

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 074**

51 Int. Cl.:

**G01N 33/22** (2006.01)

**G01N 7/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2014 E 14001767 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.04.2017 EP 2806271**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas del gas**

30 Prioridad:

**24.05.2013 EP 13002708**

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

**21.07.2017**

73 Titular/es:

**MEMS AG (100.0%)  
Rebmoosweg 29a  
5200 BRUGG, CH**

72 Inventor/es:

**PRÊTRE, PHILIPPE;  
KEMPE, ANDREAS y  
SUTER, TOBIAS**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 626 074 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas del gas

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas y de variables relevantes para la técnica de la combustión del gas y mezclas de gases. Por propiedades físicas se entienden especialmente la densidad, conductividad térmica, capacidad térmica y viscosidad y las variables relevantes para la técnica de la combustión correlacionadas a partir de ellas, como el contenido de energía, el valor de combustión, el índice de Wobbe, el índice de metano y/o la necesidad de aire del gas o de la mezcla de gases.

10 En las regulaciones de la combustión de gas es importante mantener constante la carga del quemador en el caso de calidad variable del gas de la combustión. El índice correspondiente para la representación de la intercambiabilidad de los gases es el índice de Wobbe, formado por el valor de la combustión y la raíz de la relación de la densidad entre el aire y este gas. Con el mismo índice de Wobbe resulta entonces la misma carga de calor de un quemador.

15 En la regulación de motores de gas (natural), es importante para el incremento de la potencia o bien de la eficiencia el conocimiento del valor de combustión en el caso de calidades variables del gas (natural), para la evaluación del comportamiento de encendido (golpeteo o bien fallo de encendido). En cambio en el caso de gas se utiliza para el índice de octano un índice de metano similar a la gasolina.

20 Para un proceso óptimo de la combustión, es importante la relación de mezcla correcta entre gas de la combustión y aire, la llamada necesidad de aire. En el caso de escasez de aire, se forma normalmente negro de carbón (gases de escape), lo que puede conducir sobre todo en células de combustible a su destrucción. El exceso de aire durante la combustión resulta en un rendimiento menor de la potencia. En este caso, el valor óptimo depende de la aplicación respectiva, pero se modifica de nuevo cuando varía la calidad de gas.

Se conocen a partir de la literatura métodos de correlación para el cálculo de variables relevantes para la técnica de la combustión, ver, por ejemplo, U. Wernekinck, "Gasmessung und Gasabrechnung", Vulkan Verlag, 2009, ISBN 978-3-8027-5620-7. En este caso se utilizan las siguientes combinaciones de variables de medición:

- 25 A. Constante de dielectricidad, velocidad del sonido, contenido de CO<sub>2</sub>  
 B. Velocidad del sonido a 2 presiones, contenido de CO<sub>2</sub>  
 C. Conductividad térmica a 2 temperaturas, velocidad del sonido  
 D. Conductividad térmica, capacidad térmica, viscosidad dinámica  
 E. Conductividad térmica, absorción infrarroja (no dispersiva)  
 30 F. Absorción infrarroja (dispersiva)

35 Existen actualmente pocos aparatos accesibles en el mercado, que están homologados para mediciones del valor de la combustión sujetas a contraste oficial, por ejemplo el aparato EMC500 de RMG-Honeywell (Typus D plus contenido de CO<sub>2</sub>), o el aparato Gas-lab Q1 de Elster-Instromet (Typus E plus contenido de CO<sub>2</sub>). Sin embargo, debido al alto precio de adquisición, ninguno de estos aparatos es adecuado para el mercado al detalle.

40 Los anemómetros de hilo caliente-CMOS integrados posibilitan tanto una medición microtérmica de la conductividad térmica como también una medición del flujo de masas. Con respecto a esta tecnología se remite a D. Matter, B. Kramer, T. Kleiner, B. Sabbattini, T. Suter, "Mikroelektronischer Haushaltsgaszähler mit neuer Technologie", Technisches Messen 71, 3 (2004), Páginas137-146. Se diferencia esencialmente de los medidores de flujo de masas térmicas convencionales por una medición directamente en la corriente y no desde el exterior en un capilar de metal que comprende la corriente de gas.

45 Se conoce a partir del documento EP 2 015 056 A1 un sensor de flujo térmico para la determinación de una variable relevante para la técnica de la combustión, que se basa en una medición de la conductividad térmica con flujo de masas, por decirlo así, conocido. A tal fin, se utiliza una tobera crítica, para mantener constante el flujo de masas, y se trata de corregir la dependencia de los tipos de gases de la tobera crítica por medio de la conductividad térmica. La información sobre la correlación de variables relevantes para la técnica de la combustión está limitada, sin embargo, a dos valores de medición, por decirlo así, independientes, de manera que no es posible una validación de los datos de medición.

50 Se conoce a partir del documento WO 2004/036209 A1 un sensor para la determinación de variables relevantes para la técnica de la combustión, en el que se mantiene constante el flujo de masas y se calcula una variable proporcional a la capacidad térmica por medio de una medición térmica. Puesto que no se trata de un sensor microtérmico, no se puede deducir la conductividad térmica, con lo que la determinación de la capacidad térmica y de las variables derivadas, relevantes para la técnica de la combustión sólo es posible hasta un factor de proporcionalidad, lo que hace necesaria una calibración adicional con composiciones conocidas del gas. Además, se suprime la información sobre la conductividad térmica y, por lo tanto, la posibilidad de la correlación de la conductividad térmica  $\lambda$  con una de las variables relevantes para la técnica de la combustión. Por lo demás, la

exactitud de este método está limitado por las modificaciones que aparecen de la conductividad térmica no A no accesible.

5 Por lo tanto, la invención tiene el cometido de indicar un procedimiento y un dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas de gases y mezclas de gases, con las que se puede conseguir una exactitud más elevada que con los sensores de los documentos de patente descritos anteriormente, siendo posible fabricar el dispositivo de medición a costes más bajos que los aparatos que se pueden adquirir en el comercio, que están homologados para mediciones del valor de la combustión sujetos a contraste oficial.

10 El cometido de solución por medio de un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y por medio de un dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 13.

15 La idea de la invención es la determinación de propiedades físicas del gas sobre la base de una medición de la caída de la presión de un volumen predeterminado de gas a través de una tobera crítica en combinación con un sensor microtérmico, con el que se pueden medir tanto el flujo de paso como también la conductividad térmica. La medición de la caída de la presión y la medición del flujo de paso se pueden validar con respecto a la consistencia, puesto que el sensor microtérmico se impulsa con el mismo flujo de masas, que fluye también a través de la tobera crítica.

20 A partir de los tres valores de medición se pueden calcular otras variables sobre correlaciones.

Medición de la caída de la presión de un volumen predeterminado de gas a través de una tobera crítica:

25 El flujo de masas  $m$  a través de una tobera crítica se da por medio de

$$\dot{m} = C_d \cdot p \cdot A^* \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{M}{T \cdot R_m}}, \quad (1)$$

30 en la que  $C_d$  designa el "Coeficiente de Descarga", es decir, el factor de pérdida de una tobera crítica real frente a una tobera crítica ideal,  $p$  designa la presión previa,  $A^*$  designa la sección transversal de la tobera,  $T$  designa la temperatura previa,  $R_m$  designa la constante universal del gas,  $M$  designa el peso molecular del gas y  $\psi_{\max}$  designa el valor máximo de la función de flujo de salida. Esta última es una función del coeficiente isentropo  $\gamma = c_p/c_v$  (relación de la capacidad térmica isobara con respecto a la capacidad térmica isocora),

$$\psi = \sqrt{\gamma} \cdot \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(1 - \gamma)}}. \quad (2)$$

35 Si a partir de un volumen  $V$  conocido se puede expandir el gas desde una presión alta a través de la tobera crítica (por ejemplo, de 9 a 4 bares), entonces la presión en el volumen en virtud de una ley del gas ideal depende del tiempo  $t$ , como sigue:

$$p(t) = m(t) \cdot \frac{R_m \cdot T}{M \cdot V}. \quad (3)$$

Por lo tanto, la tasa de modificación de la presión da como resultado

$$45 \quad \frac{dp(t)}{dt} = \frac{dm(t)}{dt} \cdot \frac{R_m \cdot T}{M \cdot V} = \dot{m}(t) \cdot \frac{R_m \cdot T}{M \cdot V} \quad (4)$$

50 y junto con la ecuación (1).

$$\begin{aligned} \frac{dp(t)}{dt} &= C_d \cdot p \cdot A^* \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{M}{T \cdot R_m}} \cdot \frac{R_m \cdot T}{M \cdot V} \\ &= C_d \cdot \frac{A^* \cdot \psi_{\max}}{V} \cdot \sqrt{\frac{R_m \cdot T}{M}} \cdot p(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Por lo tanto, si se mide la curva de la presión en función del tiempo, se puede determinar de esta manera la constante de tiempo  $\tau$  de la función exponencial correspondiente, obtenida a través de integración:

$$1/\tau = \frac{C_d \cdot A^* \cdot \psi_{\max}}{V} \cdot \sqrt{\frac{R_m \cdot T}{M}} \quad (6)$$

Si se conoce a través de medición adicionalmente la temperatura  $T$ , a través de la omisión de todas las variables independientes del gas se puede definir un factor de la propiedad del gas

$$\Gamma^* := C_d \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{1}{M}} \quad (7)$$

A la inversa, se puede expandir el gas desde una presión más elevada a través de la tobera crítica en un volumen  $V$  conocido (por ejemplo, desde la presión ambiente hasta vacío), la ecuación (5') para el aumento de la presión en el volumen  $V$  es la siguiente:

$$\begin{aligned} \frac{dp(t)}{dt} &= C_d \cdot p_{\text{Nozzle}} \cdot A^* \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{M}{T \cdot R_m}} \cdot \frac{R_m \cdot T}{M \cdot V} \\ &= C_d \cdot \frac{A^* \cdot \psi_{\max}}{V} \cdot \sqrt{\frac{R_m \cdot T}{M}} \cdot p_{\text{Nozzle}} \end{aligned} \quad (5')$$

en la que en este caso la presión es constante delante de la tobera  $p_{\text{Nozzle}}$ , lo que conduce a una subida de la presión lineal con el tiempo en el volumen  $V$  con

$$\frac{C_d \cdot A^* \cdot \psi_{\max}}{V} \cdot \sqrt{\frac{R_m \cdot T}{M}} \cdot p_{\text{Nozzle}} \quad (6')$$

como constante de proporcionalidad. Si se conoce a través de la medición adicionalmente la temperatura  $T$  y la presión previa de la tobera  $p_{\text{Nozzle}}$ , se puede definir a través de la omisión de todas las variables que no dependen del gas de nuevo el factor de la propiedad del gas

$$\Gamma^* := C_d \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{1}{M}} \quad (7')$$

Medición del flujo de masas por medio de sensor microtérnico:

Para la descripción de la medición microtérnica del flujo de masas se parte de la ecuación de la conducción de calor unidimensional, que describe el sistema microtérnico (Kerson Huang: Statistical Mechanics, 2ª edición, John Wiley & Sons, New York 1987, ISBN 0-471-85913-3):

$$\frac{c_p}{\lambda} \cdot \rho v_x \cdot \frac{d}{dx} T = \nabla^2 T + \frac{1}{\lambda} \Theta, \quad (8)$$

en la que

$v_x$  significa el componente de la velocidad de flujo media (vector de velocidad)  $v$  en dirección- $x$ , es decir, a lo largo de la corriente de gas

$T$  la temperatura.

$\frac{d}{dx}T$

el gradiente de la temperatura,

5  $c_p$  la capacidad térmica del gas a presión constante,

$\rho$  la densidad,

$\lambda$  la conductividad térmica del gas,

$\nabla^2 T$  el operador de Laplace, aplicado a la temperatura  $T$ , en la que significa:

$$\nabla^2 = \left( \frac{d}{dx} \right)^2 + \left( \frac{d}{dy} \right)^2 + \left( \frac{d}{dz} \right)^2 ,$$

10

Puesto que el gas (corriente de gas) sólo fluye en dirección- $x$ , se suponen los componentes  $v_y$  o bien  $v_z$  en dirección- $y$  o bien en dirección- $z$ , respectivamente, de la velocidad de flujo media  $v$  en cero.  $\Theta$  con la unidad watio/m<sup>3</sup> describe el término fuente del elemento calefactor. El término fuente procede en el método microtérmico del alambre calefactor de un anemómetro de alambre caliente integrado miniaturizado, que alimenta energía térmica al sistema. La solución de la ecuación 8, que describe la distribución de la temperatura en el sistema microtérmico, permite determinar, a través de la medición de esta distribución de la temperatura, el factor  $S$ ,

15

$$S := \frac{c_p}{\lambda} \cdot \rho \cdot v_x = \frac{c_p}{\lambda} \cdot \frac{\dot{m}}{A} , \quad (9)$$

20

en la que  $A$  designa la sección transversal del canal de flujo sobre el sensor microtérmico. En combinación con la tobera térmica, es decir, a través de la disposición del sensor microtérmico después de la tobera crítica, se da el flujo de masas, pero a través de la ecuación (1), por lo que

25

$$\frac{c_p}{\lambda} \cdot \rho \cdot v_x = \frac{c_p}{\lambda} \cdot C_d \cdot p \cdot \frac{A^*}{A} \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{M}{T \cdot R_m}} . \quad (10)$$

Con la medición de la presión  $p$  y de la temperatura  $T$  y de nuevo a través de la omisión de todas las variables independientes del gas, se obtiene un segundo factor de la propiedad del gas

30

$$\Gamma = \frac{c_p}{\lambda} \cdot C_d \cdot \psi_{\max} \cdot \sqrt{M} . \quad (11)$$

La omisión de todas las variables independientes del gas en las ecuaciones (7) y (11) se realiza implícitamente, cuando se colocan  $\Gamma$  y  $\Gamma^*$  en la relación  $\Gamma$  und  $\Gamma^*$  de un gas (de calibración) conocido. Ver también la figura 4.

