



(10) **DE 10 2016 117 215 A1** 2018.03.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 117 215.4**

(22) Anmeldetag: **13.09.2016**

(43) Offenlegungstag: **15.03.2018**

(51) Int Cl.: **G01N 25/20** (2006.01)

G01F 1/684 (2006.01)

G01P 5/10 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,
DE**

(72) Erfinder:

**Hammerschmidt, Ulf, Dr., 38112 Braunschweig,
DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

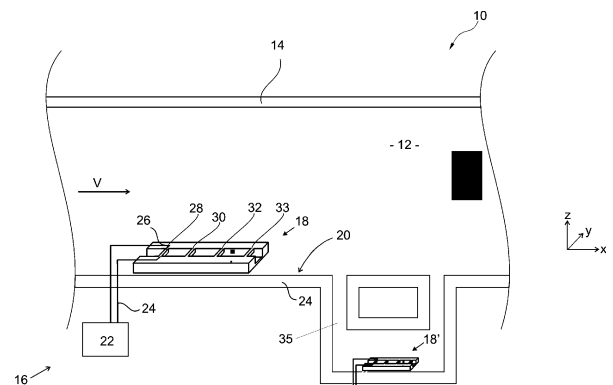
DE	102 06 275	B4
DE	10 2012 019 657	B3
DE	10 2014 010 939	B3
DE	11 2011 101 468	B4
DE	10 2014 008 284	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen einer Zusammensetzung eines gasförmigen Fluids und Gas-Zusammensetzungssensor**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen eines ein gasförmiges Fluids (12) charakterisierenden Parameters (B), mit den Schritten: impulsförmiges Erwärmen des Fluids (12) mittels einer Wärmequelle (28), Messen einer Temperatur (T_{30}) mit zumindest einem Thermometer (30) in Abhängigkeit von der Zeit (t) und Ermitteln des Parameters (B) anhand der gemessenen Temperatur (T_{30}). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass ein Abstand (x_{30}) des Thermometers (30) von der Wärmequelle (28) maximal 100 μm , insbesondere maximal 60 μm , beträgt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen eines die Zusammensetzung des gasförmigen Fluids charakterisierenden Parameters eines gasförmiges Fluids, mit den Schritten (a) impulsförmiges Erwärmen des zu vermessenden Fluids mittels einer Wärmequelle, (b) Messen einer Temperatur mit zumindest einem Thermometer in Abhängigkeit von der Zeit und (c) Ermitteln des Parameters anhand der gemessenen Temperatur.

[0002] Gemäß eines zweiten Aspekts betrifft die Erfindung einen Gas-Zusammensetzungssensor zum Bestimmen eines die Zusammensetzung eines gasförmigen Fluids charakterisierenden Parameters, mit (i) einer Wärmequelle zum impulsförmigen Erwärmen des zu vermessenden Fluids, (ii) zumindest einem Thermometer zum zeitabhängigen Messen einer Temperatur des Fluids und, (iii) einer Steuerung, die ausgebildet ist, zum automatischen impulsförmigen Erwärmen des zu vermessenden Fluids mittels der Wärmequelle, zeitabhängigen Messen der Temperatur des Fluids mittels des zumindest einen Thermometers und Ermitteln des Parameters anhand der zumindest einen gemessenen Temperatur.

[0003] Aus der DE 10 2012 019 657 ist bekannt, dass die Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturleitfähigkeit eines gasförmigen Fluids dazu verwendet werden können, das vermessene Fluid zu charakterisieren. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die Messunsicherheit bei derartigen Verfahren vergleichsweise hoch ist. Der Grund dafür ist, dass sich die Temperaturleitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit kaum ändern, auch wenn sich die Zusammensetzung des Fluids deutlich ändert. Das ist besonders bei brennbaren Gasen, wie beispielsweise bei Erdgas der Fall.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Bestimmung des die Zusammensetzung des gasförmigen Fluids charakterisierenden Parameters, insbesondere eines den Energieinhalt des Fluids charakterisierenden Energieinhalts-Parameters, zu verbessern.

[0005] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Verfahren, bei dem zumindest ein Abstand des zumindest einen Thermometers von der Wärmequelle maximal 100 μm , insbesondere maximal 60 μm , vorzugsweise maximal 40 μm , beträgt.

[0006] Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein gattungsgemäßes Verfahren, bei dem ein Abstand des Thermometers von der Wärmequelle maximal das 500-fache, vorzugsweise maximal das 300-fache, einer mittleren freien Weglänge des gasförmigen Fluids beträgt.

[0007] Die Erfindung löst das Problem zudem durch einen gattungsgemäßen Gas-Zusammensetzungssensor, bei dem ein Abstand zumindest einer der Thermometer von der Wärmequelle maximal 60 μm , vorzugsweise maximal 40 μm , beträgt.

[0008] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass der die Zusammensetzung des gasförmigen Fluids charakterisierende Parameter mit einer deutlich geringeren Messunsicherheit bestimmt werden kann.

[0009] Vorteilhaft ist zudem, dass die geringere Messunsicherheit mit keinem oder einem nur unwesentlich höheren apparativen Aufwand einhergeht. Es ist möglich, dass die Wärmequelle und das Thermometer auf einem integrierten Schaltkreis (Chip) integriert sind. Insbesondere ist es möglich, dass die Wärmequelle und das zumindest eine Thermometer durch Herausätzen aus einem Siliziumsubstrat hergestellt und/oder einstückig mit dem verbleibenden Teil des Substrats verbunden sind. Die Herstellung eines derartigen Gas-Zusammensetzungssensors ist kostengünstig in einem Massenverfahren möglich.

