



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 212 390.5**

(22) Anmeldetag: **21.11.2022**

(43) Offenlegungstag: **23.05.2024**

(51) Int Cl.: **G01N 33/22 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter  
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Pinter, Stefan, 72764 Reutlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

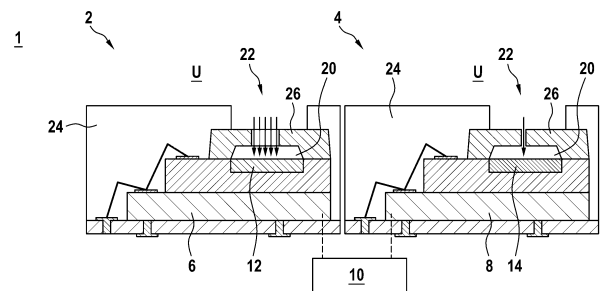
DE	10 2013 212 485	A1
DE	10 2014 106 729	A1
DE	692 31 977	T2

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur selektiven Messung von Gaskonzentrationen**

(57) Zusammenfassung: Offenbart ist ein Verfahren zum selektiven Ermitteln einer Konzentration eines Gases, wobei eine Wärmeleitfähigkeit eines Gasgemischs während mindestens einer Zeitdauer ermittelt wird, eine Viskosität des Gasgemischs während der mindestens einen Zeitdauer ermittelt wird, basierend auf einer ermittelten, zeitlichen Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und Viskosität eine charakteristische Diffusionskonstante mindestens eines Gases aus dem Gasgemisch bestimmt wird. Des Weiteren ist eine Sensoranordnung offenbart.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum selektiven Ermitteln einer Konzentration eines Gases sowie eine Sensoranordnung zum Durchführen eines derartigen Verfahrens.

### Stand der Technik

**[0002]** Mit der zunehmenden Verbreitung von Wasserstoff-basierten Systemen, wie beispielsweise Wasserstoff Brennstoff-Zellen, nimmt auch der Bedarf an Sensoren zur Überwachung derartiger Systeme zu. Insbesondere müssen Sensoren vorgesehen sein, die selektiv ein Wasserstoff-Leck rechtzeitig erkennen, um die Entstehung von Knallgas in der Umgebung der Systeme zu vermeiden bzw. davor warnen zu können. Es besteht somit ein Bedarf an zuverlässigen und schnellen Sensoren zur Wasserstoffdetektion, die eine Wasserstoffkonzentration in der Luft oder einem anderen Medium messen können.

**[0003]** Die Messung von Wasserstoff wird häufig mit Hilfe eines kalorimetrischen Prinzips realisiert. Üblicherweise beruht dieses Messprinzip darauf, dass bei gleichen Umgebungsbedingungen Wasserstoff gegenüber Luft eine höhere Wärmeleitfähigkeit besitzt. Problematisch ist jedoch die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch andere Gase, wie beispielsweise Helium und Methan. Dies resultiert in einer reduzierten Selektivität, wodurch ein derartiger Sensor neben Wasserstoff auch auf andere Gase oder Wasserdampf reagieren kann.

### Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe kann darin gesehen werden, ein Verfahren zum Messen von Gaskonzentrationen, insbesondere von Wasserstoffkonzentrationen, mit einer verbesserten Selektivität vorzuschlagen.

**[0005]** Diese Aufgabe wird mittels des jeweiligen Gegenstands der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von jeweils abhängigen Unteransprüchen.

**[0006]** Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum selektiven Ermitteln einer Konzentration eines Gases bereitgestellt. In einem Schritt wird eine Wärmeleitfähigkeit eines Gasgemischs während mindestens einer Zeitdauer ermittelt. In einem parallel ausgeführten oder anschließend ausgeführten Schritt wird eine Viskosität des Gasgemischs während der Zeitdauer ermittelt. Die Zeitdauer zum Ermitteln der Viskosität und die Zeitdauer zum Ermitteln der Wärmeleitfähigkeit können vorteilhafterweise gleich lang ausgestaltet sein. Anschließend

wird basierend auf einer ermittelten, zeitlichen Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und Viskosität eine charakteristische Diffusionskonstante mindestens eines Gases aus dem Gasgemisch bestimmt.

**[0007]** Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird eine Sensoranordnung mit mindestens zwei Sensoren zur Ermittlung von Viskositäten und Wärmeleitfähigkeiten von Gasgemischen und mit mindestens einer Steuereinheit zum Auswerten von durch die Sensoren ermittelten Messdaten bereitgestellt. Die Sensoranordnung ist dazu eingerichtet, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Die mindestens zwei Sensoren der Sensoranordnung können voneinander getrennte Sensoren oder als zusammenhängende bzw. integrierte Teilsensoren eines Sensorsystems ausgestaltet sein.