35 Medición de la conductividad térmica por medio de sensor microtérmico:

Se ha observado que la conductividad térmica  $\lambda$  debido a la fuente térmica  $\Theta$  repercute adicionalmente por separado sobre la solución de la ecuación (8). A la inversa, se puede determinar la conductividad térmica cuando el sensor microtérmico se mide sin flujo de masas impulsado ( $v_x = 0$  o bien  $m = 0$ ). La ecuación diferencial correspondiente para la distribución de la temperatura dice entonces simplemente

40

$$\nabla^2 T = -\frac{1}{\lambda} \Theta . \quad (12)$$

45 Validación de los factores de la propiedad del gas  $\Gamma$  o bien  $\Gamma^*$ :

La relación de los dos factores de la propiedad del gas  $\Gamma$  o bien  $\Gamma^*$  da como resultado:

$$\frac{\Gamma}{\Gamma^*} = \frac{c_p}{\lambda} \cdot M \propto \frac{c_p}{\lambda} \cdot \rho_{norm} , \quad (13)$$

5 puesto que el peso molecular, debido al volumen molar prácticamente idéntico para la mayoría de los gases, es proporcional a la densidad normalizada (densidad en condiciones normalizadas 1013,25 mbar y 273,15 K). De esta manera, a partir del factor S medido por medio del sensor microtérmico en la ecuación (9) se puede extraer la velocidad de flujo  $v_x$  y junto con la sección transversal del canal de flujo A el flujo del volumen normalizado  $\phi_{norm} = v_x \cdot A$ . La integración de este flujo del volumen sobre el tiempo, es decir, en el intervalo  $t_2-t_1$ , debería coincidir entonces con el volumen de gas descargado, calculado a partir de los valores correspondientes de la presión y de la temperatura.

$$\int_{t_1}^{t_2} \phi_{norm}(t) dt = \frac{(p(t_2) - p(t_1))}{1013.25 \text{ mbar}} \cdot \frac{273.15 \text{ K}}{T} \cdot V . \quad (14)$$

10 Si los dos valores no coinciden, según qué variable se pueda medir con menor exactitud, se puede corregir el flujo del volumen normalizado o la señal de la presión hasta que se cumpla la ecuación (14). En el caso de una corrección del flujo del volumen normalizado para  $v_x = \phi_{norm} / A$ , el lado derecho de la ecuación (13) experimenta a través del factor S medido en la ecuación (9) de la misma manera una corrección y, por lo tanto, también el factor de la propiedad del gas  $\Gamma$  de nuevo a través de la ecuación (13). En el caso de una corrección de la señal de la presión, sigue una constante de tiempo  $\tau$  corregida en la ecuación (6) o bien una constante de proporcionalidad corregida en la ecuación (6') y, por lo tanto, una corrección del factor de la propiedad del gas  $\Gamma^*$  en las ecuaciones (7) o bien (7'). De esta manera, se han determinado  $\Gamma$  y  $\Gamma^*$  de forma consistentes, puesto que el flujo de masas a través de la tobera es el mismo que el flujo de masas, con el que se impulsa el sensor microtérmico.

Correlación de variables relevantes para la técnica de la combustión:

15 Con las mediciones de los factores de la propiedad del gas  $\Gamma$  y  $\Gamma^*$  así como de la conductividad térmica  $\lambda$  están disponibles tres variables de medición independientes, con las que se pueden correlacionar ahora variables Q relevantes para la técnica de la combustión por medio de una función  $f_{corr}$ .

$$Q_{corr} = f_{corr}(\Gamma, \Gamma^*, \lambda) . \quad (15)$$

30 Por ejemplo, para la correlación de la relación de la densidad  $\rho_{corr} / \rho_{ref}$  a 0°C y 1013,25 mbar resulta la siguiente función de correlación:

$$\frac{\rho_{corr}}{\rho_{ref}} = f_{corr}(\Gamma, \Gamma^*, \lambda) = \Gamma^r \cdot \Gamma^{*s} \cdot \lambda^t \quad (16)$$

35 con exponentes  $r = -0.2$ ,  $s = -1.8$  y  $t = -0.2$  y un gas natural-H típico como referencia.

Procedimiento y dispositivo de medición según la presente invención

40 En el procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas y de una mezcla de gases de acuerdo con la presente invención:

- el gas o la mezcla de gases fluye desde un depósito de gas a través de una tobera crítica y a través de un sensor microtérmico, en el que la tobera crítica y el sensor microtérmico son impulsados con el mismo flujo de masas;

- en el que la caída de la presión en el depósito de gas se mide como función del tiempo;

45 - a partir de los valores de medición de la caída de la presión se determina un primer factor de propiedad del  $\Gamma^*$  que depende de las propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el primer factor de propiedad del gas de deriva, por ejemplo, a partir de la constante de tiempo de la caída de la presión;

- a partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico se determina un segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$ , que depende de un segundo grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene, por ejemplo, la capacidad térmica  $c_p$  del gas o de la mezcla de gases o depende de la misma;

50 - con la ayuda del sensor microtérmico se determina la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases; y

- a partir del primero y del segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  y de la conductividad térmica  $\lambda$  por

medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión buscada.

5 De manera más ventajosa, se parte de una caída exponencial de la presión medida y el primer factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  se deriva a partir de la constante de tiempo de la caída de la presión, en el que el primer factor de propiedad del gas se forma midiendo, por ejemplo, adicionalmente, la temperatura T y omitiendo todas las variables dependientes del gas.

10 El segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ) contiene típicamente el cociente de la capacidad térmica  $c_p$  dividido por la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases o depende del mismo, en el que el segundo factor de propiedad de las se forma midiendo, por ejemplo la temperatura T y omitiendo todas las variables dependientes del gas.

15 En una forma de realización ventajosa del procedimiento se validan los factores de propiedad del gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  a través de la comparación de los valores para el volumen total de la corriente de gas o de la mezcla de gases de salida, midiendo la presión y la temperatura en el depósito de gas al comienzo y al final de la medición de la caída de la presión y determinando el volumen normalizado saliente conociendo el volumen del depósito de gas, sumando el flujo de paso normalizado medido por medio del sensor microtérmico sobre el intervalo de tiempo entre el comienzo y el final de la medición de la caída de la presión, comparando el volumen normalizado saliente con el flujo de paspo normalizado sumado, y en caso de desigualdad o bien se corrige el primer factor y/o el segundo factor de propiedad de gas, por ejemplo a través de corrección de la señal de la presión o del valor del flujo del volumen normalizado del sensor microtérmico.

25 La forma de realización descrita anteriormente del procedimiento se puede utilizar para la calibración de la señal del flujo de paso del sensor microtérmico, calibrando la señal del flujo del sensor microtérmico para un gas o mezcla de gases de calibración determinados, determinando la relación  $\Gamma / \Gamma^*$  del segundo factor de propiedad del gas determinado a partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico para un gas o mezcla de gases determinados, y comparando los valores de los volúmenes normalizados a partir de la medición de la caída de la presión y del flujo de paso normalizado sumado del sensor microtérmico y utilizándolos para corregir la relación del segundo con respecto al primer factor de propiedad del gas y adaptando el valor para el segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$ .

35 En otra forma de realización ventajosa del procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases:

- el gas o la mezcla de gases fluye bajo presión a través de una tobera crítica y a través de un sensor microtérmico hasta el depósito de gas, en el que la tobera crítica y el sensor microtérmico son impulsados con el mismo flujo de masas;
- en el que el aumento de la presión en el depósito de gas se mide como función del tiempo
- 40 - a partir de los valores de medición del aumento de la presión se determina un primer factor de propiedad del  $\Gamma^*$  que depende de las propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases;
- a partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico se determina un segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$ , que depende de un segundo grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene, por ejemplo, la capacidad térmica  $c_p$  del gas o de la mezcla de gases o depende de la misma;
- 45 - con la ayuda del sensor microtérmico se determina la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases; y
- a partir del primero y del segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  y de la conductividad térmica  $\lambda$  por medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión buscada.

50 De manera más ventajosa, se parte de un aumento lineal de la presión medida y se deriva el primer factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  a partir de la constante de proporcionalidad del aumento de la presión, de manera que se forma el primer factor de propiedad del gas midiendo, por ejemplo, adicionalmente la temperatura T y la presión delante de la tobera  $p_{Nozzle}$  y omitiendo todas las variables que no dependen del gas.

55 El segundo factor de propiedad  $\Gamma$  contiene típicamente el cociente de la cociente de la capacidad térmica  $c_p$  dividida por la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases o depende del mismo, en el que el segundo factor de propiedad del gas se forma midiendo adicionalmente la temperatura y omitiendo todas las variables que no dependen del gas.

60 En otra forma de realización ventajosa del procedimiento se validan los factores de propiedad del gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  a través de la comparación de los valores para el volumen de gas o de la mezcla de gases que fluyen al depósito de gas, midiendo la presión y la temperatura en el depósito de gas al comienzo y al final de la medición del aumento de la

presión, y determinando el volumen normalizado de fluye al depósito de gas con el volumen conocido del depósito de gas, sumando el caudal normalizado medido por medio del sensor microtérmico sobre el intervalo de tiempo entre el comienzo y el final de la medición del aumento de la presión, comparando el volumen normalizado que fluye al depósito de gas con el caudal normalizado sumado y en el caso de desigualdad, o bien se corrige el primer factor y/o el segundo factor de propiedad de gas, por ejemplo a través de corrección de la señal de la presión o del valor del flujo del volumen normalizado del sensor microtérmico.

La forma de realización que se acaba de describir del procedimiento se puede utilizar para la calibración de la señal del flujo de paso del sensor microtérmico, calibrando la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinados, determinado la relación  $\Gamma / \Gamma^*$  del segundo factor de propiedad del gas determinado a partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico con respecto al primer factor de propiedad del gas para un gas determinado o mezcla de gases determinada, y comparando los valores de los volúmenes normalizados a partir de la medición del aumento de la presión y del flujo de paso normalizado sumado a través del sensor microtérmico y utilizándolos para corregir la relación del segundo con respecto al primer factor de propiedad del gas y para adaptar el valor para el segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$ .

La propiedad física buscada puede ser, por ejemplo, la densidad o la conductividad térmica o la capacidad térmica o la viscosidad del gas o de la mezcla de gases, y la variable relevante para la técnica de la combustión puede ser, por ejemplo, el contenido de energía o el valor de la combustión o el índice Wobbe o el índice de metano o la necesidad de aire del gas o de la mezcla de gases.

La propiedad física buscada o variable  $Q$  relevante para la técnica de la combustión se calcula de manera más ventajosa por medio de una función de correlación  $Q = f_{corr}(\Gamma, \Gamma^*, \lambda) = const \cdot \Gamma^r \cdot \Gamma^{*s} \cdot \lambda^t$ , siendo  $r$ ,  $s$  y  $t$  exponentes y  $const$  una constante.

La presión en el depósito del gas al comienzo de la medición de la caída de la presión es típicamente mayor que la presión crítica  $p_{krit}$  de la tobera crítica y la presión exterior después de la tobera crítica es menor que la mitad de la presión crítica o la presión en el depósito del gas al comienzo de la medición del aumento de la presión es típicamente menor que la mitad de la presión crítica  $p_{krit}$  de la tobera crítica y la presión delante de la tobera crítica es mayor que la presión crítica.

Independientemente de la forma de realización y de la variante de realización, el depósito de gas está separado típicamente del suministro de gas durante la medición. El volumen del depósito de gas se selecciona de manera más ventajosa de tal forma que la presión en el depósito de gas se reduce o se incrementa claramente hasta el final de la medición, por ejemplo al menos una décima o un quinto de la presión original.

El dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases de acuerdo con la presente invención contiene una unidad de evaluación, que está instalada para la realización de un procedimiento según una de las formas de realización descritas anteriormente, así como un depósito de gas, que está provisto con un sensor de presión, una tobera crítica y un sensor microtérmico para la medición del flujo de paso y de la conductividad térmica, en el que el depósito de gas está conectado para la medición con la tobera crítica y el sensor microtérmico.

Además, la invención comprende también la utilización de un depósito de gas y de una tobera crítica para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases, en el que el gas o la mezcla de gases fluye bajo presión desde el depósito de gas a través de la tobera crítica, en el que la caída de la presión en el depósito del gas se mide como función del tiempo, a partir de los valores de medición de la caída de la presión se determina un factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  dependiente de las propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, que se deriva, por ejemplo, de la constante de tiempo de la caída de la presión y a partir del factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  por medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o variable relevante para la técnica de la combustión.