[0010] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass jeder Festkörper, insbesondere also die Wärmequelle und das Thermometer, von einem ballistischen Bereich umgeben sind, in dem die Wärmeleitung nicht durch Diffusion, sondern nur durch ballistischen Transport zutreffend beschreibbar ist. Der Grund dafür ist, dass in unmittelbarer Umgebung mit der Oberfläche des Festkörpers die Bewegungsmöglichkeiten der Gasteilchen in eine Richtung (nämlich auf die Wand des Festkörpers hin) eingeschränkt sind. Ein diffuseren Bereich beginnt ungefähr bei einem Abstand, der größer ist als das Zehnfache der mittleren freien Weglänge. Ist zwischen der Wärmequelle und dem Thermometer kein weiterer Festkörper angeordnet, was eine bevorzugte Ausführungsform darstellt, so beträgt der Abstand zwischen der Wärmequelle und dem Thermometer folglich höchstens das 500-fache der mittleren freien Weglänge.

[0011] Bei einem so kleinen Abstand zwischen der Wärmequelle und dem Thermometer führt die Auswertung der zeitabhängig gemessenen Temperatur, beispielsweise auf Basis der Laufzeit des Temperaturimpulses von der Wärmequelle zum Thermometer, unter Verwendung einer Formel auf Basis der Fourier-Gleichung zu einer systematischen Messabweichung.

[0012] Die systematische Messabweichung hängt von der Atom- oder Molekülmasse ab. Es ist möglich, dass die systematische Messabweichung zudem von anderen Parametern abhängt, die weiter unten erläutert werden. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Laufzeiten der Wärmeimpulse für unterschiedliche Fluide, die sich in ihren jeweiligen Temperaturleitfähigkeiten kaum unterscheiden. Überraschend dabei ist, dass der ballistische Bereich bereits dann einen signifikanten Einfluss hat, wenn er vergleichsweise klein ist gegenüber dem diffusiven Bereich.

[0013] An der Wand der Wärmequelle und des Thermometers kommt es zu einer unvollständigen Temperaturakkommodation, die sich als Differenz zwischen Gas- und Wandtemperatur an einer Wandoberfläche bemerkbar macht. In Analogie zur Impulsakkommodation wird die unvollständige Temperaturakkommodation durch einen Temperatur- oder Energieakkommodationskoeffizienten α_E beschrieben:

$$\alpha_E = \frac{T_e - T_r}{T_e - T_W}$$

[0014] Die Extremwerte sind: $\alpha_E = 1 \rightarrow T_r = T_W$ vollständige thermische Anpassung und $\alpha_E = 0 \rightarrow T_r = T_e$ keine Anpassung an Wandzustand ($q = 0$). Der Wärmestrom q lässt sich dann beschreiben durch

$$q = \frac{k_q}{6} \rho \tilde{c}_0 c_v \frac{\alpha_E}{2 - \alpha_E} (T_{W2} - T_{W1}). \quad (1)$$

[0015] Darin sind:

ρ Massendichte

$\tilde{c}_0 = \sqrt{3RT}$ (R: Gaskonstante, T: Temperatur)

c_v spezifische Wärmekapazität (bei konstantem Volumen)

k_q Wärmeleitfähigkeit Korrekturfaktor (i. Allgem. $k_q \approx 1$)

α_E : Temperatur-Akkommodationskoeffizient

T_{W1}, T_{W2} die Wandtemperaturen.

[0016] Der Akkommodationskoeffizient α_E ist abhängig von verschiedenen Parametern, wie Knudsen-Zahl, Gaszustand, Wandmaterial und Oberflächenstruktur. Der Vorfaktor vor dem Klammerausdruck mit der Differenz der Temperaturen unterscheidet sich von dem Vorfaktor bei diffusivem Wärmetransport.

[0017] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem die Zusammensetzung des gasförmigen Fluids charakterisierenden Parameter insbesondere ein den Energieinhalt des Fluids charakterisierender Energieinhalts-Parameter verstanden. Bei dem Parameter kann es sich beispielsweise um den Brennwert, Heizwert oder einen sonstigen den Energieinhalt des Fluids beschreibenden Parameter handeln.

[0018] Bei dem Parameter kann es sich um eine einkomponentige oder skalare Größe oder um eine mehrkomponentige oder vektorielle Größe handeln, beispielsweise den Vektor, dessen Einträge zwei, drei oder mehr Konzentrationen von Gasbestandteilen des Fluids sind.

[0019] Der den Energieinhalt des Fluids charakterisierende Energieinhalts-Parameter kann beispielsweise die Beschaffenheit und/oder die Klassifikation eines Erdgases sein. Derartige Klassifikationen geben an, um welche Art von Erdgas es sich handelt. Erdgas wird in verschiedenen Qualitäten gehandelt, die sich hinsichtlich Brennwert unterscheiden. Der Brennwert des Erdgases einer vorgegebenen Klassifikation ändert sich kaum mit der Zeit, hingegen unterscheiden sich die Brennwerte der Erdgase verschiedener Klassifikationen voneinander. Um das gelieferte Erdgas nach seinem Energieinhalt abrechnen zu können, ist es daher ausreichend, die Klassifikation des Erdgases zu kennen.

[0020] Unter dem impulsförmigen Erwärmen wird insbesondere ein Erwärmen verstanden, bei dem die Impulsdauer höchstens 500 Mikrosekunden, vorzugsweise höchstens 250 Mikrosekunden, beträgt. Gut geeignet ist eine Impulsdauer zwischen 80 und 120 Mikrosekunden. Vorzugsweise ist die Impulsdauer größer als 10 Mikrosekunden.

