konzen-

tration durch Berechnung abhängig von den Abweichungen berücksichtigt.

- 5 13. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahlungsquelle (7) ein Strahlungsdetektor zugeordnet ist, der die durch Alterung bedingte Änderung der Meßstrahlungsquelle in einem vom Absorptionsband des zu messenden Gases unterschiedlichen Spektralbereich mißt und daß die
- 10 Referenzstrahlungsquelle dann eingesetzt wird, wenn die Änderung einen vorgegebenen Wert überschreitet.
- 15 14. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Strahlungsquellen, vorzugsweise drei, vorgesehen sind.
- 20 15. Gassensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß eine Überwachungseinheit zur Überwachung der Betriebsspannung der Strahlungsquelle sowie eine Steuer-/Regeleinheit zum Nachregeln und/oder Ausgleich der Spannung bei Abweichung vorgesehen sind.

1/13

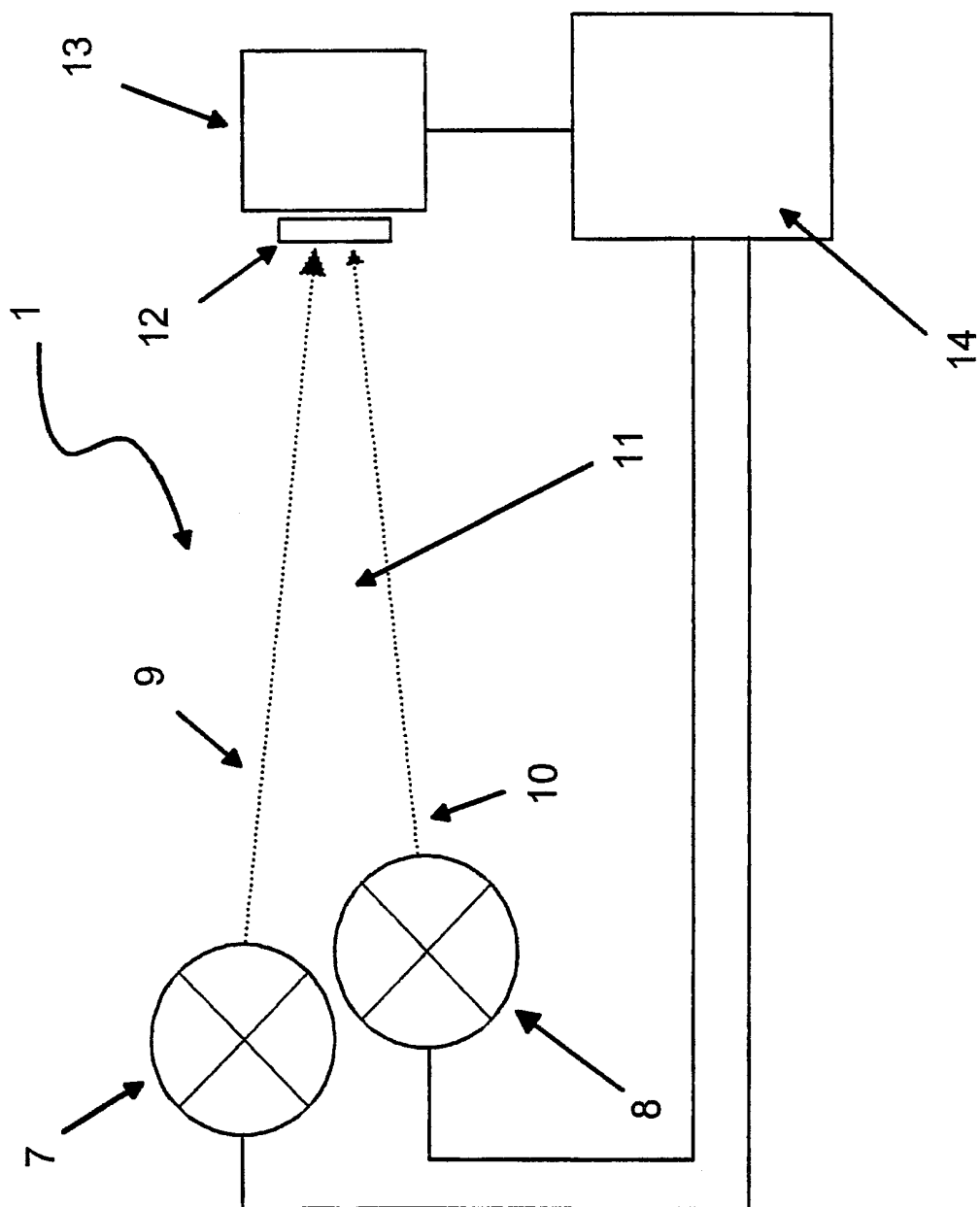


Fig. 1

2/13

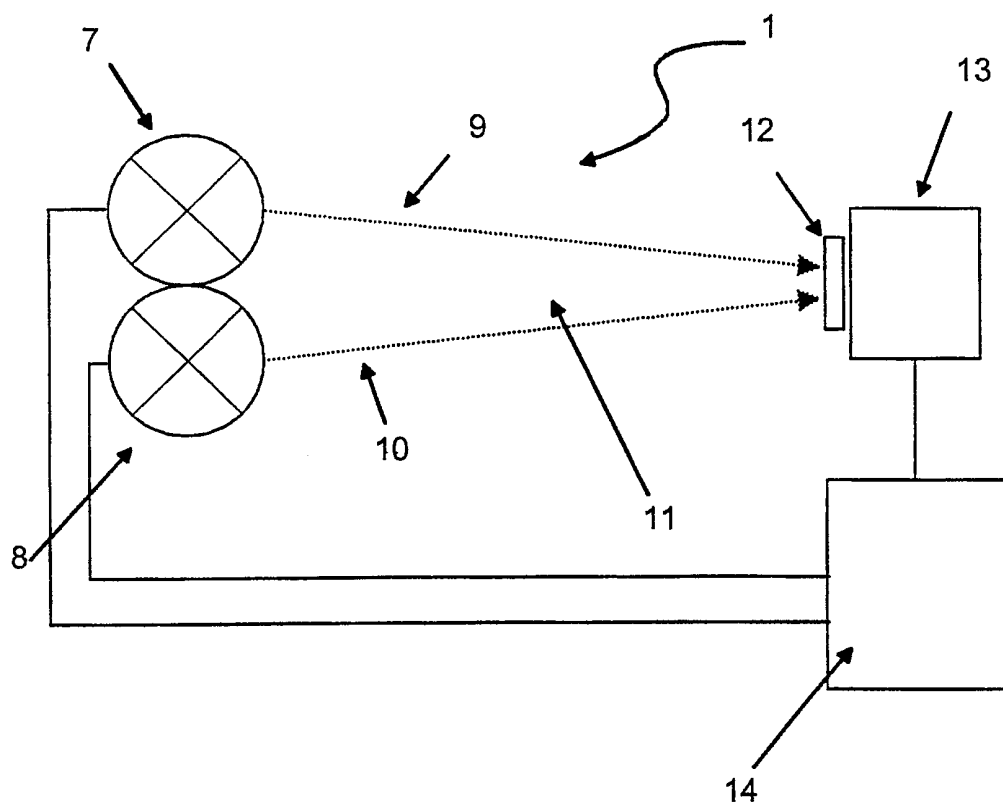


Fig. 2

3/13