En otra forma de realización ventajosa, se genera una presión negativa en el depósito de gas, y el gas o la mezcla de gas fluyen bajo presión a través de la tobera crítica hasta el depósito de gas, midiendo aumento de la presión en el depósito de gas como función del tiempo y determinando a partir de los valores de medición del aumento de la presión un factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  dependiente de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gas, a partir del cual se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión buscada.

La utilización descrita anteriormente de un depósito de gas y de una tobera crítica para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gas o bien el procedimiento correspondiente, en el que se utilizan un depósito del gas y una tobera crítica para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de

una mezcla de gases, se puede considerar también como invención autónoma, que puede comprender un dispositivo de medición con unidad de evaluación, depósito de gas y tobera crítica, estando instalada la unidad de evaluación para la utilización del depósito de gas y de la tobera crítica para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases o bien para la realización del procedimiento correspondiente.

Adicionalmente, la invención comprende la utilización de un depósito de gas y de un sensor microtérmico calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinados para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases, en el que el gas o la mezcla de gases circulan bajo presión desde el depósito de gas sobre el sensor microtérmico, en el que se suma el flujo volumétrico  $v'_x \cdot A$  determinado con el sensor microtérmico calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinados y se compara con el volumen de gas que sale desde el depósito de gas, a partir de la comparación de los dos volúmenes se determina un factor de propiedad del gas  $S / v'_x$  dependiente de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que  $v'_x$  designa la velocidad del flujo determinada a partir del volumen de gas de salida, y a partir del factor de propiedad del gas, que se puede dar, por ejemplo, a través de  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  (ver la ecuación (9)) por medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión buscada.

En otra forma de realización ventajosa, se genera una presión negativa en el depósito de gas y el gas o la mezcla de gas fluye bajo presión sobre un sensor microtérmico hasta el depósito de gas, de manera que se suma el flujo volumétrico  $v'_x \cdot A$  determinado con el sensor microtérmico calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinados y se compara con el volumen de gas que fluye al depósito de gas, a partir de la comparación de los dos volúmenes se determina un factor de propiedad del gas  $S / v'_x$  y a partir del factor de propiedad del gas, que se puede dar, por ejemplo a través de  $S / v'_x = v'_x$ , (ver la ecuación (9)), por medio de correlación de calcula una propiedad física buscada o variable relevante para la técnica de la combustión.

En otra variante de realización ventajosa, se genera el flujo de gas a través del desplazamiento de un pistón.

La utilización descrita anteriormente de un depósito de gas y de sensor microtérmico, calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinados para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases o bien el procedimiento correspondiente, en el que se utilizan un depósito de gas y un sensor microtérmico calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración, se puede considerar también como invención inventiva, que puede comprender adicionalmente un dispositivo de medición con unidad de evaluación, depósito de gas y sensor microtérmico, en el que la unidad de evaluación está instalada para la utilización del depósito de gas y del sensor microtérmico para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases o bien para la realización de un procedimiento correspondiente.

El procedimiento y el dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases de acuerdo con la presente invención tienen la ventaja de que para la correlación de variables relevantes para la técnica de la combustión están disponibles tres valores de medición independiente. Esto permite, por una parte, una exactitud comparativamente alta en la determinación de variables relevantes para la técnica de la combustión, que sólo se puede conseguir en otro caso con aparatos esencialmente más caros y, posibilita, por otra parte, validar las mediciones y corregir posibles desviaciones.

Otras ventajas se deducen a partir de la descripción siguiente.

A continuación se explica en detalle la invención con la ayuda de los dibujos. En este caso:

La figura 1a muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención (variante de alta presión).

La figura 1b muestra una variante de realización del ejemplo de realización mostrado en la figura 1a.

La figura 2 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención (variante de baja presión).

La figura 3 muestra un ejemplo de realización de un sensor microtérmico para la utilización en un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención, y

La figura 4 muestra una representación gráfica de la relación de densidad medida (eje-y) en función de la relación de densidad correlacionada (eje-x) para diferentes grupos de condiciones normalizadas (0°C, 1013,25 mbares).

La figura 5a muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención (variante de alta presión).

La figura 5b muestra una variante de realización del ejemplo de realización mostrado en la figura 5a.

La figura 6 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención (variante de baja presión).

La figura 7 muestra una representación gráfica de la porción de metano medida directamente (eje-y) en función de la porción de metano correlacionada (eje-x) para un biogas bruto binario (metano y dióxido de carbono).

La figura 8a muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con una tercera forma de realización de la invención con depósito de gas y sensor microtérnico (variante de alta presión).

La figura 8b muestra una variante de realización del ejemplo de realización mostrado en la figura 8a.

La figura 9 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con una tercera forma de realización de la invención con depósito de gas y sensor microtérnico (variante de baja presión).

La figura 10 muestra una representación gráfica de la clasificación de mezclas de gas natural con la ayuda de la difusividad térmica (eje-y) con el conocimiento simultáneo de la conductividad térmica  $\lambda$  (eje-x).

La figura 1a muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención, en el caso de que el conducto principal de gas 1 presente una presión, que es más alta que la presión crítica para la tobera crítica 6 del dispositivo de medición (variante de alta presión). En el ejemplo de realización, el dispositivo de medición comprende adicionalmente a la tobera crítica 6 una unidad de evaluación 11, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención, un depósito de gas 4, que está provisto con un sensor de presión 8, y un sensor microtérnico 7 para la medición del caudal de paso y de la conductividad térmica, en el que el depósito de gas 4 está conectado para la medición con la tobera crítica 6 y con el sensor microtérnico 7.

En caso necesario, el dispositivo de medición puede contener adicionalmente uno o varios de los siguientes componentes: un conducto de medición 2, que conduce hacia el depósito de gas, y que puede estar conectado en el funcionamiento con un conducto principal del gas, una válvula de entrada 3, que puede estar dispuesta en el conducto de medición 2, para controlar la alimentación de gas hacia el depósito de gas, una válvula de salida 5, que está dispuesta en el lado de salida del depósito de gas, para controlar el flujo de gas desde el depósito de gas, una salida 10, para descargar el gas que fluye desde el dispositivo de medición, un sensor de presión adicional 8', que puede estar dispuesto en la salida 10, un sensor de temperatura 9, que está dispuesto en el depósito de gas, y un compresor 12, que puede estar dispuesto en el lado de entrada del depósito de gas 4 y para elevar la presión en el depósito de gas.

Un ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases de acuerdo con la presente invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 1a. En el procedimiento, el gas o la mezcla de gases fluye desde el depósito de gas 4 a través de la tobera crítica 6 y a través del sensor microtérnico 7, de manera que la tobera crítica y el sensor microtérnico son impulsados con el mismo flujo de masas. La caída de la presión en el depósito de gas 4 se mide como función del tiempo y a partir de los valores de medición de la caída de la presión se determina un primer factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  dependiente de un primer grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el primer factor de propiedad del gas se deriva, por ejemplo, a partir de una constante de tiempo de la caída de la presión. A partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérnico 7 se determina un segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$  dependiente de un segundo grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene, por ejemplo, la capacidad térmica  $c_p$  del gas o de la mezcla de gases o depende de la misma. Además, con la ayuda del sensor microtérnico 7 se determina la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases y a partir del primero y/o segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  y de la conductividad térmica  $\lambda$  por medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión.

Otras formas y variantes de realización ventajosas del procedimiento se encuentran en las secciones precedentes de la descripción. La descripción siguiente contiene detalles adicionales sobre el procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario.

De manera más ventajosa, se abren en primer lugar la válvula de entrada 3 y la válvula de salida 5, para dejar fluir el

gas a medir o la mezcla de gas a medir también del conducto de gas principal 1 sobre el conducto de medición 2 a través del dispositivo de medición, con lo que se puede asegurar que en el dispositivo de medición no se encuentre ya ningún gas extraño de la última medición. La válvula de entrada y la válvula de salida se pueden abrir a través de una unidad de control. Dado el caso, también la unidad de evaluación 11, como se muestra en la figura 1a, puede asumir el control de la válvula de entrada y de la válvula de salida. Entonces se cierra la válvula de salida 5 y se llena el depósito de gas 4, cuyo contenido volumétrico  $V$  se conoce, hasta que se cierra la válvula de entrada 3. La presión  $p$  y la temperatura  $T$  en el depósito de gas se pueden medir con el sensor de presión 8 y con el sensor de temperatura 9, respectivamente, de manera que en cualquier momento se puede deducir el volumen normalizado  $V_{norm}$  del gas o de la mezcla de gases que se encuentran en el depósito de gas 4.

$$V_{norm} = \frac{p}{1013.25 \text{ mbar}} \cdot \frac{273.15 \text{ K}}{T} \cdot V \quad (17)$$

Si la presión  $p$  en el depósito de gas 4 es mayor que la presión  $p_{krit}$ , que se necesita para que se pueda accionar la tobera 6 de forma crítica, se puede abrir de nuevo la válvula de salida 5. Con preferencia, la presión  $p$  en el depósito de gas es varios bares más alta que  $p_{krit}$ , de manera que la medición de la caída de la presión se puede realizar sobre esta zona de la sobre-elevación de la presión, sin que se accione la tobera 6 ya críticamente. Ahora se cierra de nuevo la válvula de salida 5, con lo que se termina la medición de la caída de la presión. El sensor de presión 8 está diseñado con preferencia como sensor de la presión diferencial frente a la salida 10 del dispositivo de medición. No obstante, también es posible prever un sensor de presión adicional 8' en la salida.

Durante la medición de la caída de la presión, se ha medido la presión  $p(t)$  dependiente del tiempo y la temperatura  $T(t)$  dependiente del tiempo en el depósito de presión 4 y se ha registrado por la unidad de evaluación 11. Con estos datos se determina en la unidad de evaluación la constante de tiempo  $\tau$  en la ecuación (6) o bien el factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  en la ecuación (7). Al mismo tiempo se han medido con el sensor microtérmico 7 datos de caudal de flujo, que ha registrado de nuevo la unidad de evaluación, para determinar el factor  $S$  en la ecuación (9) o bien el factor de propiedad del gas  $\Gamma$  en la ecuación (11). La válvula de entrada y la válvula de salida están cerradas después de la medición de la caída de la presión, no fluye ya gas a través del sensor microtérmico 7. Ahora se puede realizar la medición de la conductividad térmica  $\lambda$ . De nuevo se registra por la unidad de evaluación, se determina la conductividad térmica  $\lambda$  con la ayuda de la solución de la ecuación (12).

En la unidad de evaluación 11 se realiza ahora la validación (facultativa del factor de propiedad del gas  $\Gamma$  y  $\Gamma^*$ , respectivamente y a continuación, de acuerdo con la variable  $Q$  deseada relevante para la técnica de la combustión, se realiza su cálculo con la ayuda de la ecuación (15) con la función de correlación  $Q_{corr} = f_{corr}(\Gamma, \Gamma^*, \lambda)$  calculada anteriormente.

En caso necesario, además, como se muestra en la figura 1b, se puede prever un compresor 12', que está dispuesto, por ejemplo, en el lado de entrada del depósito de gas 4, para elevar la presión en el depósito de gas.

La figura 2 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención, en el que se trabaja con una presión negativa en el depósito de gas. Esta llamada variante de baja presión es ventajosa, por ejemplo, en el suministro de gas a clientes finales. En el segundo ejemplo de realización, el dispositivo de medición comprende adicionalmente al depósito de gas 4 un sensor de presión 8, con el que está provisto el depósito de gas, una unidad de evaluación 11, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención, una tobera crítica 6, y un sensor microtérmico 7 para la medición del caudal de paso y la conductividad térmica, en el que el depósito de gas 4 está conectado para la medición con la tobera crítica 6 y con el sensor microtérmico 7.

En caso necesario, el dispositivo de medición puede contener adicionalmente uno o varios de los siguientes componentes: una bomba de vacío 12, que está conectada con el depósito de gas, para generar una presión negativa en el depósito de gas, un conducto de medición 2, que conduce hacia el depósito de gas 4, y que se puede conectar en el funcionamiento con un conducto de gas principal 1. una válvula de entrada 3, que puede estar dispuesta en el conducto de medición 2 para controlar la alimentación de gas hacia el depósito de gas, una válvula de salida 5, que está dispuesta en el lado de salida del depósito de gas, para controlar el flujo de gas desde el depósito de gas, una salida 10, para descargar el gas que sale desde el dispositivo de medición, un sensor de presión adicional 8', que puede estar dispuesto en el conducto de medición 2 o conducto de gas principal, y un sensor de temperatura 9, que está dispuesto en el depósito de gas 4.

Un ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas y mezcla de gases de acuerdo con la presente invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 2. En el procedimiento, el gas o mezcla de gases fluyen bajo presión a través de la tobera crítica 6 y a través del sensor microtérmico 7 hasta el depósito de gas 4, en el que la tobera crítica y el sensor microtérmico son impulsados con el mismo flujo de masas. El aumento de la presión en el

depósito de gas 4 se mide como función del tiempo y a partir de los valores de medición del aumento de la presión se determina un primer factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$ , que depende de un primer grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el primer factor de propiedad del gas se deriva, por ejemplo, a partir de una constante de proporcionalidad del aumento de la presión. A partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmino 7 se determina un segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$ , dependiente de un segundo grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gas, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene, por ejemplo, la capacidad térmica  $c_p$  del gas o de la mezcla de gases o depende de la misma. Además, con la ayuda del sensor microtérmino 7 se determina la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases y a partir del primero y/o del segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  o de la conductividad térmica se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión.