[0021] Unter dem zeitabhängigen Messen wird insbesondere verstanden, dass mehrere Messwerte für die Temperaturen in zeitlichen Abständen aufgenommen werden. Es ist möglich und stellt eine bevorzugte Ausführungsform dar, dass zu jedem Temperaturmesswert die Zeit erfasst und mit dem Messwert für die Temperatur verknüpft wird. Es ist aber auch möglich, dass mehrere Temperatur-Messwerte aufgenommen werden und daraus beispielsweise der Maximalwert ermittelt wird. Insbesondere führt das zeitabhängige Messen der Temperatur also zu einem Temperaturverlauf, wobei der Parameter aus dem Temperaturverlauf ermittelt wird.

[0022] Unter dem Ermitteln des Parameters aus der gemessenen Temperatur wird insbesondere verstanden, dass der Parameter in Abhängigkeit von zumindest einem Temperatur-Messwert ermittelt wird. Das kann beispielsweise dadurch geschehen, dass die Temperaturen oder ein aus den Temperaturen ermittelter Mess-Parameter mit einem in Versuchen ermittelten Kennfeld verglichen wird.

[0023] Vorzugsweise ist die Wärmequelle länglich ausgebildet, das heißt, dass sie in einer Raumdimension zumindest zehnmal so lang ist wie in den beiden senkrecht dazu verlaufenden anderen Raumdimensionen.

[0024] Vorzugsweise umfasst das Ermitteln des Parameters die Schritte eines Messens zumindest einer Laufzeitdifferenz zwischen dem Zeitpunkt des impulsförmigen Erwärmens und dem Zeitpunkt, zu dem eine vom Thermometer gemessene Temperatur ihr Maximum hat, sowie eines Bestimmens des Parameters aus der zumindest einen Laufzeitdifferenz. Es sei darauf hingewiesen, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass die Temperatur in einer Temperatureinheit gemessen wird. Insbesondere ist es auch möglich, dass ein Messwert, beispielsweise ein elektrischer Messwert, aufgenommen wird, der eindeutig mit der Temperatur zusammenhängt. Zur Berechnung der Laufzeitdifferenz ist es dann ausreichend, den Zeitpunkt zu bestimmen, zu dem dieser Messwert sein Maximum durchläuft.

[0025] Vorzugsweise sind die Wärmequelle und das Thermometer so relativ zueinander angeordnet sind, dass die erste Laufzeitdifferenz für das Thermometer, das der Wärmequelle am nächsten liegt, kleiner ist als das Fünffache einer Impulsdauer des impulsförmigen Erwärmens. Es wäre anzunehmen gewesen, dass ein so geringer Abstand zwischen Wärmequelle und Thermometer problematisch ist, weil dann die Näherung des Wärmeimpulses als deltafunktionsförmig keine gute Näherung mehr ist. Es hat sich aber gezeigt, dass so Gase unterschiedlicher Temperaturleitfähigkeiten besonders gut unterscheidbar sind.

[0026] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte (a) Messen einer zweiten Laufzeit zwischen dem Zeitpunkt des impulsförmigen Erwärmens in dem Zeitpunkt, zu dem eine am zweiten Thermometer anliegende Temperatur ihr Maximum hat, wobei das zweite Thermometer in einem zweiten Abstand von der Wärmequelle angeordnet ist, der größer ist als ein erster Abstand, in dem das erste Thermometer von der Wärmequelle angeordnet ist, und (b) Ermitteln des Parameters aus den Laufzeitdifferenzen. Günstig ist es, wenn der zweite Abstand größer ist als das 300-fache, insbesondere das 500-fache, der mittleren freien Weglänge der Gasteilchen des Fluids. In diesem Fall ist der Einfluss des ballistischen Bereichs auf die Messung mit dem zweiten Thermometer deutlich kleiner als auf die Messung mit dem ersten Thermometer, sodass die Kombination der beiden Messungen zu einer genaueren Bestimmung des Parameters führt.

[0027] Vorzugsweise beträgt der zweite Abstand zumindest das Doppelte, insbesondere zumindest das Dreifache, des ersten Abstands.

[0028] Vorzugsweise wird eine dritte Laufzeit zwischen der Wärmequelle und einem dritten Thermometer bestimmt, wobei der dritte Abstand des dritten Thermometers von der Wärmequelle größer ist als der zweite Abstand.

[0029] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte des Messens der Wärmeleitfähigkeit des Fluids und des Bestimmens der Zusammensetzung des Fluids aus den Laufzeitdifferenzen und der Wärmeleitfähigkeit. Wie die Wärmeleitfähigkeit gemessen werden kann, ist in den Patentanmeldungen DE 10 2014 010 939, DE 10 2012 019 657 und DE 10 2011 121 213 beschrieben und wird hier daher nicht weiter ausgeführt.

[0030] Erfindungsgemäß ist zudem ein Gaszähler mit einem erfindungsgemäßen Gas-Zusammensetzungssensor, wobei die Steuerung eingerichtet ist zum automatischen Ermitteln eines Durchflusses an gasförmigem Fluid und Ermitteln des die Zusammensetzung eines gasförmigen Fluids charakterisierenden Parameters in Form des Brennwertes. Vorzugsweise ist die Steuerung zudem eingerichtet zum automatischen Berechnen des Energieinhalts des durchgeflossenen Fluids, beispielsweise in Form des Produkts aus Durchfluss und Brennwert. Auf diese Weise kann auch bei schwankender Gaszusammensetzung stets nach bezogener Energie abgerechnet werden. Der Durchfluss ist insbesondere ein Massendurchfluss oder ein Volumendurchfluss.