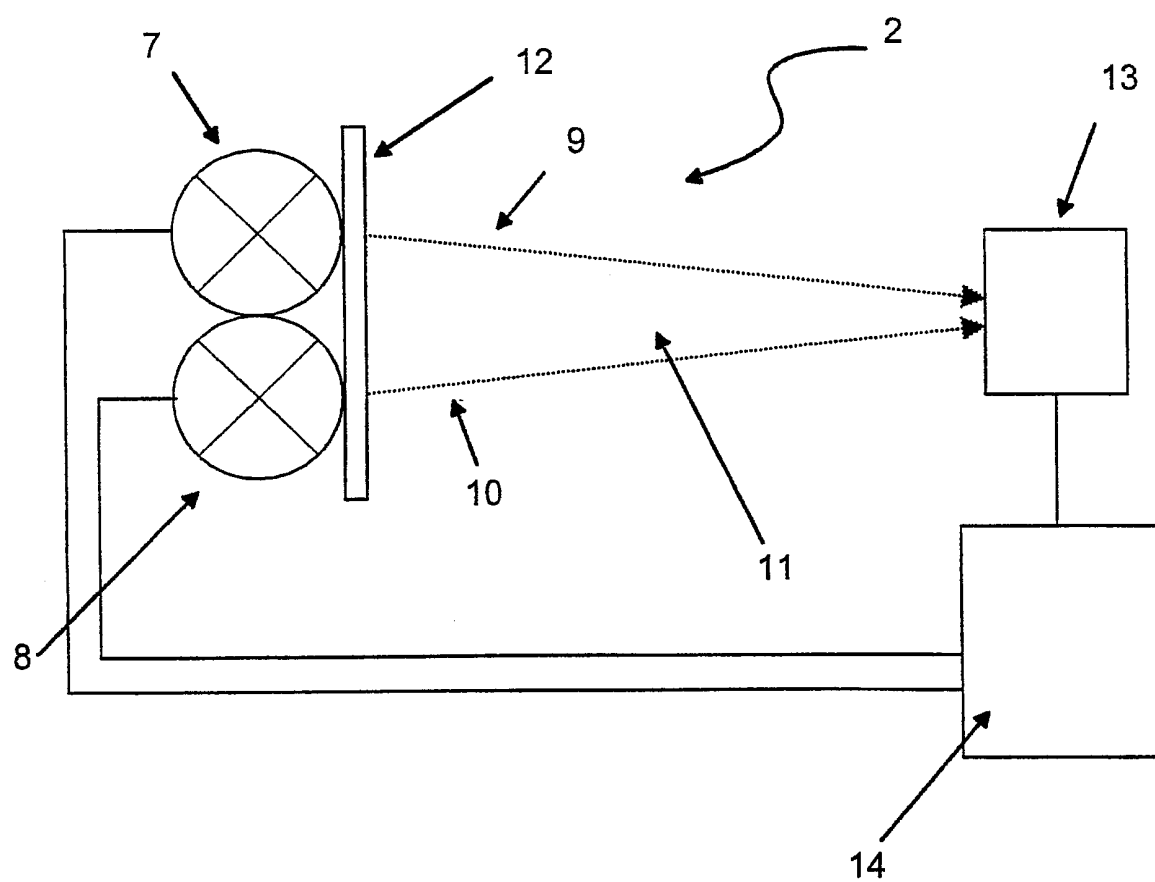


Fig. 3

4/13

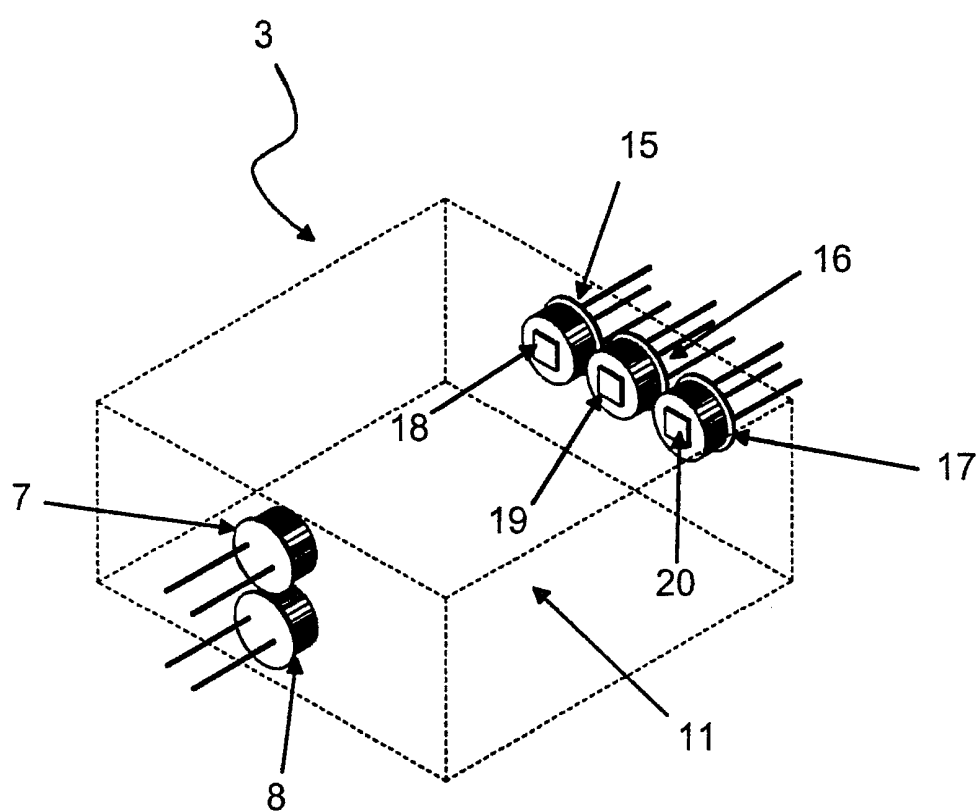


Fig. 4

5/13

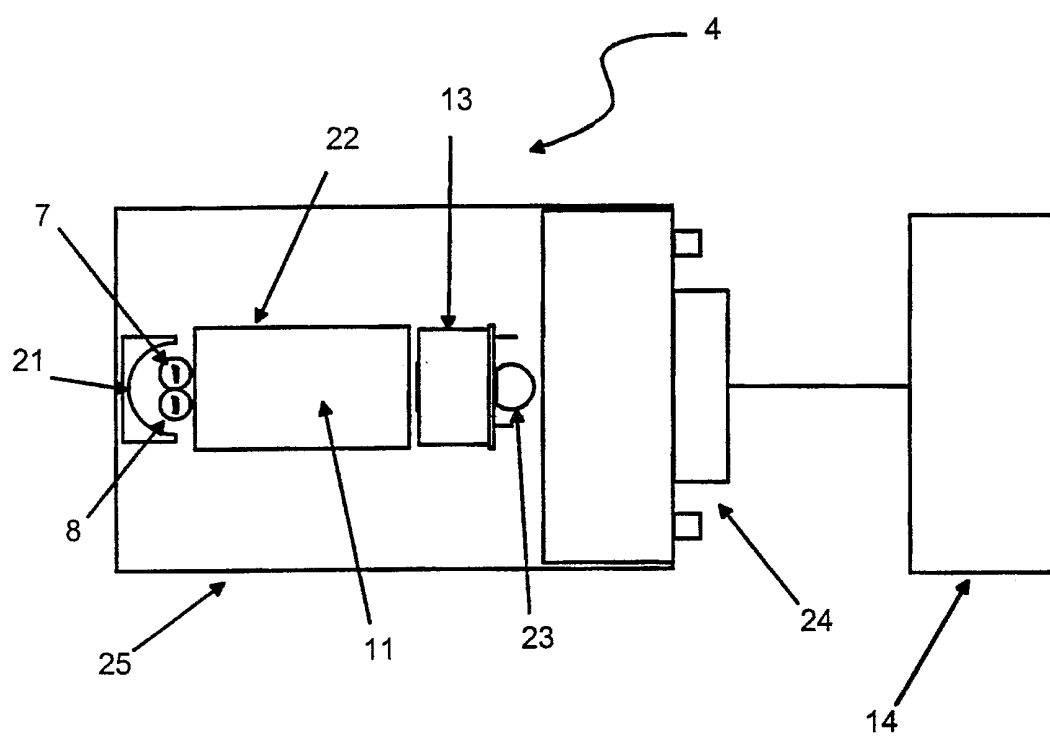


Fig. 5

6/13

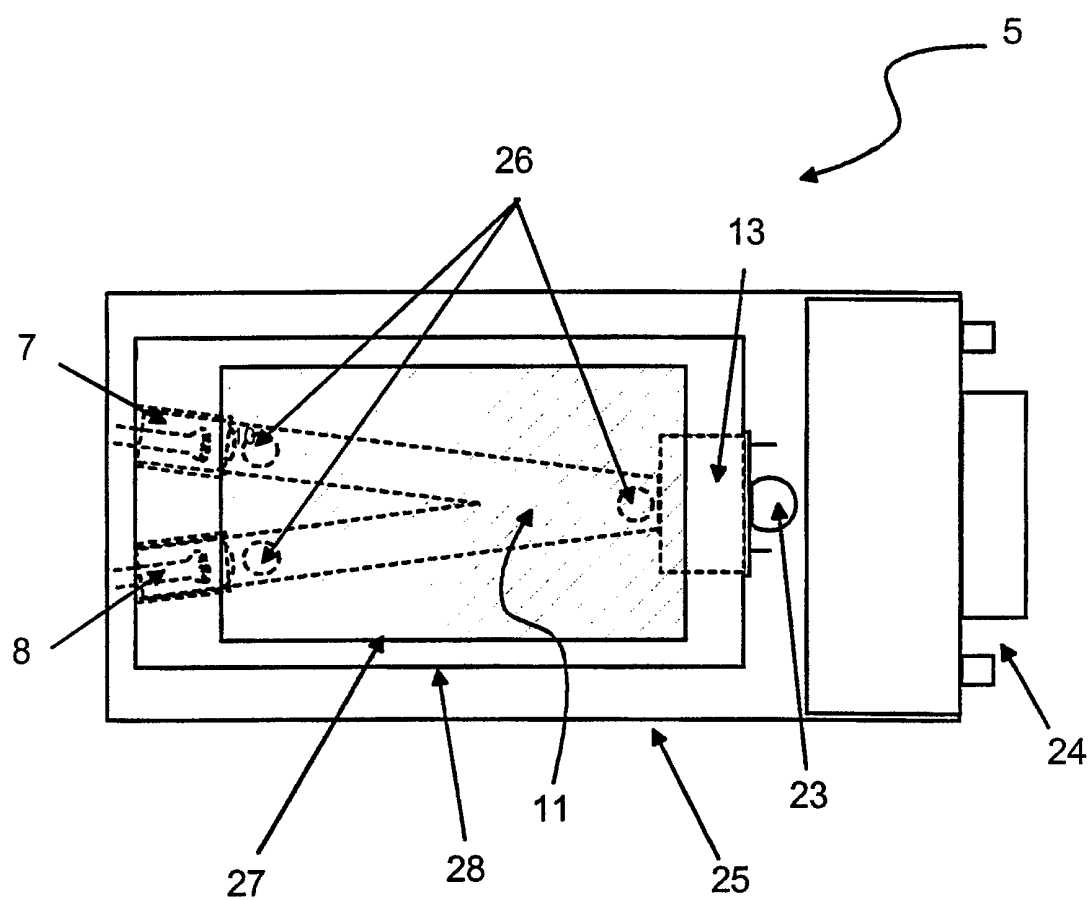