Otras formas y variantes de realización ventajosas del procedimiento se encuentran en las secciones precedentes de la descripción. La descripción siguiente contiene detalles adicionales del procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario.

De manera más ventajosa, se reduce la presión en el depósito de gas 4 con prioridad, por ejemplo con una bomba de vacío 12, hasta que la tobera crítica 6 puede ser accionada críticamente, es decir, que la presión en el depósito de gas es inferior a la mitad de la presión delante de la tobera crítica. No es necesario ningún vacío alto: con tal que se midan la presión  $p$  y la temperatura  $T$  en el depósito de gas 4, se puede calcular siempre qué volumen normalizado de gas ha fluido al depósito de gas. No obstante, es ventajoso que la presión sea un factor menor que la que sería necesaria para las relaciones críticas, puesto que entonces se puede medir de manera correspondiente durante más tiempo, lo que posibilita una determinación más exacta de la constante de proporcionalidad.

Para otros detalles sobre el procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario, se remite a la descripción del primer ejemplo de realización, debiendo sustituirse, dado el caso, el concepto "caída de la presión" por "aumento de la presión".

La figura 3 muestra un ejemplo de realización de un sensor microtérmino para la utilización en un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención. El sensor microtérmino 7 puede ser, por ejemplo, como se muestra en la figura 3, un anemómetro de hilo caliente-CMOS microtérmino integrado, que está dispuesto en el empleo en una sección 2' del conducto de medición y se puede impulsar con una corriente de gas o de mezcla de gases. El anemómetro de hilo caliente-CMOS microtérmino comprende un sustrato 13, que comprende típicamente una membrana 14 de pocos micrómetros de espesor. Además, el anemómetro de hilo caliente-CMOS comprende dos termoelementos 15.1, 15.2 y un elemento calefactor 16, que puede estar dispuesto en la dirección de flujo entre los dos termoelementos. Con los dos termoelementos 15.1, 15.2 se puede registrar la temperatura, que se ajusta en virtud del intercambio de calor 15.1a, 15.2a con la corriente de gas o de mezcla de gases 2a.

Para otros detalles sobre el modo de funcionamiento del anemómetro de hilo calientes-CMOS microtérmino integrado se remite a D. Matter, B. Kramer, T. Kleiner, B. Sabbattini, T. Suter, "Mikroelektronischer Haushaltsgaszähler mit neuer Technologie", Technisches Messen 71, 3 (2004), páginas 137-146.

La figura 4 muestra una representación de la relación de la densidad  $\rho / \rho_{ref}$  (eje-y) medida directamente en función de la relación de la densidad correlacionada  $\rho_{corr} / \rho_{ref}$  (eje-x) para diferentes grupos de gases en condiciones normalizadas (0°C, 1013,25 mbares), en el que las relaciones de la densidad correlacionadas han sido calculadas con un procedimiento o bien con un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención. Como gas de referencia se ha utilizado un gas natural-H típico.

El dispositivo de medición descrito anteriormente para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases se puede asignar a una categoría nueva, a saber, "Medición de la caída de la presión o del aumento de la presión en un depósito de gas, en el que el gas fluye a través de una tobera crítica, así como medición de la conductividad térmica y medición del flujo de paso con la ayuda de un sensor microtérmino, y validación de los datos a través de la suma de los valores de flujo de paso". Los componentes utilizados son económicos, con lo que se pueden abrir nuevos mercados, en los que ahora no se emplean sensores de la calidad del gas por razones de costes.

Desde el punto de vista de la exactitud, solamente son previsible pocos menoscabos frente a los aparatos más caros que se pueden adquirir en el comercio, puesto que aquí igualmente se utilizan al menos tres valores de medición independientes entre sí para la correlación.

Además, la invención comprende en una segunda forma de realización la utilización de un depósito de gas y de una tobera crítica para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases, o bien un procedimiento, en el que se utilizan un depósito de gas y una tobera crítica para la determinación de propiedades físicas y/o variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases, en el que el gas o la mezcla de gases fluye bajo presión desde el

depósito de gas a través de la tobera crítica, en el que la caída de la presión en el depósito de gas se mide como función del tiempo, a partir de los valores de medición de la caída de la presión se determina un factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  dependiente de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, que se deriva, por ejemplo, de una constante de tiempo de la caída de la presión y a partir del factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  por medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o una variante relevante para la técnica de la combustión buscada.

La segunda forma de realización descrita anteriormente de la invención se puede considerar también como invención autónoma.

La figura 5a muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición frente a la segunda forma de realización de la invención, en el caso, en el que el conducto principal de gas 1 presenta una presión, que es más alta que la presión crítica para la tobera crítica 6 del dispositivo de medición (variante de alta presión). En el ejemplo de realización, el dispositivo de medición comprende adicionalmente a la tobera crítica 6 una unidad de evaluación 11, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención, y un depósito de gas 4, que está provisto con un sensor de presión 8, en el que el depósito de gas 4 está conectado para la medición con la tobera crítica 6.

En caso necesario, el dispositivo de medición puede contener adicionalmente uno o varios de los siguientes componentes: un conducto de medición 2, que conduce hacia el depósito de medición 4, y que se puede conectar en el funcionamiento con un conducto principal del gas 1, una válvula de entrada 3, que puede estar dispuesto en el lado de salida del depósito de gas, para controlar el flujo de gas desde el depósito de gas, una salida 10, para descargar el gas que sale desde el dispositivo de medición, un sensor de presión adicional 8', que puede estar dispuesto en la salida 10, un sensor de temperatura 9, que está dispuesto en el depósito de gas, y un compresor 12', que puede estar dispuesto en el lado de entrada del depósito de gas 4 para elevar la presión en el depósito de gas.

Un ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de las propiedades físicas y/o variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 5a. En este ejemplo de realización, el gas o la mezcla de gas fluye desde el depósito de gas 4 a través de la tobera crítica 6. La caída de la presión en el depósito de gas 4 se mide como función del tiempo y a partir de los valores de medición de la caída de la presión se determina un factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  dependiente de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el factor de propiedad del gas se deriva, por ejemplo, a partir de una constante de tiempo de la caída de la presión. Además, a partir del factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  por medio de correlación se calcula una propiedad física buscada o variable relevante para la técnica de la combustión.

De manera más ventajosa, con la segunda forma de realización de la invención se analizan mezclas binarias de gas en su porción de los dos componentes que forman la mezcla de gas, puesto que el factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  es intrínsecamente una función constante de las porciones de gas  $x\%$  o bien  $(1-x\%)$ . Con el conocimiento de la porción  $x\%$  o bien  $(1-x\%)$ , se pueden determinar a continuación a partir de valores de tablas o por medio de programas de cálculo correspondientes propiedades físicas y/o variables relevantes para la técnica de la combustión de la mezcla de gas binaria. Naturalmente, también es posible la correlación directa de estas propiedades físicas y/o variables relevantes para la técnica de la combustión de la mezcla de gas binaria con el factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$ .

En una variante de la forma de realización del procedimiento se determina de esta manera la porción porcentual de un componente en una mezcla de gas binaria, correspondiendo la variable a correlacionar o bien a la porción de la composición de un componente ( $x\%$ ) y/o a otra propiedad física opcional de la mezcla de gas binaria.

Otras formas y variantes de realización ventajosas del procedimiento de encuentran en las secciones precedentes de la descripción. La descripción siguiente contiene numerosos detalles del procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario.

De manera más ventajosa, en primer lugar se abren la válvula de entrada 3 y la válvula de salida 5 para dejar fluir el gas a medir o la mezcla de gases a medir desde el conducto principal de gas 1 sobre el conducto de medición 2 a través del dispositivo de medición, con lo que se puede asegurar que en el dispositivo de medición no se encuentre ya ningún gas extraño de la última medición. La válvula de entrada y la válvula de salida se pueden abrir a través de la unidad de control. Dado el caso, también la unidad de evaluación 11, como se muestra en la figura 5a, puede asumir el control de la válvula de entrada y de la válvula de salida. Entonces se cierra la válvula de salida 5 y se llena el depósito de gas 4, cuyo contenido volumétrico  $V$  se conoce, hasta que se cierra la válvula de entrada. La presión  $p$  y la temperatura  $T$  en el depósito de gas se miden con el sensor de presión 8 y con el sensor de temperatura 9, de manera que en cualquier momento se puede deducir el volumen normalizado  $V_{norm}$  del gas o de la mezcla de gases que se encuentra en el depósito de gas 4.

$$V_{norm} = \frac{p}{1013.25 \text{ mbar}} \cdot \frac{273.15 \text{ K}}{T} \cdot V \quad (17)$$

Si la presión  $p$  en el depósito de gas 4 es mayor que la presión  $p_{krit}$ , que se necesita para que se pueda accionar la tobera 6 críticamente, se puede abrir de nuevo la válvula de salida 5. Con preferencia, la presión  $p$  en el depósito de gases varios bares más altos que  $p_{krit}$ , de manera que la medición de la caída de la presión se puede realizar sobre una zona de de la sobre elevación de la presión, de manera que la tobera 6 no se acciona ya críticamente. Ahora se cierra de nuevo la válvula de salida 5, con lo que se termina la medición de la caída de la presión. El sensor de presión 8 está diseñado con preferencia como sensor de la presión diferencial frente a la salida 10 del dispositivo de medición. No obstante, también es posible prever un sensor de presión adicional 8' en la salida.

Durante la medición de la caída de la presión, se miden la presión  $p(t)$  en función del tiempo y la temperatura  $T(t)$  en función del tiempo y se registran por la unidad de evaluación 11. Con estos datos se determinan en la unidad de evaluación la constante de tiempo  $\tau$  en la ecuación (6) o bien la constante de proporcionalidad en la ecuación (6) y el factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  en la ecuación (7) o bien (7').

En la unidad de evaluación 11 se realiza ahora según la variable  $Q$  relevante para la técnica de medición deseada, su cálculo con la ayuda de la ecuación (125) con función de correlación  $Q_{corr} = f_{corr}(\Gamma^*)$  calculada.

Además, en caso necesario, como se muestra en la figura 5b, puede estar previsto un compresor 12', que está dispuesto, por ejemplo, en el lado de entrada del depósito de gas 4, para elevar la presión en el depósito de gas.

La figura 6 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención, en el que se trabaja con una presión negativa en el depósito de gas. Esta llamada variante de presión negativa es ventajosa, por ejemplo, en el suministro de gas a clientes finales. En el segundo ejemplo de realización, el dispositivo de medición comprende adicionalmente al depósito de gas 4 un sensor de presión 8, con el que está provisto el depósito de gas, una unidad de evaluación 11, que está instalada para la realización del procedimiento de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención, y una tobera crítica 6, en la que el depósito de gas 4 está conectado para la medición con la tobera crítica 6.

En caso necesario, el dispositivo de medición puede contener adicionalmente uno o varios de los siguientes componentes: una bomba de vacío 12, que está conectada con el depósito de gas 4, para generar una presión negativa en el depósito de gas, un conducto de medición 2, que conduce hacia el depósito de gas 4, y que puede estar conectado en el funcionamiento con un conducto de gas principal 1, una válvula de entrada 3, que está dispuesta en el conducto de medición 2, para controlar el suministro de gas hacia el depósito de gas, una válvula de salida 10, para descargar el gas que fluye fuera del dispositivo de medición, un sensor de presión 8' adicional, que puede estar dispuesto en el conducto de medición 2 del conducto principal de gas, y un sensor de temperatura 9, que está dispuesto en el depósito de gas 4.

Otro ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas y mezcla de gases de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 6. En este ejemplo de realización, el gas o la mezcla de gases fluye bajo presión a través de la tobera crítica 6 hasta el depósito de gas 4. El aumento de la presión en el depósito de gas 4 se mide como función del tiempo y a partir de los valores de medición del aumento de la presión se determina un factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  que depende de un grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el factor de propiedad del gas se deriva, por ejemplo, de la constante de proporcionalidad del aumento de la presión. A partir del factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión buscada.

Otras formas y variantes de realización ventajosas del procedimiento se encuentran en las secciones anteriores de la descripción. La descripción siguiente contiene detalles adicionales del procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario.

De manera más ventajosa, la presión en el depósito de gas 4 se reduce previamente, por ejemplo, con una bomba de vacío 12, hasta el punto de que la tobera crítica 6 se puede accionar críticamente, es decir, que la presión en el depósito de gas es menor que la mitad de la presión delante de la tobera crítica. No es necesario un vacío alto: con tal que se midan la presión  $p$  y la temperatura  $T$  en el depósito de gas 4, se puede calcular siempre qué volumen normalizado de gas ha fluido al depósito de gas. No obstante, es ventajoso que la presión sea un factor menor que la que sería necesaria para las relaciones críticas, puesto que entonces se puede medir de manera correspondiente durante más tiempo, lo que posibilita una determinación más exacta de la constante de proporcionalidad.

Para otros detalles sobre el procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario, se remite a la descripción del

primer ejemplo de realización, debiendo sustituirse, dado el caso, el concepto "caída de la presión" por "aumento de la presión".