[0031] Günstig ist es, wenn das Fluid bei der Messung der zumindest einen Laufzeitdifferenz relativ zur Wärmequelle ruht. Beispielsweise ist der Gas-Zusammensetzungssensor in einer Abzweigung der Durchleitung angeordnet, in der das gleiche Fluid vorliegt wie in der Durchleitung und in der das Fluid eine so geringe Geschwindigkeit hat, dass es als ruhend angesehen werden kann.

[0032] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt der Gaszähler einen Geschwindigkeitssensor zum Messen der Geschwindigkeit des Fluids und/oder des Durchflusses. Ein solcher Sensor ist in der DE 10 2012 019 657 oder der DE 10 2014 010 939 beschrieben. Aus der Geschwindigkeit des Fluids und/oder des Durchflusses einerseits und dem den Heizwert charakterisierenden Parameter wird von der Steuerung der Energieinhalt des durchgeflossenen Fluids berechnet.

[0033] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0034] Fig. 1 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Gaszählers mit einem erfindungsgemäßen Gas-Zusammensetzungssensor,

[0035] Fig. 2 eine schematische Totalansicht des Gas-Zusammensetzungssensors, und

[0036] Fig. 3 ein Diagramm, in dem die systematische Messabweichung in Abhängigkeit des Abstandes zwischen der Wärmequelle und dem Thermometer aufgezeichnet ist, und

[0037] Fig. 4 ein Diagramm, in dem ein Parameter B in Form einer Klassifikation für Erdgas und der zugehörige Brennwert sowie der Wobbe-Index W angegeben sind.

[0038] Fig. 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Gaszähler **10** zum Messen des energieinhalten gewichteten Durchflusses D_{BW} eines gasförmigen Fluids **12**, der eine Durchleitung **14** und ein Gas-Zusammensetzungssensor **16** aufweist. Der energieinhalten gewichtete Durchfluss D_{BW} ist das Produkt $D_{BW} = D \cdot H$ aus dem Durchfluss $D = \dot{V}$, der beispielsweise in Liter pro Sekunde angegeben wird, und dem Heizwert H oder alternativ dem Brennwert in Joule pro Liter. Es ergibt sich damit für den energieinhalten gewichteten Durchfluss D_{BW} die Dimension einer Energie pro Zeiteinheit. Bei dem Fluid **12** handelt es sich vorzugsweise um Erdgas. Alternativ oder zusätzlich erfasst der Gaszähler **10** die brennwertgewichtete Durchflussmenge, beispielsweise in Joule oder Kilowattstunden.

[0039] Der Gas-Zusammensetzungssensor **16** besitzt ein Messelement **18**, das beispielsweise dicht an einer Innenoberfläche **20** der Durchleitung **14** angeordnet ist. Das Messelement **18** ist mit einer Steuerung **22**, die selbsttätig das Messelement **18** ansteuert, mittels einer Leitung **24** verbunden.

[0040] Es ist zu erkennen, dass das Messelement **18** ein Substrat **26** aufweist, aus dem eine längliche Wärmequelle **28** durch Ätzen freigelegt wurde. Auf die gleiche Weise wurden aus dem Substrat **26** ein erstes Thermometer **30**, ein zweites Thermometer **32** und ein drittes Thermometer **33** herausgearbeitet.

[0041] Um die Gaszusammensetzung auch dann hochgenau messen zu können, wenn sich das Fluid **12** bewegt, kann das Messelement wie mit dem Bezugszeichen **18'** gekennzeichnet in einer strömungsgeschwindigkeitsberuhigten Zone, beispielsweise einer Abzweigung **35**, angeordnet sein. In der strömungsgeschwindigkeitsberuhigten Zone hat das Fluid eine Strömungsgeschwindigkeit v , die in guter Näherung als null angesehen werden kann. Meist ist die Strömungsgeschwindigkeit v in der strömungsgeschwindigkeitsberuhigten Zone deutlich kleiner als in der Durchleitung **14**.

[0042] Ist ein solches Messelement **18'** vorhanden, kann das Messelement **18** auch zum Messen der Geschwindigkeit v verwendet werden. Das entsprechende Verfahren ist in der DE 10 2012 019 657 oder der DE 10 2014 010 939 beschrieben.

[0043] Ist das Messelement **18** wie gezeigt in der Durchleitung **14** angeordnet, so wird die Gaszusammensetzung vorzugsweise dann ermittelt, wenn die Strömungsgeschwindigkeit v hinreichend klein ist. Dazu kann ebenfalls ein in der DE 10 2012 019 657 oder der DE 10 2014 010 939 beschriebenes Verfahren eingesetzt werden.

[0044] Fig. 2 zeigt in der Teilfigur 2a das Messelement **18** in einer vergrößerten Ansicht. Es ist zu erkennen, dass die Steuerung **22** die Wärmequelle **28** elektrisch über Leitungen **24.1**, **24.2** und daran jeweils anschlie-

ßende Leiterbahnen **36.1**, **36.2** kontaktiert. Die Wärmequelle **28** hat eine Länge L in y -Richtung, die deutlich größer ist als deren Breite und Dicke, also deren Ausdehnung in x -Richtung und z -Richtung.

[0045] Das erste Thermometer **30** ist auf die gleiche Weise kontaktiert, die Anschlüsse an die Steuerung **22** sind der Übersichtlichkeit halber aber nicht mit eingezeichnet. Das erste Thermometer **30** ist in Form einer Wheatstone-Brücke verschaltet, sodass sein elektrischer Widerstand zumindest weitgehend stromfrei gemessen werden kann. Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von der Temperatur T_{30} ist bekannt, sodass aus dem Widerstand auf die Temperatur T_{30} geschlossen werden kann. Ein erster Abstand x_{30} des ersten Thermometers **30** von der Wärmequelle **28** beträgt im vorliegendem Fall $40 \mu\text{m}$. Ein zweiter Abstand x_{32} zwischen dem zweiten Thermometer **32** und der Wärmequelle **28** beträgt $x_{32} = 100 \mu\text{m}$.