Fig. 6

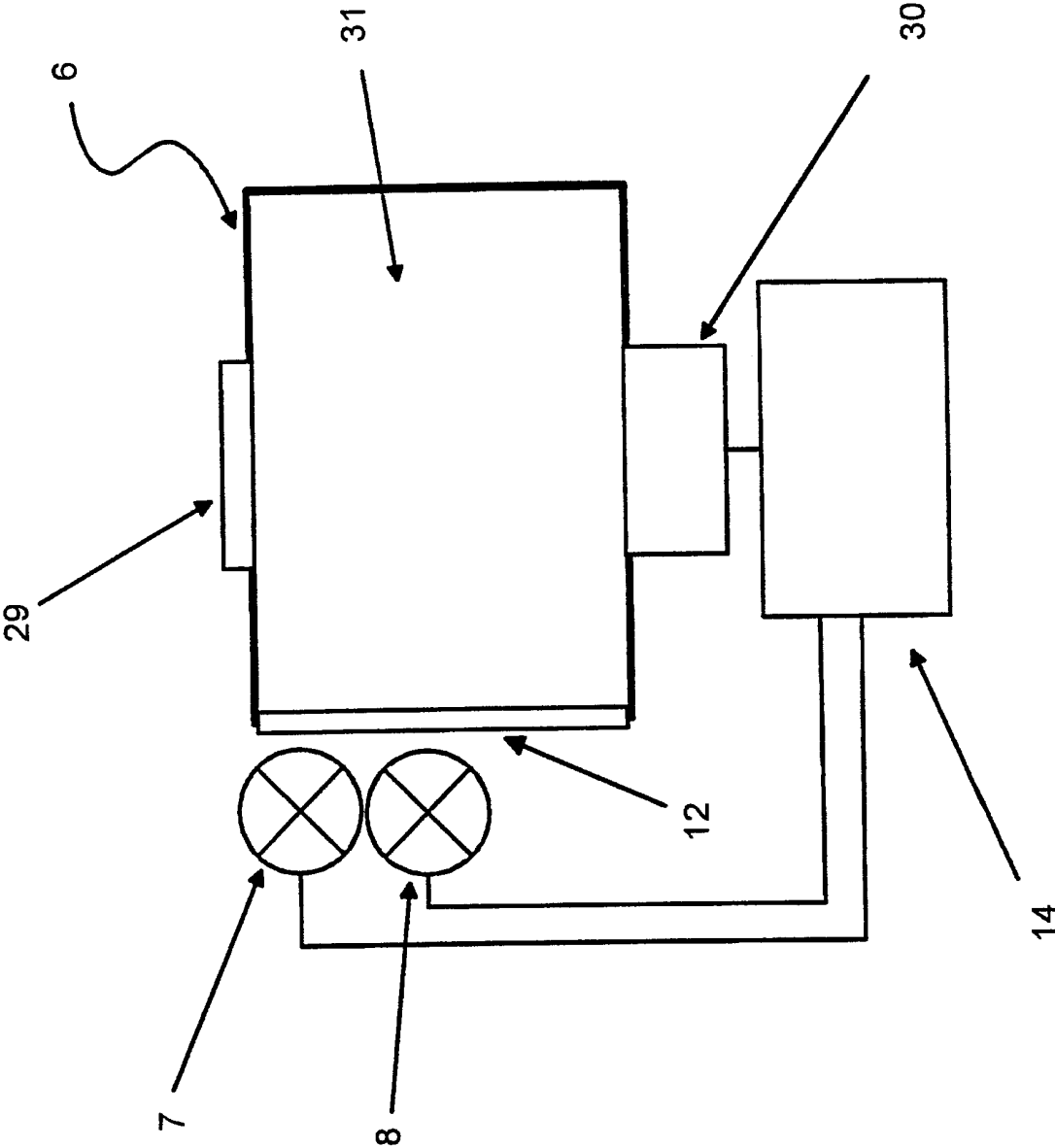


Fig. 7

8/13

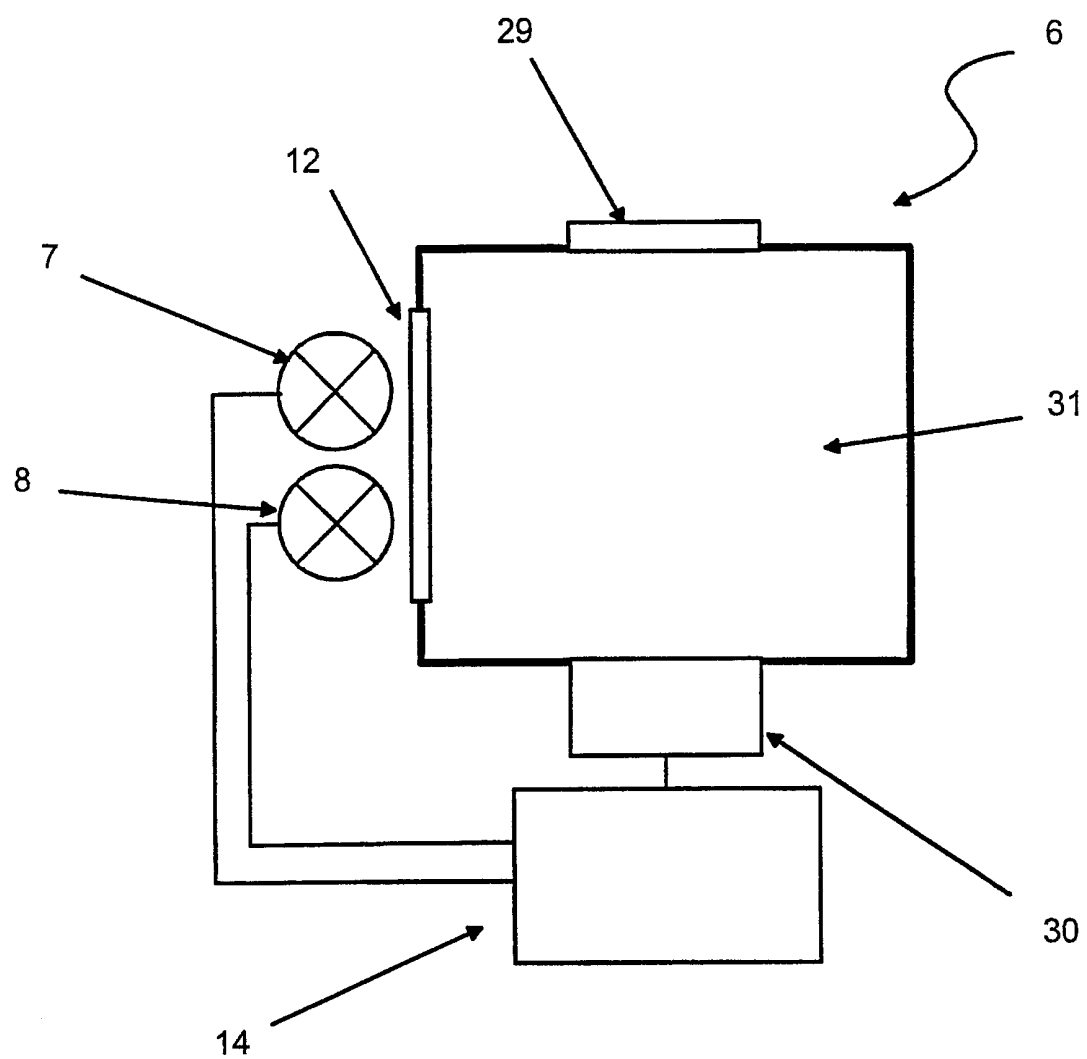


Fig. 8

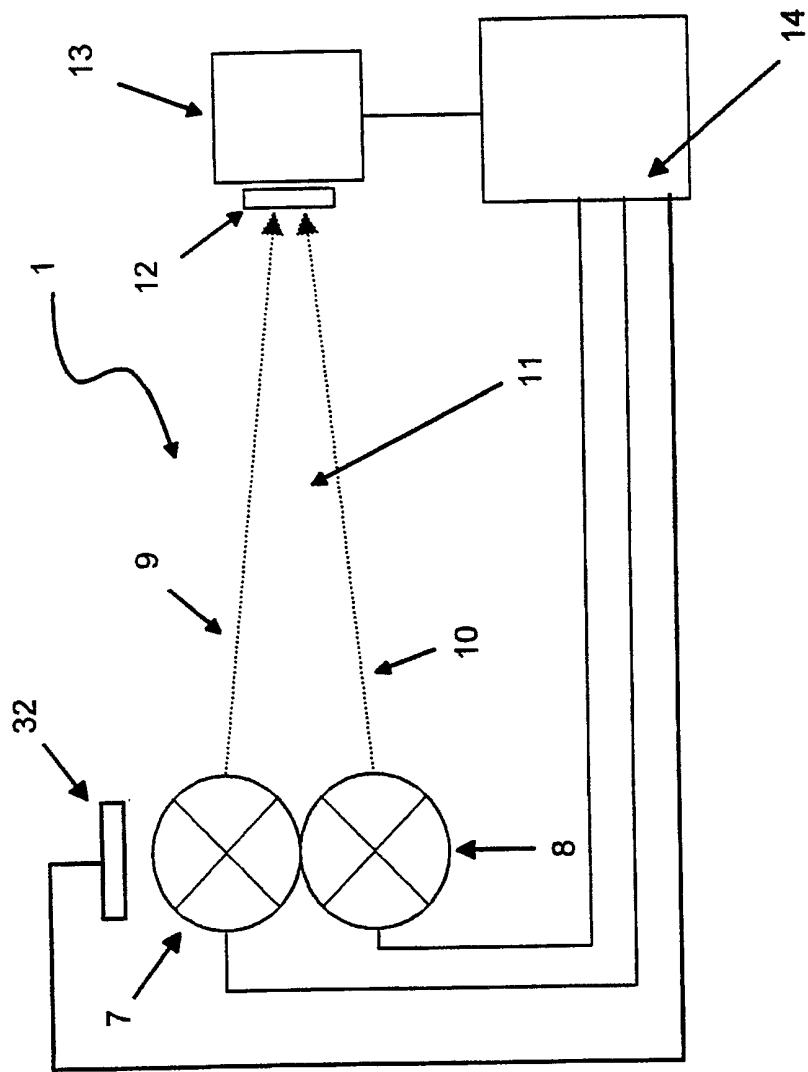


Fig. 9

10/13