La figura 7 muestra una representación de la porción de metano  $n_{CH_4}$  (eje-y) en función de la porción de metano correlacionada  $n_{CH_4\ corr}$  (eje-x) para un biogas bruto binario, que está constituido por metano y dióxido de carbono en condiciones normalizadas (0°C, 1013,25 mbar), en la que la porción de metano correlacionada ha sido calculada con un procedimiento o bien con un dispositivo de medición de acuerdo con la segunda forma de realización de la invención. Como gas de referencia se ha utilizado un gas natural-H típico. La variable Q buscada (aquí la porción de metano  $n_{CH_4\ corr}$  en x%) se calcula de manera más ventajosa por medio de la función de correlación  $Q_{corr} = a + b \cdot \Gamma^* + c \cdot \Gamma^{*2} + d \cdot \Gamma^{*3}$ , en la que en el ejemplo mostrado en la representación es numéricamente  $a = -7,82$ ,  $b = 22,7$ ,  $c = -20,4$  y  $d = 6,45$ .

El dispositivo de medición descrito anteriormente para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas y de una mezcla de gas se puede asignar a una nueva categoría, a saber, "medición de la caída de la presión o del aumento de la presión en un depósito de gas, en el que el gas fluye a través de una tobera crítica". Los componentes utilizados son económicos, con lo que se pueden abrir nuevos mercados, en los que actualmente no se emplean sensores de la calidad del gas por razones de costes. Con respecto a la exactitud, son previsible ciertos menoscabos frente a los aparatos más caros que se pueden adquirir en el mercado, puesto que aquí en lugar de tres valores de medición sólo se utiliza un valor de medición independiente.

Adicionalmente, la invención comprende en una tercera forma de realización la utilización de un depósito de gas y de un sensor microtérnico calibrado para un gas o una mezcla de gases determinados para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de medición de un gas o de una mezcla de gases, o bien un procedimiento, en el que se utilizan un depósito de gas y un sensor microtérnico calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinado para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases, en la que el gas o la mezcla de gases fluyen bajo presión desde el depósito de gas a través del sensor microtérnico, en el que se suma el flujo volumétrico  $v_x \cdot A$  determinado con el sensor microtérnico calibrado para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración determinados y se compara con el volumen de gas descargado desde el depósito de gas, a partir de la comparación de los dos volúmenes se determina un factor de propiedad del gas  $S / v'_x$  dependiente de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que  $v'_x$  designa la velocidad de flujo determinada a partir del volumen de gas descargado, y a partir del factor de la propiedad de gas, que se puede dar, por ejemplo, a través de  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  (ver la ecuación (9)), se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión.

La tercera forma de realización descrita anteriormente de la invención se puede considerar también como invención autónoma.

La figura 8a muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la tercera forma de realización en el caso en el que el conducto principal de gas 1 está bajo presión (variante de alta presión). En el ejemplo de realización, el dispositivo de medición comprende una unidad de evaluación 11, que está prevista para la realización de un procedimiento de acuerdo con la tercera forma de realización de la invención, un depósito de gas 5, que está provisto con un sensor de presión 8, y un sensor microtérnico 7 para la medición del flujo de paso y de la conductividad térmica, de manera que el depósito de gas 4 está conectado para la medición con el sensor microtérnico.

En caso necesario, el dispositivo de medición puede contener adicionalmente uno o varios de los siguientes componentes: una línea de medición 2, que conduce hacia el depósito de gas 4, y que puede estar conectada en el funcionamiento con un conducto de gas principal 1, una válvula de entrada 3, que puede estar dispuesta en la línea de medición 2, para controlar la alimentación de gas hacia el depósito de gas, una válvula salida 5, que está dispuesta en el lado de salida del depósito de gas, para descargar el gas que sale desde el dispositivo de medición, un sensor de presión 8' adicional, que puede estar dispuesto en la salida 10, un sensor de temperatura 9, que está dispuesto en el depósito de gas, y un compresor 12', que puede estar dispuesto en el lado de entrada del depósito de gas 4 para elevar la presión en el depósito de gas.

Un ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas y de una mezcla de gas de acuerdo con la tercera forma de realización de la invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 8a. En el procedimiento, el gas o mezcla de gas fluye bajo presión desde el depósito de gas 4 a través del sensor microtérnico 7 calibrado para un gas de calibración o una mezcla de gas de calibración, en el que se suma el flujo volumétrico  $v_x \cdot A$  y se compara con el volumen de gas que sale desde el depósito de gas, a partir de la comparación de los dos volúmenes se determina un factor de la propiedad de gas  $S / v'_x$  dependiente de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que  $v'_x$  designa la velocidad de flujo determinada a partir del volumen de gas descargado, y a partir del factor de la

propiedad de gas, que se puede dar, por ejemplo, a través de  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  (ver la ecuación (9)), se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión.

5 En una forma de realización ventajosa del procedimiento se determina con la ayuda del sensor microtérmico 7 adicionalmente la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases.

10 De manera más ventajosa, con la tercera forma de realización de la invención se investigan mezclas de gas natural con respecto a su pertinencia a los gases-H o bien los gases-L (gases con valor de combustión alto (High) o bien con valor de combustión bajo (Low)), puesto que el factor de propiedad del gas, que se puede dar, por ejemplo, a través de  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  (ver la ecuación (9)), corresponde al valor recíproco de la difusividad del calor de la mezcla de gas, con cuya ayuda se posibilita, junto con la conductividad térmica  $\lambda$ , que se puede medir por separado con el sensor microtérmico, una distinción del grupo de gas-H y del grupo de gas-L, respectivamente.

15 La pertenencia de una mezcla de gases a clases del grupo de gas-H o bien de gas-L se puede determinar, por ejemplo, identificando el factor de propiedad del gas ( $S / v'_x$ ) con el valor recíproco de la difusividad del calor  $c_p \cdot \rho / \lambda$ , y realizando, con una conductividad térmica dada, la asociación con la ayuda de un valor límite para la inductividad térmica, por encima del cual se identifica una mezcla de gases como mezcla-L y por debajo del cual se identifica como gas-H.

20 En una variante de realización del procedimiento se determina de esta manera con la ayuda del sensor microtérmico 7 adicionalmente la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases y se lleva a cabo junto con el factor de la propiedad del gas  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  una clasificación del gas medido en gas-H o bien gas-L.

25 Otras formas de realización y variantes ventajosas del procedimiento se encuentran en las secciones anteriores de la descripción. La descripción siguiente contiene detalles adicionales sobre el procedimiento, que se pueden utilizar en caso necesario.

30 De manera más ventajosa, se abren en primer lugar la válvula de entrada 3 y la válvula de salida 5, para dejar que fluya el gas o la mezcla de gases a medir desde el conducto principal de gas 1 a través del conducto de medición 2 a través del dispositivo de medición, con lo que se puede asegurar que en el dispositivo de medición no se encuentre ya ningún gas extraño de la última medición. La válvula de entrada y la válvula de salida se pueden abrir a través de una unidad de seguridad. Dado el caso, también la unidad de evaluación 11, como se muestra en la figura 8a, puede asumir el control de la válvula de entrada y de la válvula de salida. Entonces se cierra la válvula de salida 5 y se llena el depósito de gas 4, cuyo contenido de volumen  $V$  se conoce, hasta que se cierra la válvula de entrada de entrada 3. La presión  $p$  y la temperatura  $T$  en el depósito de gas se pueden medir con el sensor de presión 8 y con el sensor de temperatura 9, respectivamente, de manera que en cualquier momento se puede deducir el volumen normalizado  $V_{norm}$  del gas o de la mezcla de gases que se encuentran en el depósito de gas 4.

$$V_{norm} = \frac{p}{1013.25 \text{ mbar}} \cdot \frac{273.15 \text{ K}}{T} \cdot V \quad (17)$$

40 A continuación se abre de nuevo la válvula de salida 5. Con preferencia, la presión  $p$  en el depósito de gas 4 es mucho más alta que la presión después del depósito de gas, de tal manera que el periodo de tiempo, en el que el gas fluye desde el depósito de gas 4 a través del sensor microtérmico 7, es suficientemente largo para poder sumar con suficiente exactitud el flujo volumétrico  $v_x \cdot A$ . Ahora se cierra de nuevo la válvula de salida 5, con lo que se termina la medición del flujo. El sensor de presión 8 está diseñado con preferencia como sensor de presión diferencial frente a la salida 10 del dispositivo de medición. No obstante, también es posible prever un sensor de presión 8' adicional en la salida.

50 Durante la medición del flujo de paso se miden con el sensor microtérmico 7 datos del flujo de paso y se registran por la unidad de evaluación 11, para determinar el factor  $S$  en la ecuación (9). Puesto que la válvula de entrada y la válvula de salida están cerradas después de la medición del flujo de paso, no fluye ya gas a través del sensor microtérmico 7. Ahora se puede realizar la medición de la conductividad térmica  $\lambda$ . De nuevo se registra por la unidad de evaluación la conductividad térmica  $\lambda$  con la ayuda de la solución de la ecuación (12).

55 Con estos datos se suma en la unidad de valuación 11 el flujo volumétrico al volumen  $V_{sum}$  y se compara con el volumen de gas  $V_{diff}$  que sale desde el depósito de gas. A partir de la comparación de los dos volúmenes se puede determinar ahora un factor de la propiedad del gas  $S/v'_x$  que depende de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en la que  $v'_x$  designa la velocidad de flujo determinada a partir del volumen de gas descargado. De manera más conveniente, se convierten los volúmenes para la comparación por medio de la ecuación (17) a condiciones normalizadas, de manera que  $v'_x$  se da a través de

$$v'_x = v_x \cdot V_{diff}^{norm} / V_{sum}^{norm} \quad (18)$$

5 con el volumen de gas  $V_{diff}^{norm}$  descargado, convertido a condiciones normalizadas y con el volumen  $V_{sum}^{norm}$  sumado, convertido a condiciones normalizadas. De acuerdo con la variable Q relevante para la técnica de la combustión deseada, se lleva a cabo ahora en la unidad de evaluación 11 su cálculo con la ayuda de la ecuación (15) con función de correlación  $Q_{corr} = f_{corr}(S / v'_x)$  calculada anteriormente o el valor de  $S / v'_x$  se utiliza para asociar junto con la conductividad térmica  $\lambda$  una mezcla de gas natural de la categoría H o bien L.

10 Además, en caso necesario, como se muestra en la figura 8b, puede estar previsto un compresor 12', que está dispuesto, por ejemplo, en el lado de entrada del depósito de gas 4, para elevar la presión en el depósito de gas.

15 La figura 9 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la tercera forma de realización de la invención, en el que se trabaja con una presión negativa en el depósito de gas. Esta llamada variante de baja presión es ventajosa, por ejemplo, durante el suministro de gas a clientes finales. En el segundo ejemplo de realización, el dispositivo de medición comprende adicionalmente al depósito de gas 4 un sensor de presión 8, con el que está provisto el depósito de gas, una unidad de evaluación 11, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la tercera forma de realización de la invención, y un sensor microtérmico 7 para la medición del flujo de paso y de la conductividad térmica, estando conectado el depósito de gas 4 para la medición con el sensor microtérmico 7.

20 En caso necesario, el dispositivo de medición puede contener adicionalmente uno o varios de los siguientes componentes: una bomba de vacío 12, que está conectada con el depósito de gas 4, para generar una presión negativa en el depósito de gas, un conducto de medición 2, que conduce hacia el depósito de gas 4, y que puede estar conectado en el funcionamiento con un conducto de gas principal 1, una válvula de entrada 3, que está dispuesta en el conducto de medición 2, para controlar el suministro de gas hacia el depósito de gas, una válvula de salida 5, que está dispuesta en el lado de salida del depósito de gas, para controlar el flujo de gas desde el depósito de gas, una salida 10, para descargar el gas que fluye fuera del dispositivo de medición, un sensor de presión 8' adicional, que puede estar dispuesto en el conducto de medición 2 del conducto principal de gas, y un sensor de temperatura 9, que está dispuesto en el depósito de gas 4.

25 Otro ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases de acuerdo con la tercera forma de realización de la invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 9. En este ejemplo de realización, el gas o la mezcla de gases fluye bajo una presión, que es típicamente mucho más alta que la presión después del depósito de gas, de tal manera que el periodo de tiempo, en el que el gas fluye desde el depósito de gas 4 a través del sensor microtérmico 7, es suficientemente largo para poder sumar con suficiente exactitud el flujo volumétrico  $v_x \cdot A$ . El flujo volumétrico sumado  $V_{sum}$  se compara con el volumen de gas  $V_{diff}$  que sale desde el depósito de gas, a partir de la comparación de los dos volúmenes se determina un factor de propiedad del gas  $S / v'_x$  dependiente de las propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el  $v'_x$  designa la velocidad de flujo determinada a partir del volumen de gas descargado, y a partir del factor de propiedad del gas, que se puede dar por ejemplo a través de  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  (ver la ecuación (9)), se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión.

40 En una forma de realización ventajosa del procedimiento, con la ayuda sensor microtérmico 7 se determina la conductividad térmica  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases y se realiza, por ejemplo, junto con el factor de propiedad del gas  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  una clasificación del gas medido en gas-H y gas-L, respectivamente.