[0046] Wird der Gaszähler **10** wie gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen bei Normaldruck von $p = 1013 \text{ hPa}$ und einer Temperatur von $T = 23^\circ\text{C}$ mit Methan betrieben, so beträgt die mittlere freie Weglänge λ ungefähr $\lambda = 68 \text{ nm}$. Wie in dem Teilbild **2b** oben schematisch eingezeichnet ist, kann ein ballistischer Bereich B als die Hülle im Abstand von 10λ um die Wärmequelle **28** sowie die Thermometer **30**, **32** angesehen werden. Im ballistischen Bereich B kann die Wärmeausbreitung nicht durch Wärmeleitung nach den Fourier-Gleichungen beschrieben werden, sondern anhand von Gleichung (1). Die Ausdehnung des ballistischen Bereichs B zwischen der Wärmequelle **28** und dem ersten Thermometer **30** beträgt damit $2 \times 10 \lambda = 1,36 \mu\text{m}$. Das 50-fache der Ausdehnung des ballistischen Bereichs beträgt damit $86 \mu\text{m}$, was kleiner ist als der erste Abstand x_{30} . Ganz allgemein ist der erste Abstand bevorzugt größer als das Doppelte der mittleren freien Weglänge. Vorzugsweise ist der erste Abstand größer als $3 \mu\text{m}$.

[0047] Der Bereich D außerhalb des ballistischen Bereichs B ist der diffusive Bereich, in dem die Wärmeausbreitung durch die Fourier-Gleichung beschrieben werden kann.

[0048] Zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens gibt die Steuerung **22** einen kurzen Stromimpuls ab, sodass die Wärmequelle **28** einen Wärmeimpuls abgibt, dessen Impulsdauer beispielsweise höchstens $\tau = 100$ Mikrosekunden beträgt. Die Impulsdauer τ ist, wenn der Stromimpuls nicht streng rechteckförmig ist, diejenige Zeit, in der 95% der der Wärme des Wärmeimpulses abgegeben wurde. Simultan wird eine erste Temperatur T_{30} vom ersten Thermometer **30** in Abhängigkeit von der Zeit t gemessen. Aus dem so erhaltenen Temperaturverlauf $T_{30}(t)$ wird eine erste Laufzeit Δt_1 ermittelt, die nach dem Temperaturimpuls vergeht, bis das Temperaturmaximum das erste Thermometer **30** passiert hat. Auf die gleiche Weise werden in der vorliegenden Ausführungsform eine zweite Laufzeit Δt_2 aus den Temperatur-Messdaten $T_{32}(t)$, die mittels des zweiten Thermometers **32** zeitabhängig von der Steuerung **22** aufgenommen wird, und eine dritte Laufzeit Δt_3 aus den Temperatur-Messdaten $T_{33}(t)$, die mittels des dritten Thermometers **33** zeitabhängig von der Steuerung **22** aufgenommen wird, ermittelt.

[0049] Fig. 3a zeigt ein Diagramm, in dem die Laufzeit Δt des Wärmeimpulses in Abhängigkeit von dem ersten Abstand x_{30} (vgl. Fig. 2a) für verschiedene Fluide aufgetragen ist. Es ist zu erkennen, dass die Unterschiede mit abnehmendem ersten Abstand x_{30} größer werden.

[0050] Fig. 3b zeigt Laufzeiten Δt und Temperaturleitfähigkeiten a für verschiedene Fluide.

[0051] Fig. 4 zeigt ein Diagramm, in dem ein Parameter B in Form einer Klassifikation für Erdgas und der zugehörige Brennwert sowie der Wobbe-Index W angegeben sind. Der Parameter B ist Teil einer Menge B_i mit $i = 1, 2, \dots, N$, wobei N vorzugsweise höchstens 10, insbesondere höchstens 8 ist. Da die Menge der B_i relativ klein ist, kann aus der ersten Laufzeit Δt_1 oder dem Vektor $(\Delta t_1, \Delta t_2)$ aus der ersten und der zweiten Laufzeit mit hoher Sicherheit der Parameter B identifiziert werden. Anhand des Diagramms gemäß Fig. 4 kann daraus der Heizwert, der Brennwert und/oder der Wobbe-Index ermittelt werden.

Bezugszeichenliste

10	Gaszähler
12	Fluid
14	Durchleitung
16	Gas-Zusammensetzungssensor
18	Messelement
20	Innenoberfläche
22	Steuerung
24	Leitung

26	Substrat
28	Wärmequelle
30	erstes Thermometer
32	zweites Thermometer
33	drittes Thermometer
34	Leitung
λ_w	mittlere freie Weglänge
α	Temperaturleitfähigkeit
B	Parameter
D(= \dot{V})	Durchfluss
DBW	brennwertgewichteter Durchfluss
H	Heizwert
L	Länge
p	Druck
τ	Impulsdauer
t	Zeit
T₃₀	erste Temperatur
T₃₂	zweite Temperatur
x₃₀	erster Abstand
x₃₂	zweiter Abstand
Δt_1	erste Laufzeit
Δt_2	zweite Laufzeit
Δt_3	dritte Laufzeit
W	Wärmepfad