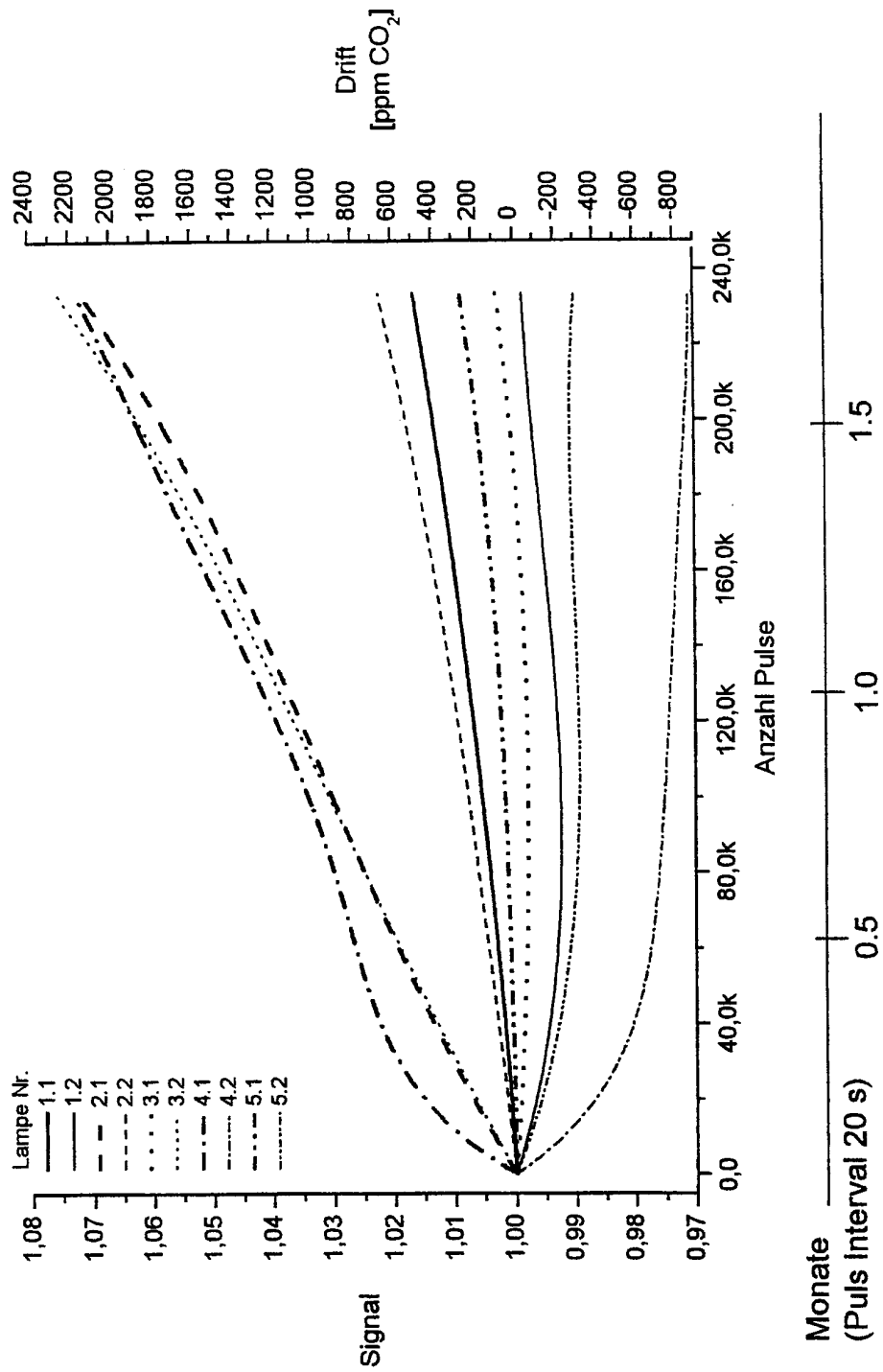


Fig. 10

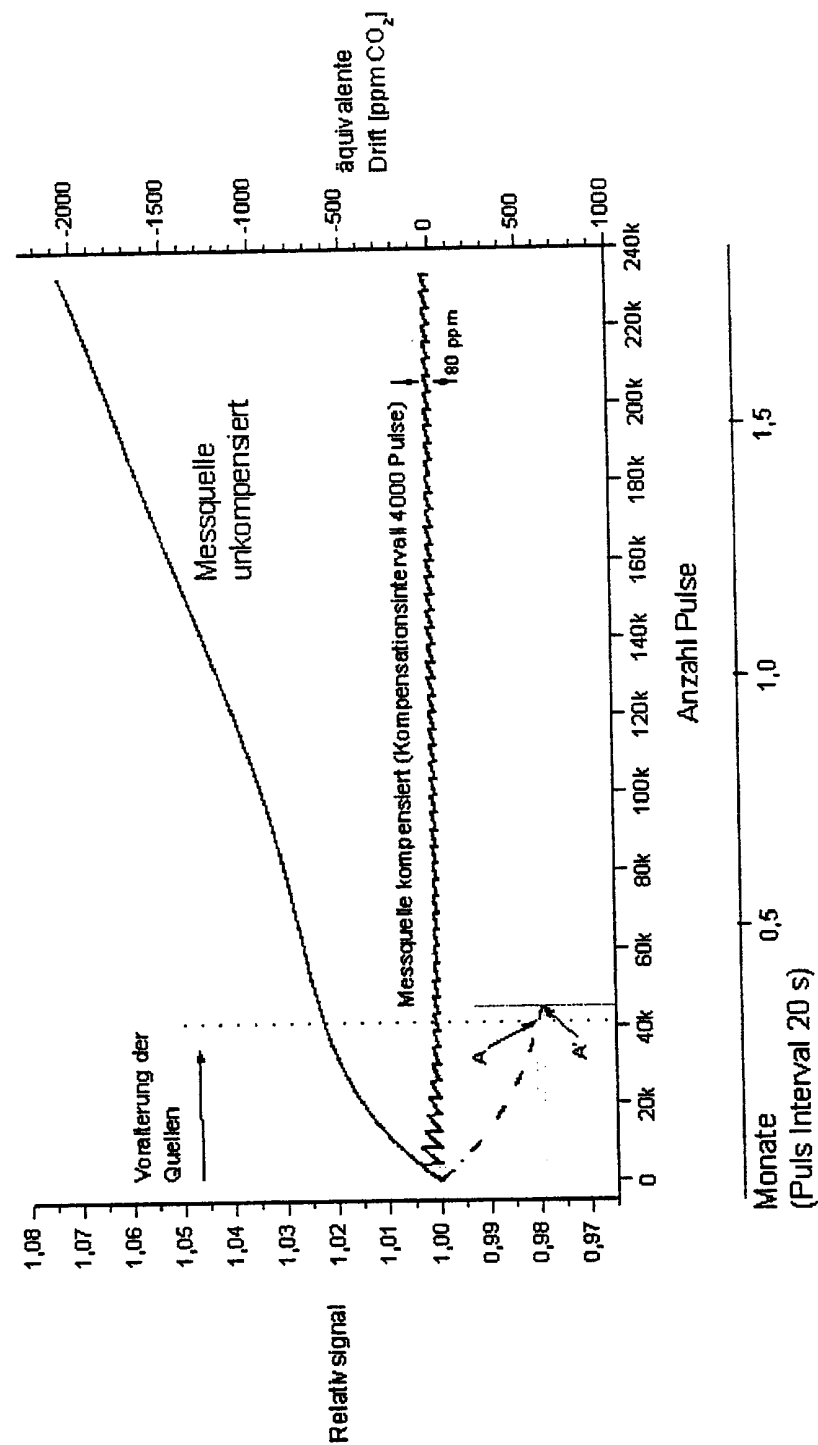


Fig. 11

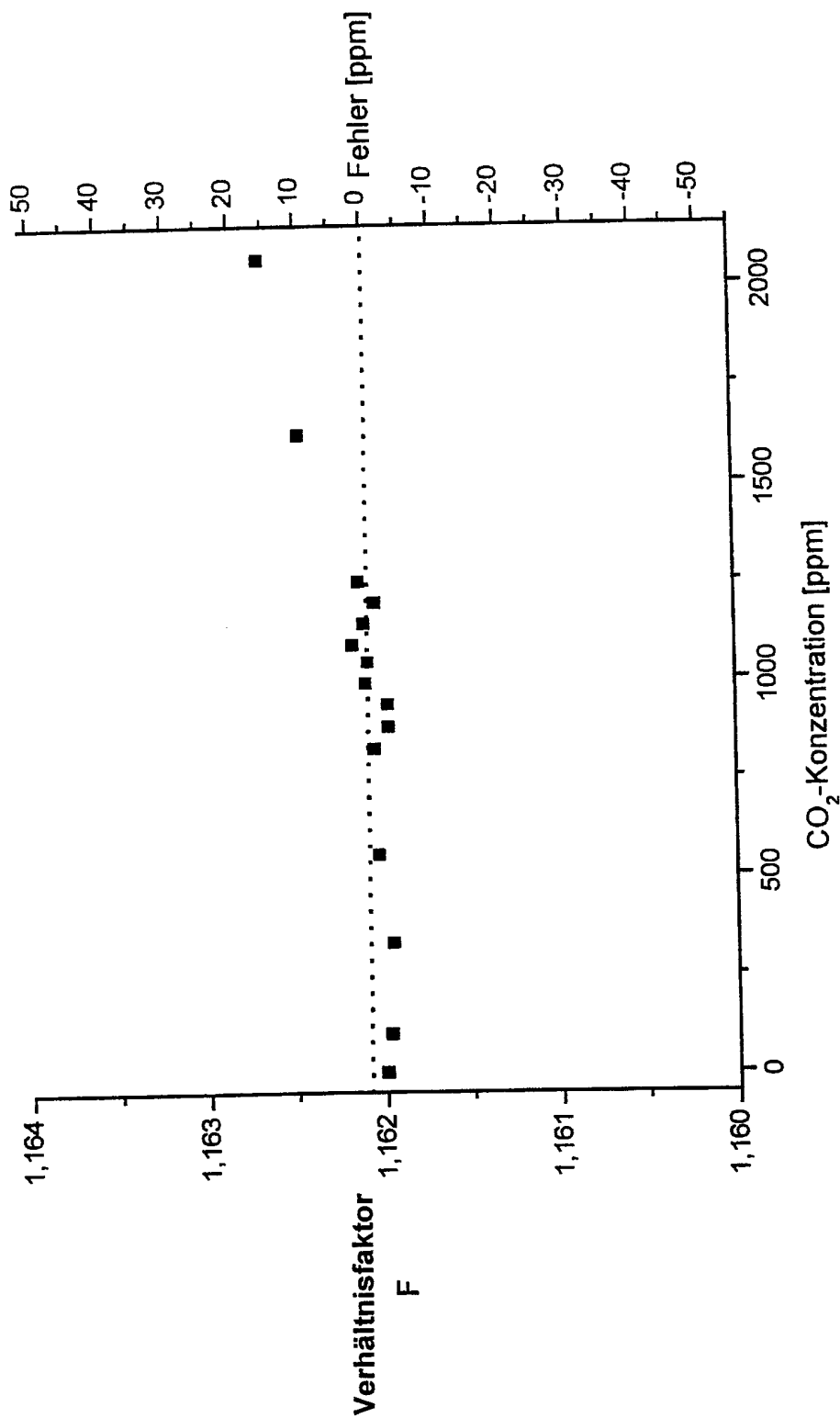


Fig. 12

13/13

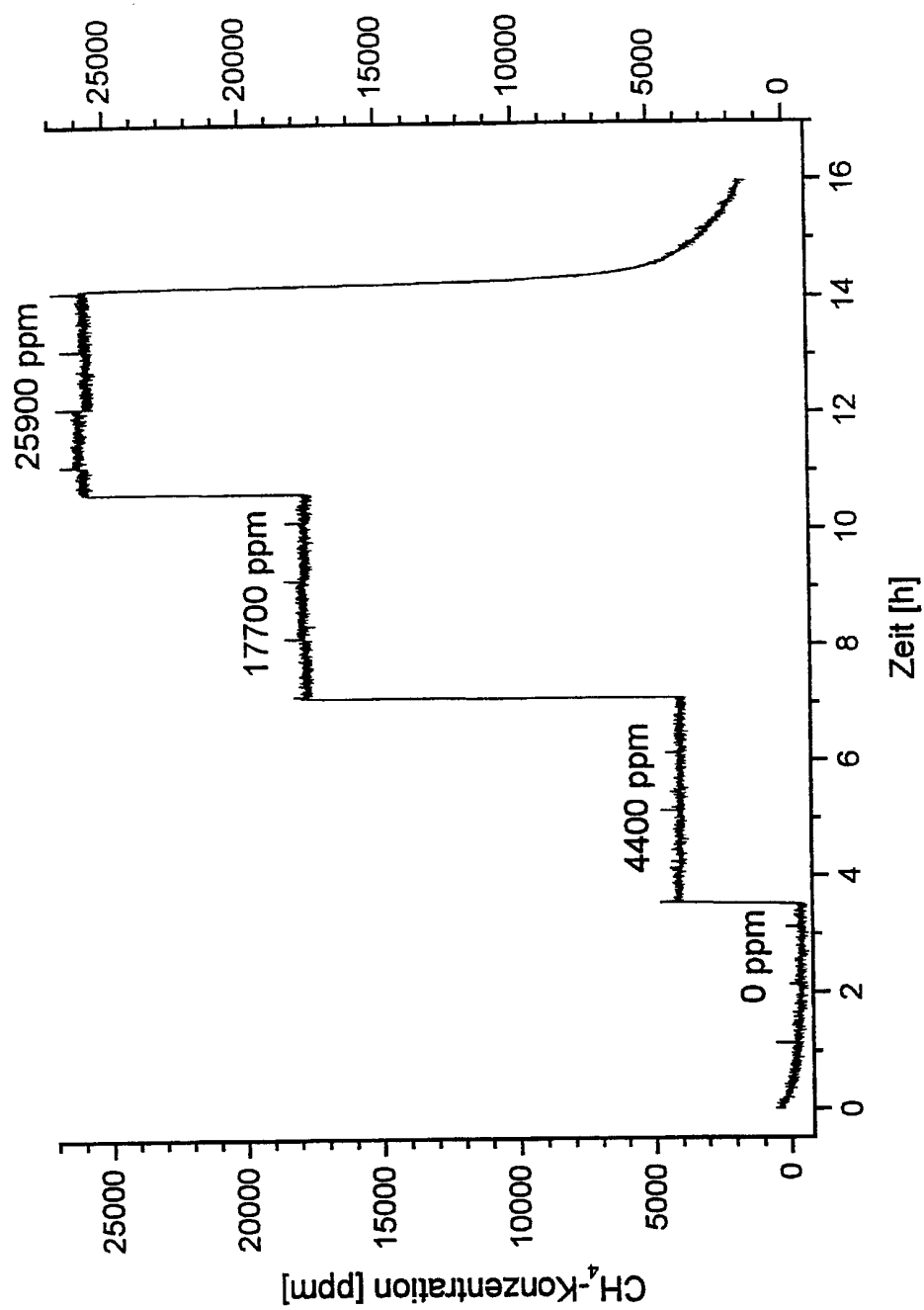


Fig. 13