45 Para otras formas y variantes de realización del procedimiento y para detalles sobre el procedimiento, que se pueden utilizar, en caso necesario, se remite a las secciones anteriores de la descripción, debiendo sustituirse, dado el caso, el concepto "caída de la presión" por "aumento de la presión".

50 La figura 10 muestra una representación de cómo se puede realizar con la ayuda de las conductividades térmicas  $\lambda$  conocidas (eje-x) y las capacidades de difusiones térmicas  $\lambda / (c_p \rho)$ , llamadas también conductividades de la temperatura (eje-y) una distinción en gas-H y gas-L, respectivamente. Los gases-L por encima de la línea de separación de gas-H/L (Línea de Separación de Gas-H/L) tienen típicamente capacidades de difusión térmica más altas que los gases--H con la misma conductividad térmica por debajo de la línea de separación (doble flecha en  $x = 1,024$ ). Puesto que el factor de propiedad del gas  $S / v'_x = c_p \cdot \rho / \lambda$  es esencialmente el valor recíproco de la difusividad térmica de la mezcla de gas, de acuerdo con ello, con la conductividad térmica  $\lambda$  medida adicionalmente se puede realizar la distinción de gas-H y gas-L, respectivamente. Todos los valores se muestran en condiciones normalizadas (0°C, 1013,25 mbars). Como gas de referencia se ha utilizado un gas natural-H típico (línea de trazos en la

coordenada (1,00, 1,00).

5 El dispositivo de medición descrito anteriormente para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases se puede asignar a una categoría nueva, a saber, medición de la conductividad térmica y del flujo de paso con la ayuda de un sensor microtérmico, suma de los valores del flujo de paso y comparación con un flujo volumétrico de salida a partir de un volumen de referencia. Clasificación de los gases naturales en el grupo de gas-H y de gas-L, respectivamente". Los componentes utilizados son económicos, con lo que se pueden abrir nuevos mercados, en los que actualmente no se emplean sensores de la calidad del gas por razones de costes. Con respecto a la exactitud, son previsibles  
10 ciertos menoscabos frente a los aparatos más caros que se pueden adquirir en el mercado, puesto que aquí en lugar de tres valores de medición sólo se utiliza un valor de medición independiente.

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases, en el que en el procedimiento:

- 5 - el gas o mezcla de gases fluye desde un depósito de gas (4) a través de una tobera crítica (6) y a través de un sensor microtérmico (7), en el que la tobera crítica y el sensor microtérmico son impulsados con el mismo flujo de masas;
- la caída de la presión en el depósito de gas (4) se mide como función del tiempo;
- 10 - a partir de los valores de medición de la caída de la presión se determina un primer factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ), que depende de un primer grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el primer factor de propiedad del gas se deriva, por ejemplo, de una constante de tiempo de la caída de la presión;
- 15 - a partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico (7) se determina un segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma$ ) que depende de un segundo grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla del gas, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene la capacidad térmica ( $c_p$ ) del gas o de la mezcla de gases o depende de la misma;
- con la ayuda del sensor microtérmico (7) se determina la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del gas o de la mezcla de gases; y
- 20 - a partir del primero y/o del segundo factor de propiedad de gas ( $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$ ) y de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) se calcula por medio de correlación una propiedad física buscada o una variable relevante para la técnica de la combustión.

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se parte de una caída exponencial de la presión medida y se deriva el primer factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ) a partir de la constante de tiempo de la caída de la presión, y en el que el primer factor de propiedad del gas se forma especialmente midiendo adicionalmente la temperatura (7) y se omiten todas las variables que no dependen del gas.

3.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma$ ) contiene el cociente de la capacidad térmica ( $c_p$ ) dividida por la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del gas o de la mezcla de gases o depende del mismo, y en el que el segundo factor de propiedad del gas se forma especialmente midiendo adicionalmente la temperatura (T) y omitiendo todas las variables que no dependen del gas.

4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los factores de la propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$ ) se validan a través de la comparación de los valores para el volumen total de la corriente de gas o de la mezcla de gas de salida,

- 40 - midiendo la presión y la temperatura en el depósito de gas (4) al comienzo y al final de la medición de la caída de la presión y determinando el volumen normalizado de flujo de salida conociendo el volumen del depósito de gas;
- sumando el flujo normalizado medido por medio del sensor microtérmico (7) sobre el intervalo de tiempo entre el comienzo y el final de la medición de la caída de la presión;
- comparando el volumen normalizado de flujo de salida con el flujo normalizado sumado; y
- 45 - en el caso de desigualdad, corrigiendo el primero y/o el segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$ ), por ejemplo, a través de la corrección de la señal de la presión o del valor de flujo del volumen normalizado del sensor microtérmico (7).

5.- Procedimiento para la determinación de propiedades físicas y/o de variables relevantes para la técnica de la combustión de un gas o mezcla de gases, en el que en el procedimiento:

- 50 - el gas o mezcla de gases fluye bajo presión a través de una tobera crítica (6) y a través de un sensor microtérmico (7) hasta el depósito de gas (4), en el que la tobera crítica y el sensor microtérmico son impulsados con el mismo flujo de masas;
- se mide el aumento de la presión en el depósito de gas (4) como función del tiempo;
- 55 - a partir de los valores de medición del aumento de la presión se determina un primer factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ), que depende de un primer grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases;
- a partir de la señal del flujo de paso a través del sensor microtérmico (7) se determina un segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma$ ), que depende de un segundo grupo de propiedades físicas del gas o de la mezcla de gases, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene la capacidad térmica ( $c_p$ ) del gas o de la mezcla de gases o depende de la misma;
- 60 - con la ayuda del sensor microtérmico (7) se determina la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del gas o de la mezcla de gases; y
- a partir del primero y/o segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$ ) o de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) por medio de correlación se calcula una propiedad física deseada o una variable relevante para la combustión deseada.

- 5 6.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que se parte de un aumento lineal de la presión medida y se deriva el primer factor de propiedad del gas ( $\Gamma^*$ ) a partir de una constante de proporcionalidad del aumento de la presión, y en el que se forma el primer factor de propiedad del gas especialmente midiendo adicionalmente la temperatura (T) y la presión de entrada de la tobera ( $p_{Nozzle}$ ) y se omiten todas las variables que no dependen del gas.
- 10 7.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 ó 6, en el que el segundo factor de propiedad del gas contiene el cociente de la capacidad térmica ( $c_p$ ) dividida por la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del gas o de la mezcla de gases o depende del mismo, y en el que el primer factor de propiedad del gas se forma especialmente midiendo adicionalmente la temperatura (T) y omitiendo todas las variables que no dependen del gas.
- 15 8.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 7, en el que los factores de propiedad de gas ( $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$ ) se validan a través de la comparación de los valores para el volumen total del gas o de la mezcla de gases que fluye al depósito de gas,
- midiendo la presión y la temperatura en el depósito de gas (4) al comienzo y al final de la medición del aumento de la presión y determinando el volumen normalizado de flujo dentro del depósito de gas conociendo el volumen del depósito de gas; y
  - 20 - sumando el flujo normalizado medido por medio del sensor microtérmico (7) sobre el intervalo de tiempo entre el comienzo y el final de la medición de la caída de la presión;
  - comparando el volumen normalizado de flujo al depósito de gas (4) con el flujo normalizado sumado; y
  - en el caso de desigualdad, corrigiendo el primero y/o el segundo factor de propiedad del gas, por ejemplo, a través de la corrección de la señal de la presión o del valor de flujo del volumen normalizado del sensor microtérmico (7).
- 25 9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento se utiliza para la calibración de la señal de flujo de paso del sensor microtérmico (7),
- 30 - calibrando la señal de flujo de paso del sensor microtérmico (7) para un gas de calibración o mezcla de gases de calibración;
  - determinando la relación ( $\Gamma / \Gamma^*$ ) del segundo factor de propiedad del gas determinado a partir de la señal de flujo de paso del sensor microtérmico con respecto al primer factor de propiedad del gas para un gas o mezcla de gases desconocidos; y
  - 35 - comparando los valores de volúmenes normalizados a partir de la medición de la reducción de la presión o del aumento de la presión y de la medición del caudal de flujo normalizado sumado del sensor microtérmico (7) y utilizándolos para corregir la relación del segundo con respecto al primer factor de propiedad del gas y para adaptarlos al valor para el segundo factor de propiedad del gas ( $\Gamma$ ).
- 40 10.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la propiedad física buscada es la densidad o la conductividad térmica o la capacidad térmica o la viscosidad del gas o de la mezcla de gases, y/o en el que la variable relevante para la técnica de la combustión es el contenido de energía o el valor de combustión o el índice de Wobbe o el índice de metano o la necesidad de aire del gas o de la mezcla de gases.
- 45 11.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la propiedad física buscada o la variante (Q) relevante para la técnica de la combustión se calcula por medio de una función de correlación  $Q = f_{corr}(\Gamma, \Gamma^*, \lambda) = const \cdot \Gamma^r \cdot \Gamma^{*s} \cdot \lambda^t$  en la que r, s y t son exponentes y *const* es una constante.
- 50 12.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión en el depósito de gas (4) al comienzo de la medición de la caída de la presión es mayor que la presión crítica ( $p_{krit}$ ) de la tobera crítica (6) y la presión exterior después de la tobera crítica es menor que la mitad de la presión crítica, y en el que la presión en el depósito de gas (4) al comienzo de la medición del aumento de la presión es menor que la mitad de la presión crítica ( $p_{krit}$ ) de la tobera crítica (6) y la presión delante de la tobera crítica es mayor que la presión crítica.
- 55 13.- Dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas y/o de variantes relevantes para la técnica de la combustión de un gas o de una mezcla de gases con una unidad de evaluación (11), que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, y con un depósito de gas (4), que está provisto con un sensor de presión (8), con una tobera crítica (6) y con un sensor microtérmico (7) para la medición del flujo de paso y de la conductividad térmica, en el que el depósito de gas está conectado para la medición con la tobera crítica y con el sensor microtérmico.
- 60