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102012019657 [0003, 0029, 0032, 0042, 0043]
- DE 102014010939 [0029, 0032, 0042, 0043]
- DE 102011121213 [0029]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen eines ein gasförmiges Fluids (12) charakterisierenden Parameters (B), mit den Schritten:

- (a) impulsförmiges Erwärmen des Fluids (12) mittels einer Wärmequelle (28),
- (b) Messen einer Temperatur (T_{30}) mit zumindest einem Thermometer (30) in Abhängigkeit von der Zeit (t) und
- (c) Ermitteln des Parameters (B) anhand der gemessenen Temperatur (T_{30}),

dadurch gekennzeichnet, dass

- (d) ein Abstand (x_{30}) des Thermometers (30) von der Wärmequelle (28) maximal 100 μm , insbesondere maximal 60 μm , beträgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln des Parameters die folgenden Schritte aufweist:

- (a) Messen zumindest einer Laufzeitdifferenz ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$) zwischen dem Zeitpunkt des impulsförmigen Erwärmens und dem Zeitpunkt, zu dem eine vom Thermometer (30, 32) gemessene Temperatur (T_{30}, T_{32}) ihr Maximum hat, und
- (b) aus der zumindest einen Laufzeitdifferenz ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$) Bestimmen des Parameters (B).

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (28) und das Thermometer (30, 32) so relativ zueinander angeordnet sind, dass die erste Laufzeitdifferenz (Δt_1) für das Thermometer (30), das der Wärmequelle (28) am nächsten liegt, kleiner ist als das Fünffache einer Impulsdauer des impulsförmigen Erwärmens.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid (12) relativ zur Wärmequelle (28) ruht.

5. Gas-Zusammensetzungssensor (16) zum Bestimmen eines die Zusammensetzung des gasförmigen Fluids (12) charakterisierenden Parameters (B), mit

- (i) einer Wärmequelle (28) zum impulsförmigen Erwärmen des zu vermessenden Fluids (12),
- (ii) zumindest einem Thermometer (30, 32, 33) zum zeitabhängigen Messen einer Temperatur des Fluids (12) und
- (iii) einer Steuerung (22), die ausgebildet ist zum automatischen
 - impulsförmigen Erwärmen des zu vermessenden Fluids (12) mittels der Wärmequelle (28),
 - zeitabhängigen Messen der Temperatur (T_{30}, T_{32}, T_{33}) des Fluids (12) mittels zumindest eines Thermometers (30, 32, 33) und
 - Ermitteln des Parameters (B) anhand der zumindest einen gemessenen Temperatur (T_{30}, T_{32}, T_{33}),

dadurch gekennzeichnet, dass

- (iv) ein Abstand (x_{30}) zumindest eines der Thermometer (30, 32) von der Wärmequelle (28) maximal 100 μm , insbesondere maximal 60 μm , beträgt.

6. Gas-Zusammensetzungssensor (16) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung (22) eingerichtet ist zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

7. Gas-Zusammensetzungssensor (16) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln des Parameters (B) anhand der zumindest einen gemessenen Temperatur (T_{30}, T_{32}, T_{33}) ein Auslesen und/oder Interpolieren eines Kennfelds ist, das der zumindest einen Laufzeitdifferenz ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$) den Parameter (B) zuordnet.

8. Gaszähler mit

- (a) einer Durchleitung (14) und
- (b) einem Gas-Zusammensetzungssensor (16) nach einem der Ansprüche 5 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuerung des Gas-Zusammensetzungssensors (16) eingerichtet ist zum automatischen

- Ermitteln eines Durchflusses an einem gasförmigen Fluid (12),
- Ermitteln des die Zusammensetzung eines gasförmigen Fluids (12) charakterisierenden Parameters (B), insbesondere eines Energieinhalts-Parameters, des Fluids (12) und
- Berechnen des Produkts aus Durchfluss (D) und Energieinhalts-Parameter (B).

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

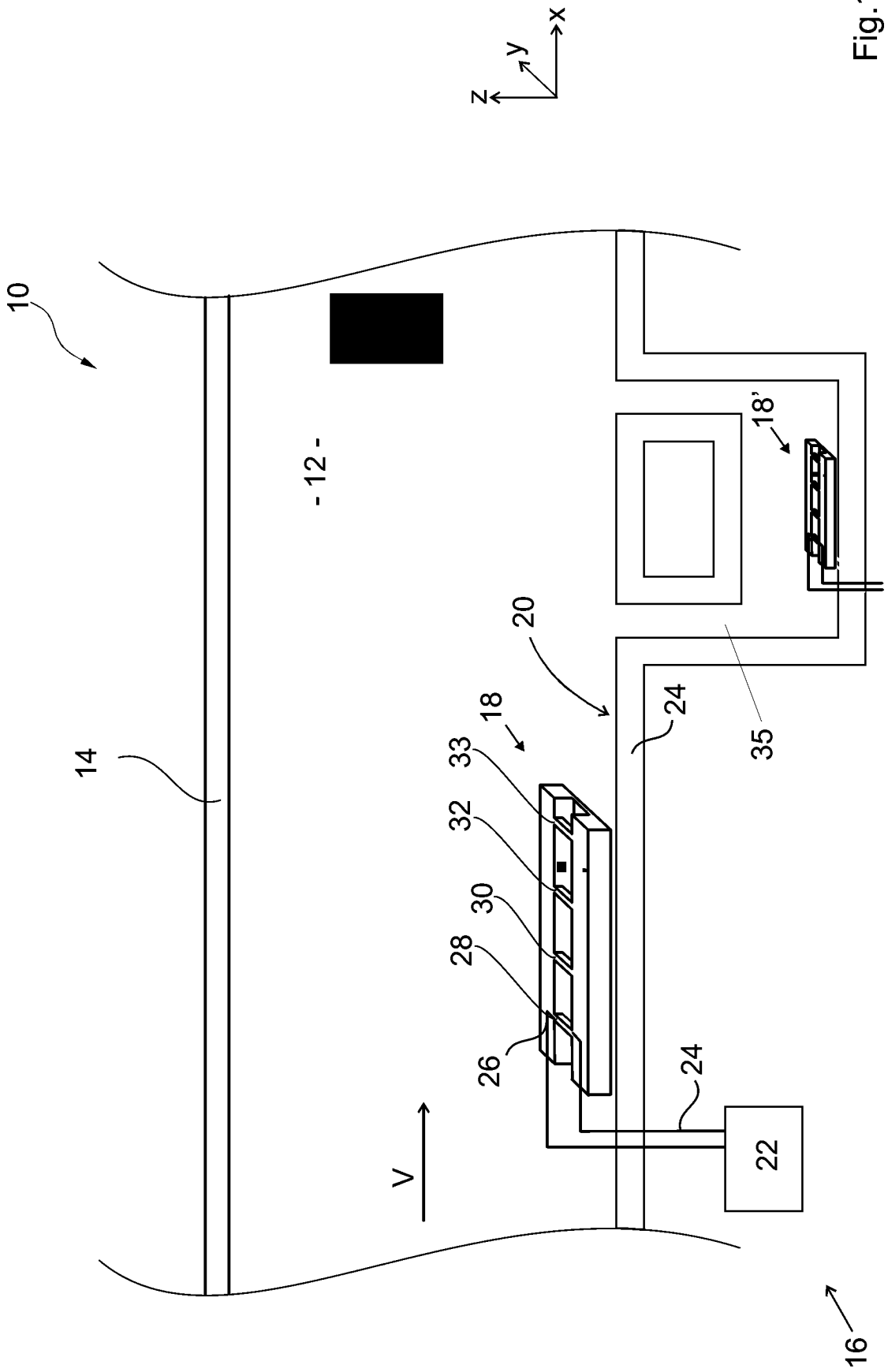


Fig.1

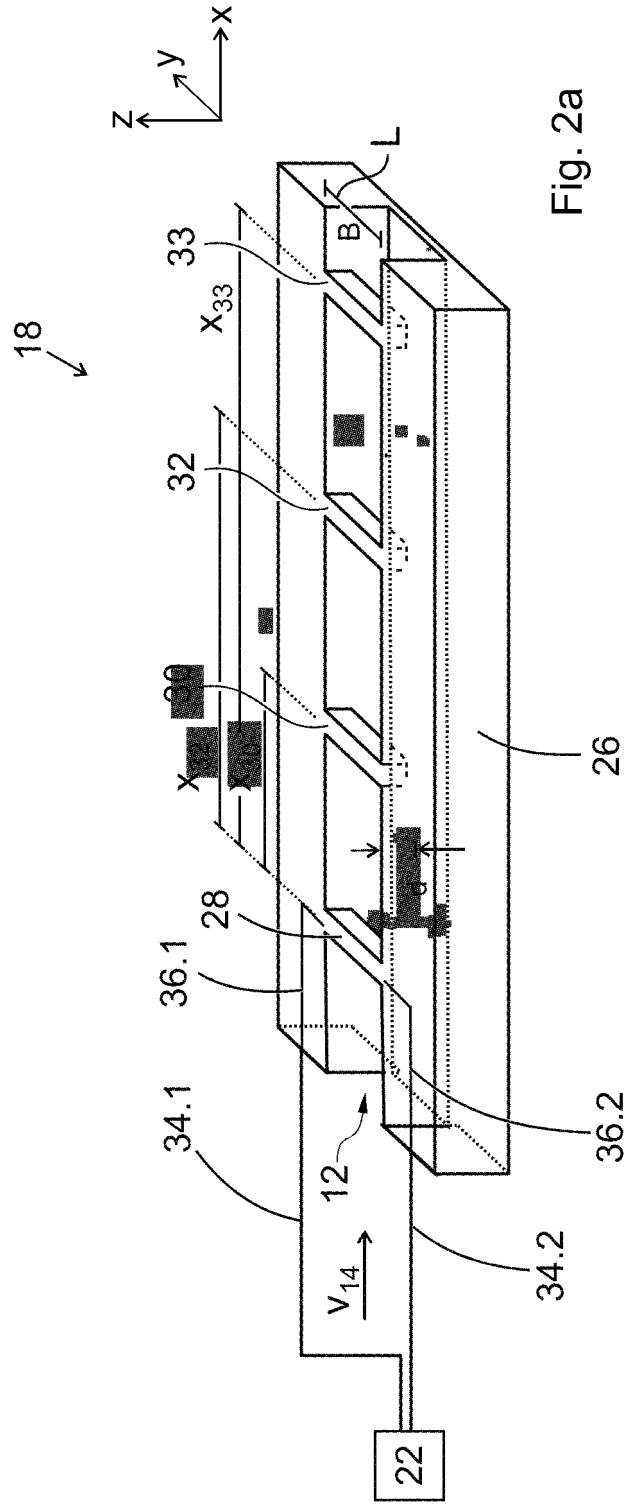
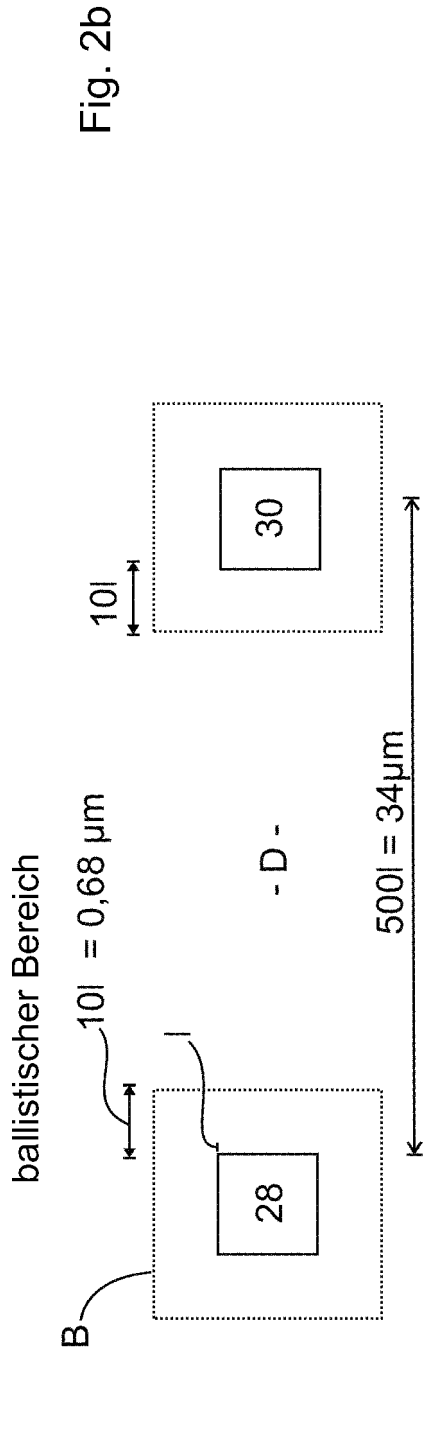