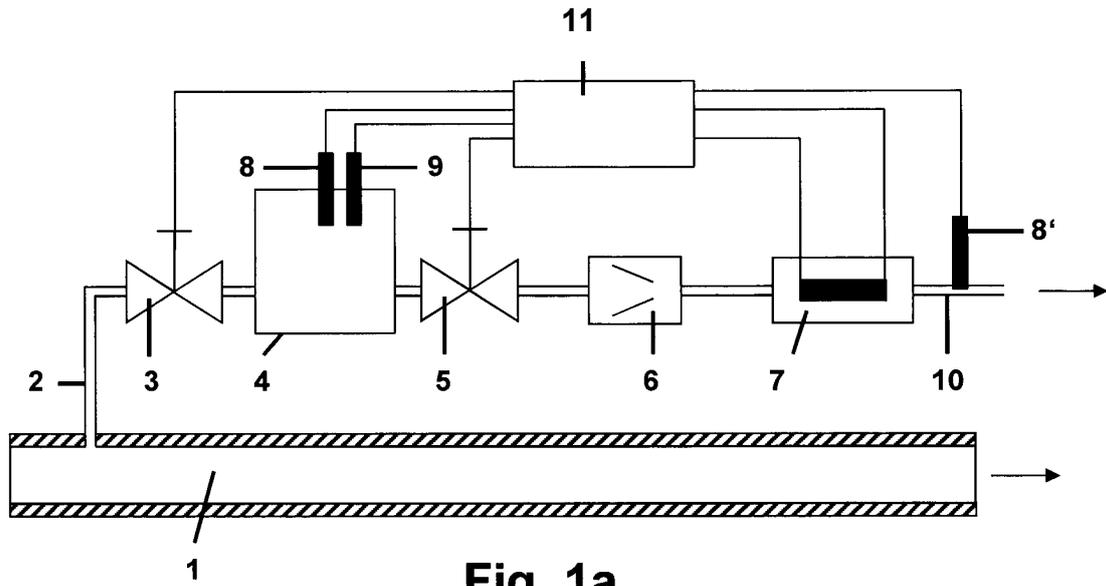


Fig. 1a

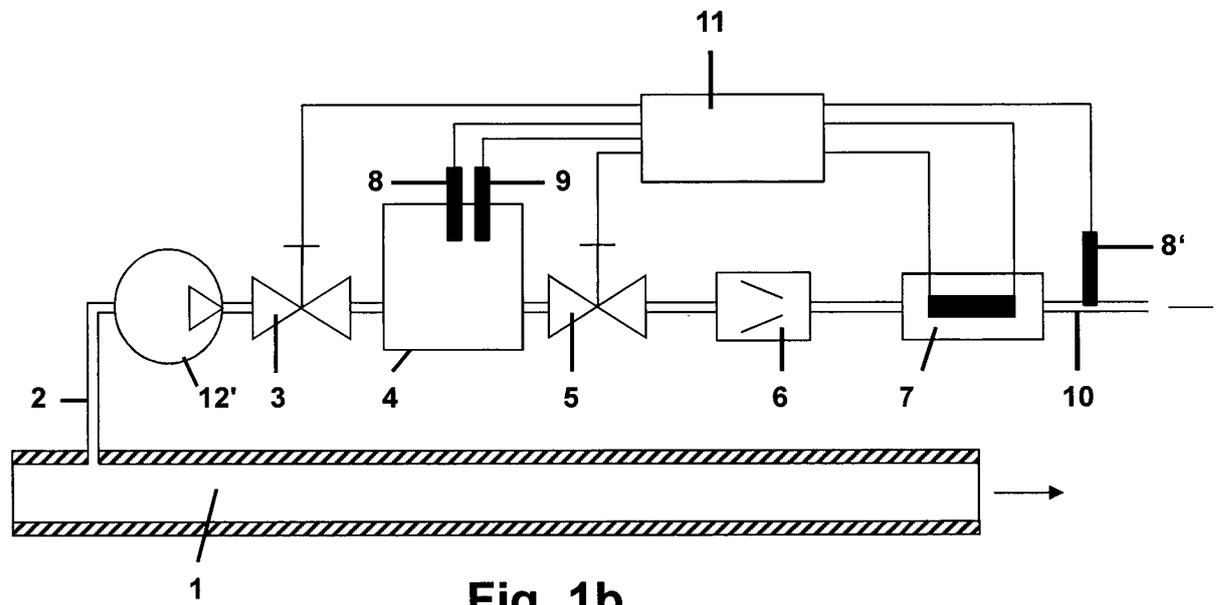


Fig. 1b

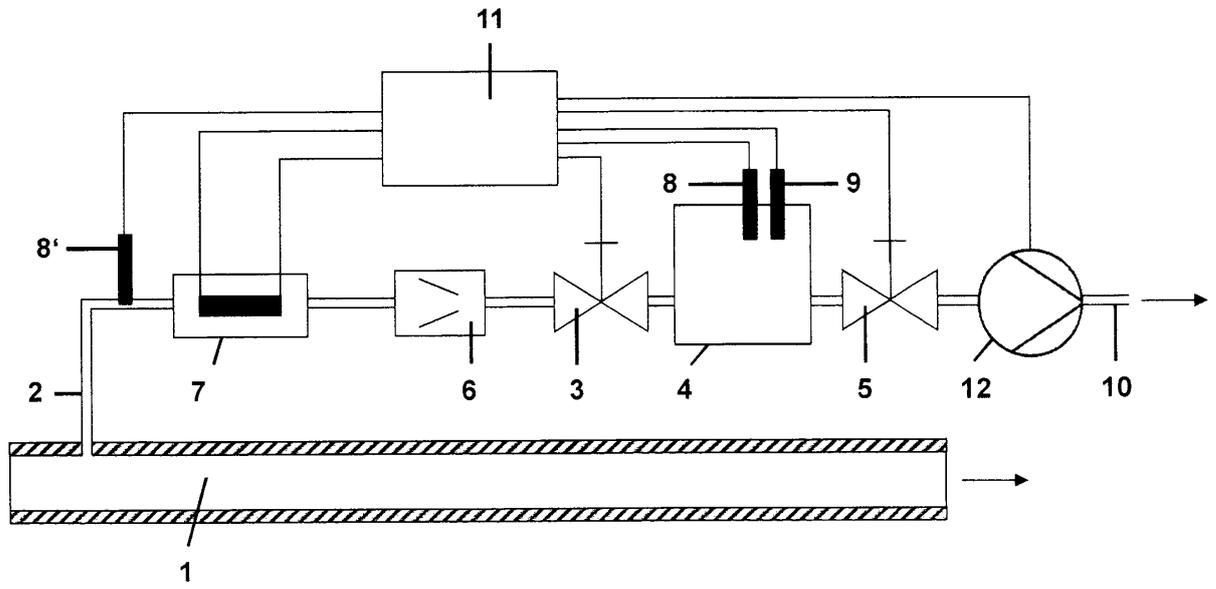


Fig. 2

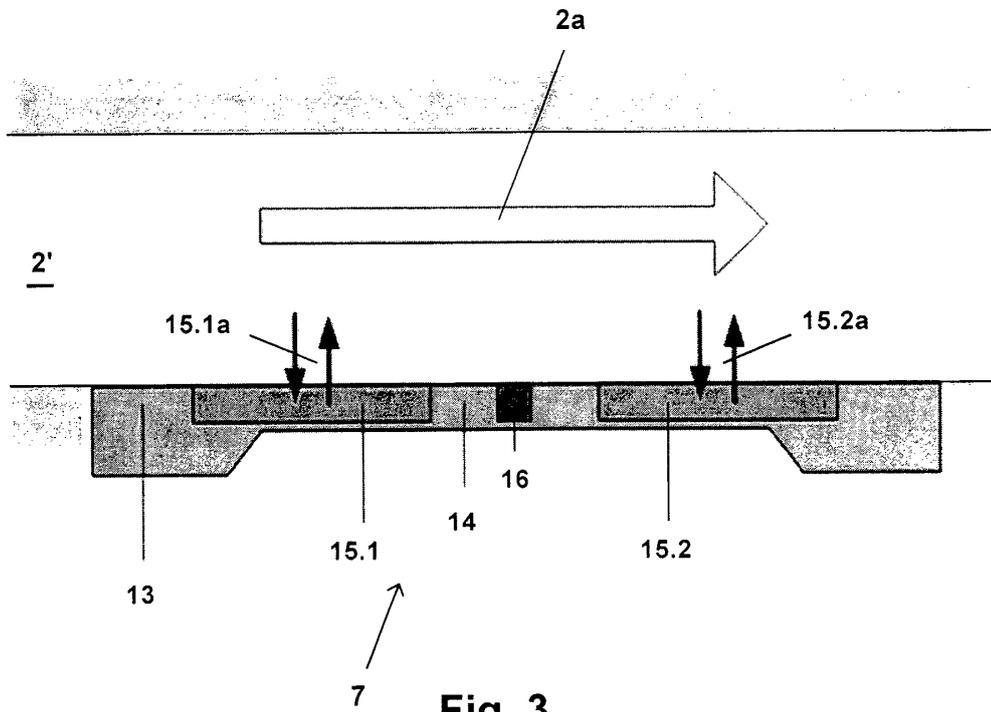


Fig. 3

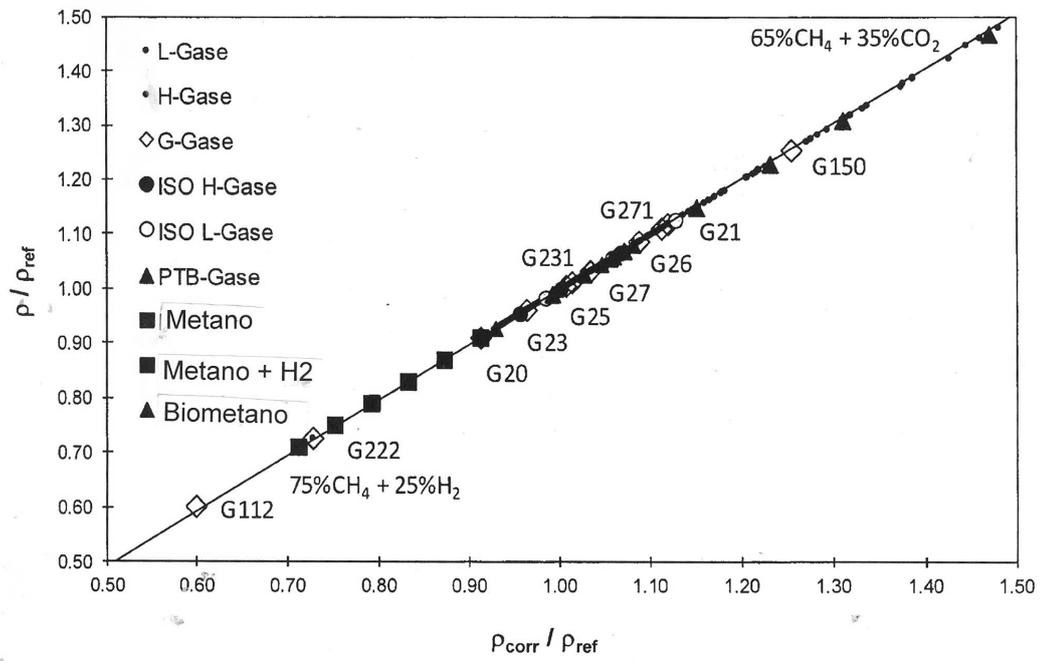


Fig. 4

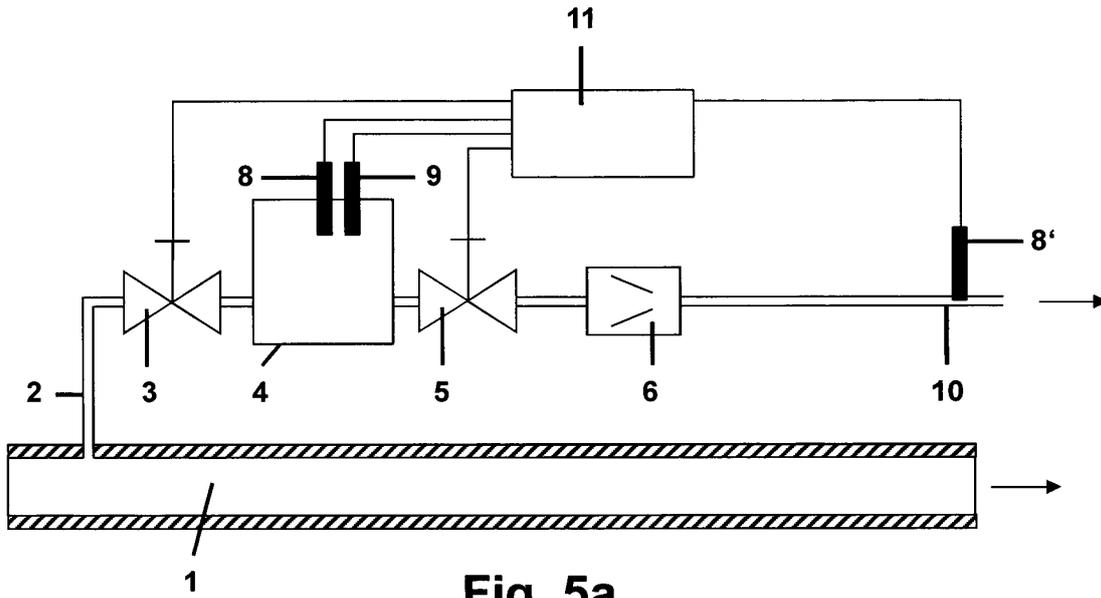


Fig. 5a

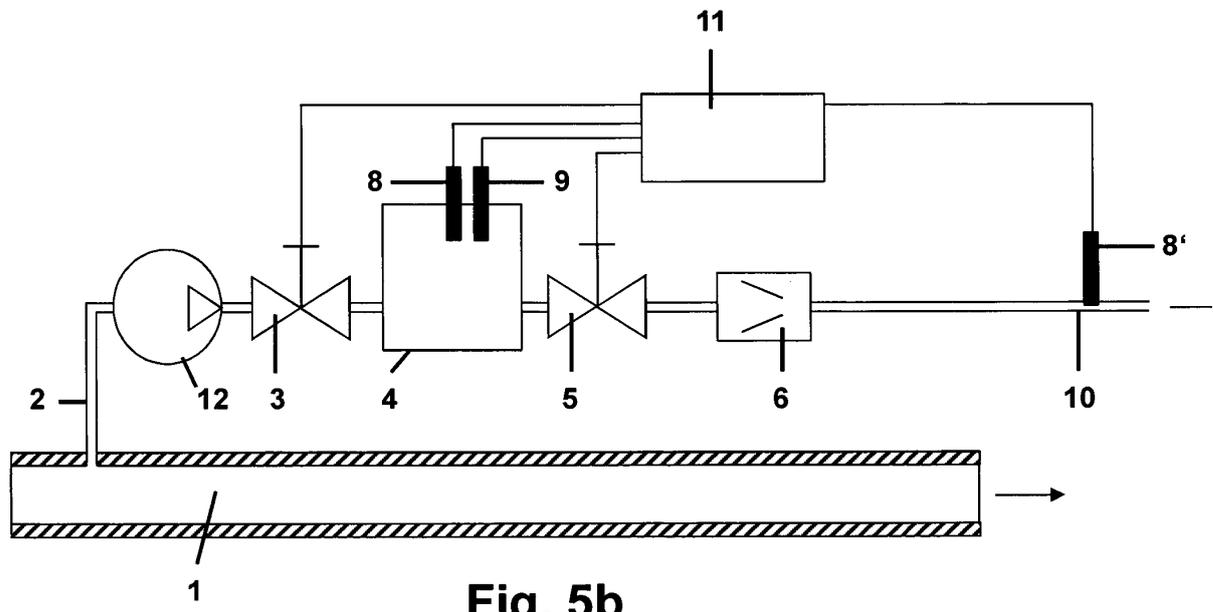