Fig. 2

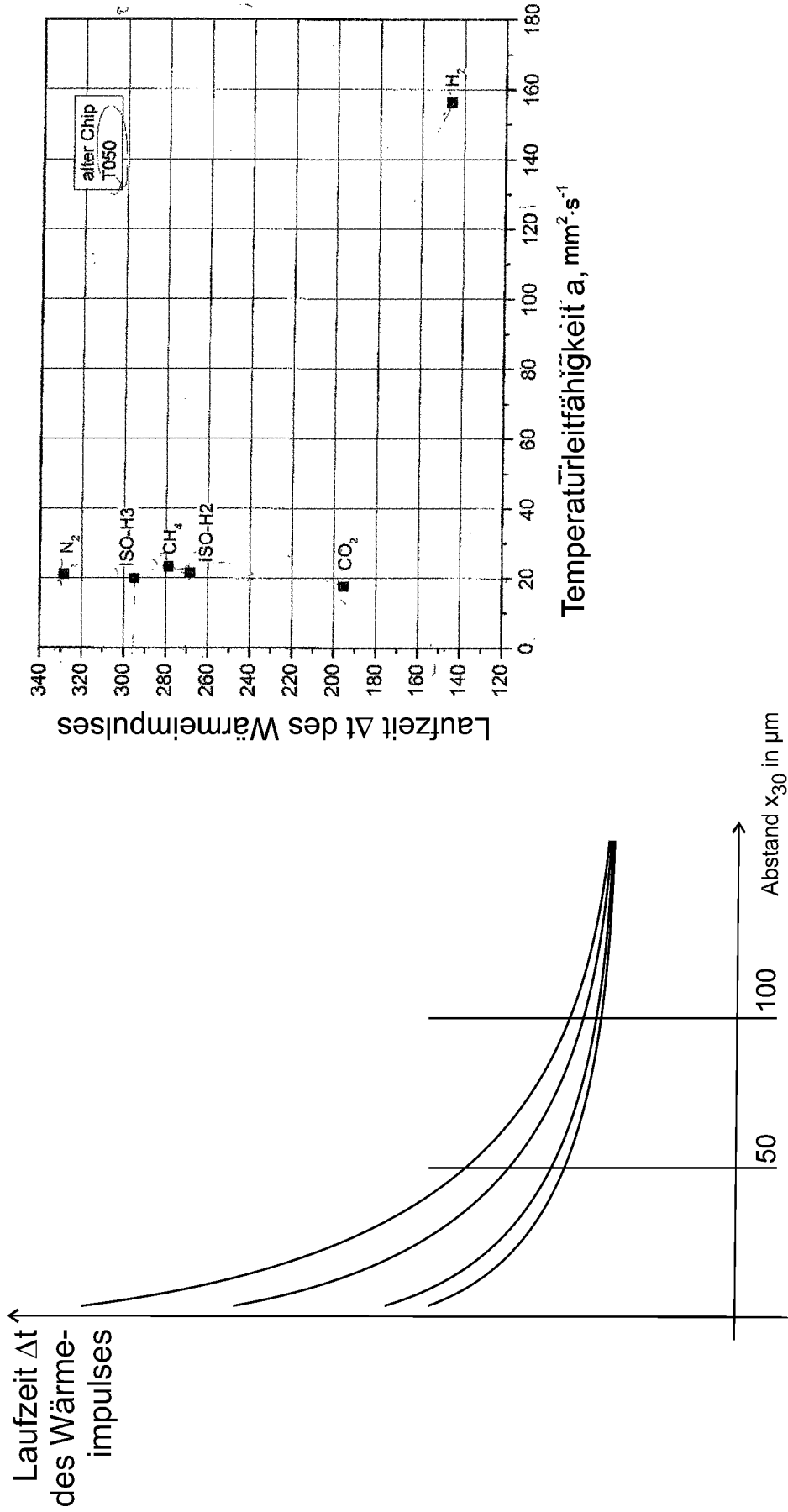


Fig. 3b

Fig. 3a