Fig. 5b

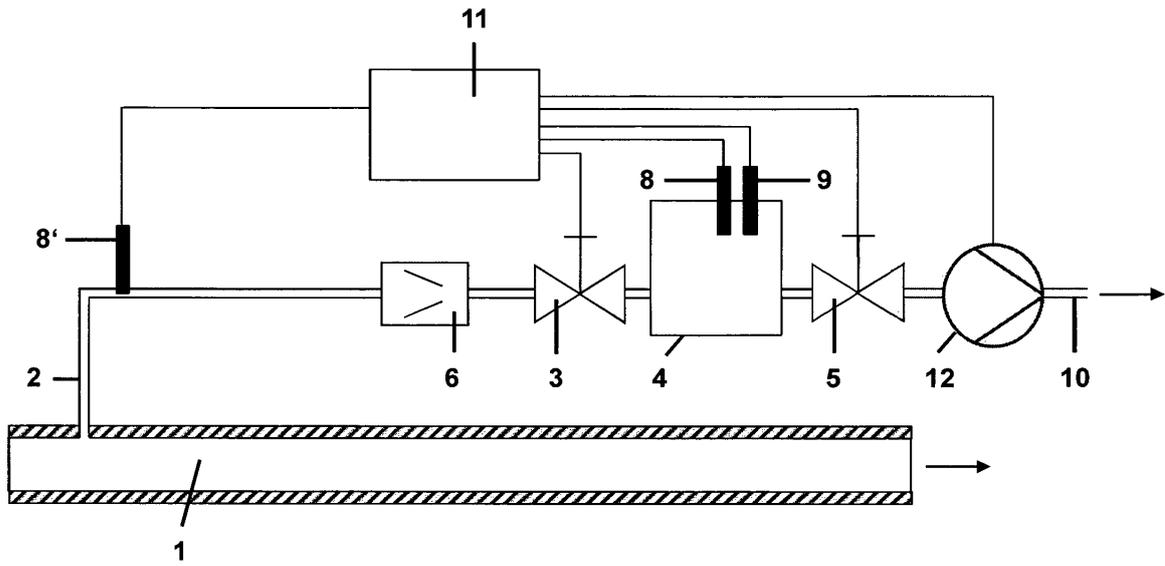


Fig. 6

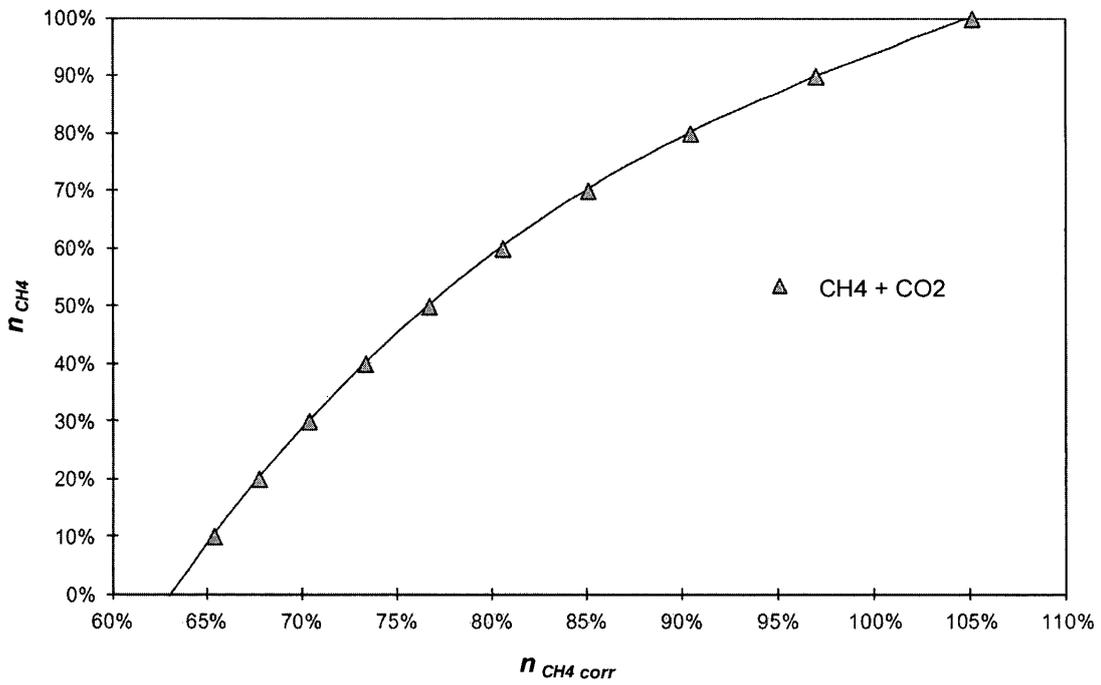


Fig. 7

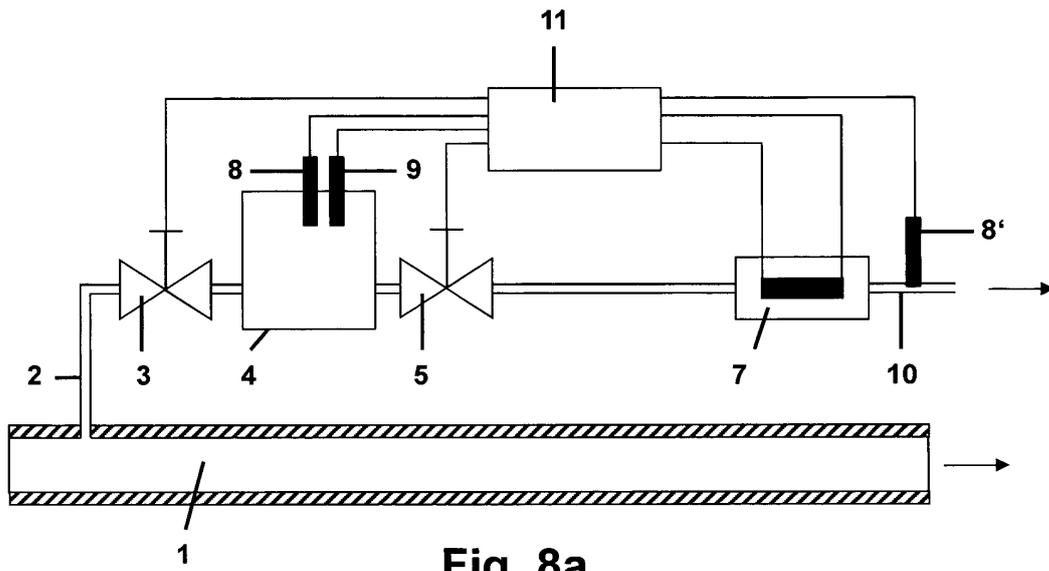


Fig. 8a

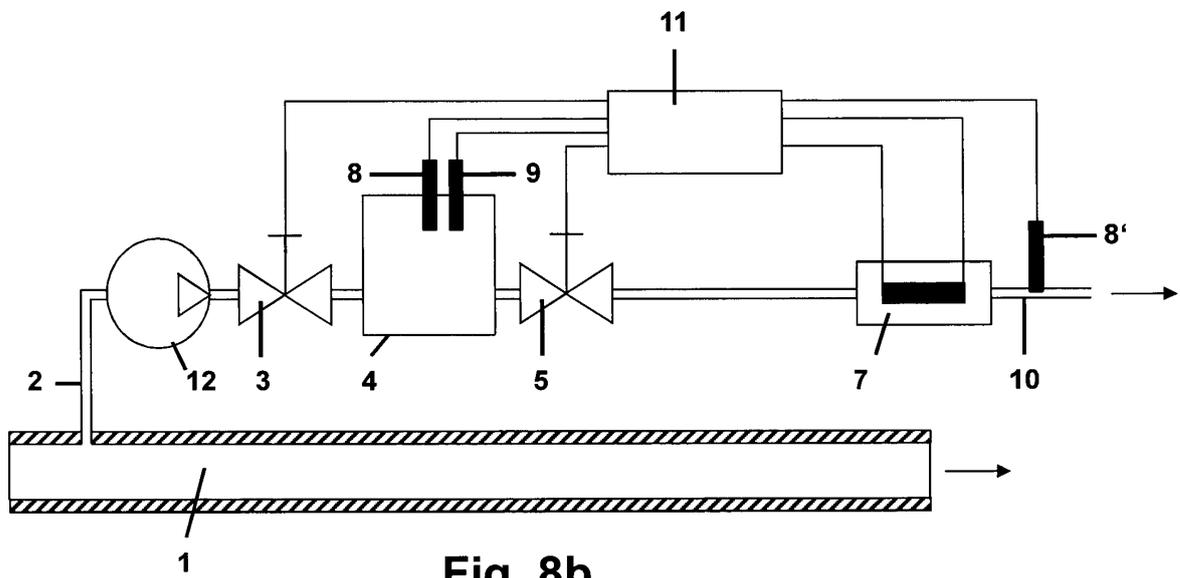


Fig. 8b

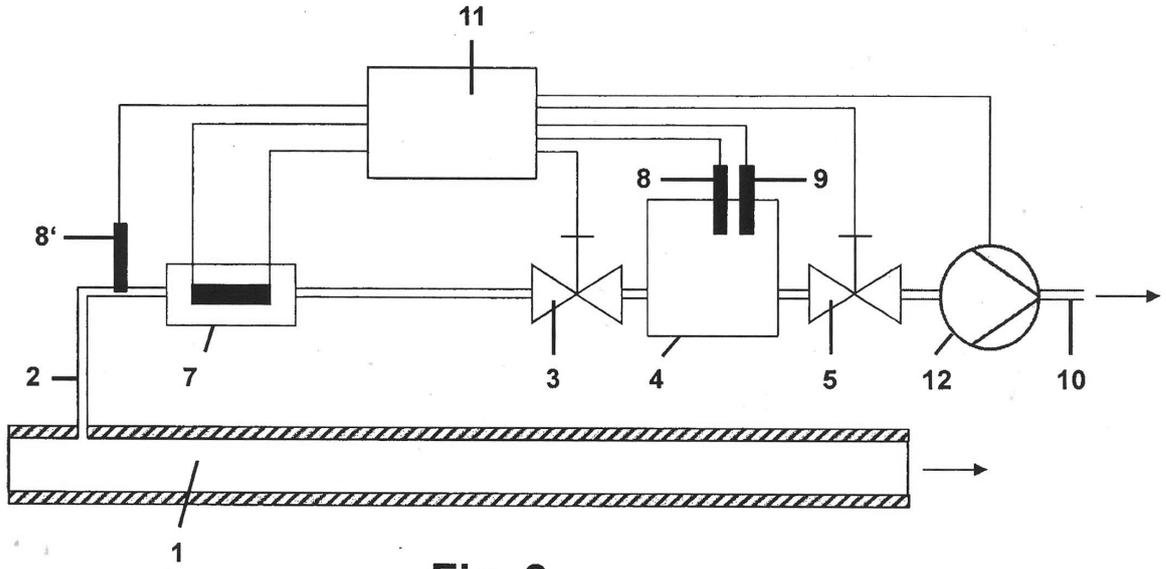


Fig. 9

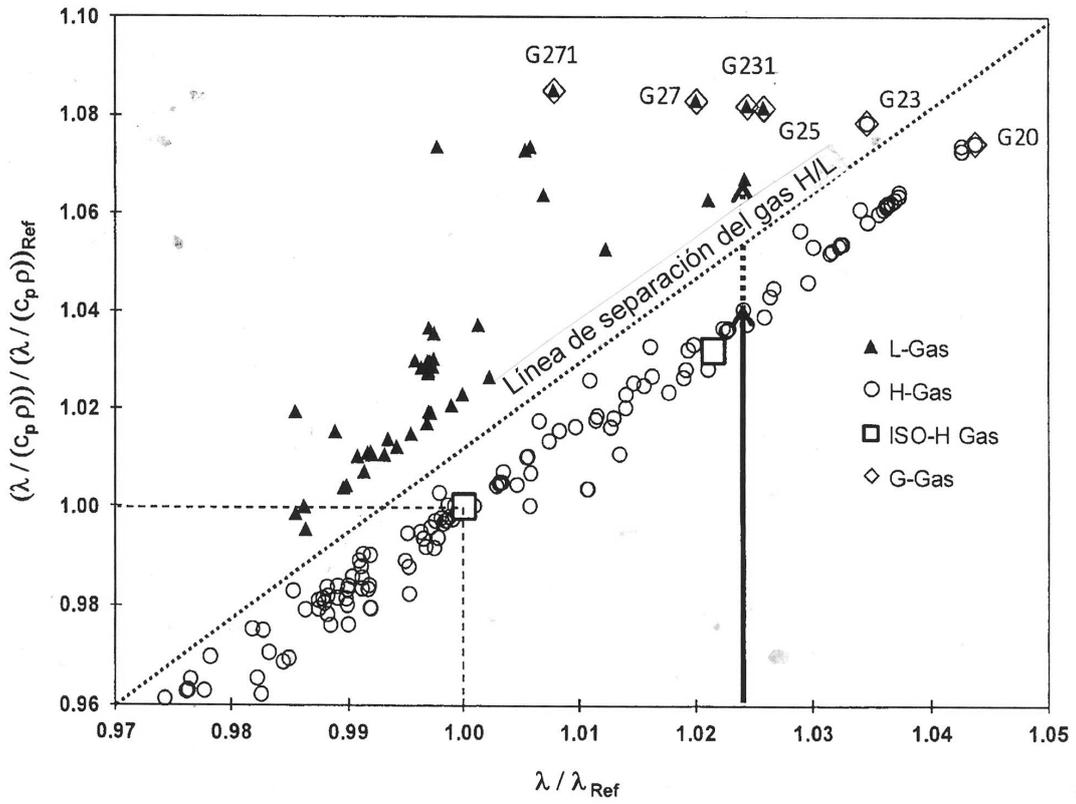


Fig. 10