**[0008]** Durch die Messung der Gasviskosität bzw. der Viskosität eines Gasgemischs, der Wärmeleitfähigkeit und/oder ihrer zeitlichen Änderung während der Zeitdauer in einer Sensorkavität oder mehreren Sensorkavitäten können die Art des Gases sowie ihre Konzentration in einem anderen Gas, wie beispielsweise Luft, bestimmt werden. Bei einer Gasbeimischung eines Gases in Luft werden bei bekannter Temperatur (und konstantem Druck) die Änderung der Gasviskosität und die Änderung der Wärmeleitfähigkeit zueinander in Beziehung gesetzt. Aus einer derartigen Relation kann auf die Art des Gases und auf ihre Konzentration in der Luft geschlossen werden. Dabei kann generell auf eine Art des Gases bzw. das gasförmige Element aufgrund der ermittelten Wärmeleitfähigkeit und der ermittelten Viskosität geschlossen werden. Eine zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität ermöglichen eine besonders präzise Identifizierung des gasförmigen Elements und Bestimmung einer Zusammensetzung des Gasgemisches. Das Gasgemisch kann hierbei aus zwei oder mehr Komponenten bzw. Elementen oder Molekülen bestehen.

**[0009]** Die Sensoranordnung kann vorteilhafterweise in Form eines oder mehrerer MEMS-Sensoren ausgestaltet sein. Für die Messung der Gasviskosität können handelsübliche MEMS-Beschleunigungssensoren mit geringfügigen Modifikationen verwendet werden. Der Zusammenhang der Viskosität bzw. der Wärmeleitfähigkeit eines Gasgemisches von der Gastemperatur, vom Gasdruck und den jeweiligen Gaskonzentrationen ist aus der Literatur bekannt, sodass mit Hilfe der durchgeführten Messungen die Gaskonzentration bei bekannter Temperatur hergeleitet bzw. mit einer hohen Genauigkeit berechnet werden kann.

**[0010]** Bei einem Ausführungsbeispiel werden absolute Werte oder eine zeitliche Veränderung der Werte für die Wärmeleitfähigkeit und die Viskosität ermittelt. Hierdurch kann basierend auf der verwen-

deten Messmethode eine Vielzahl von zusätzlichen Informationen zur Ermittlung der Konzentration des analysierten Gasgemischs erlangt werden.

**[0011]** Nach einer weiteren Ausführungsform werden die Wärmeleitfähigkeit und die Viskosität dazu ermittelt, eine zeitliche Veränderung einer Konzentration zumindest eines Gases des Gasgemischs, welches aus mehreren Gasen besteht, zu berechnen. Dabei kann die Konzentrationsänderung während eines Einströmens des zu analysierenden Gasgemischs in mindestens eine Messkavität der Sensoranordnung ermittelt werden. Ein Beginn der Messung lässt hierbei das zu analysierende Gasgemisch in die Messkavität hineinströmen. Anhand einer zeitlichen Veränderung der Konzentration des Gases wird eine für das Gas charakteristische Diffusionskonstante berechnet. Durch diese Maßnahme kann ein oder mehrere Gase des Gasgemischs mittels ihrer charakteristischen Diffusionskonstante selektiv identifiziert werden. Neben der Relation zwischen der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität kann durch die Bestimmung der Diffusionskonstante eine redundante Messung realisiert werden, die eine besonders robuste Ermittlung von mindestens einem Gas des Gasgemischs zulässt.

**[0012]** Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die berechnete Diffusionskonstante mit in einem Speicher hinterlegten Diffusionskonstanten, die unterschiedlichen Gasen zugewiesen sind, verglichen. Anschließend wird mindestens ein Gas anhand des Abgleichs der berechneten Diffusionskonstante identifiziert. Aus dem zeitlichen Verlauf der Konzentration des von außen in ein Sensorvolumen bzw. Messkavität einströmenden Gases lässt sich die für das einströmende Gas charakteristische Diffusionskonstante im Trägergas bzw. Gasgemisch bestimmen. Die charakteristischen Diffusionskonstanten für übliche Gase sind bereits bekannt und können in dem Speicher gespeichert werden, um mit Hilfe eines technisch einfachen Vergleichs die messtechnisch ermittelten Diffusionskonstanten zu bestimmten Gasen zuzuweisen.

**[0013]** Nach einer weiteren Ausführungsform wird das Gasgemisch in mindestens zwei Kavitäten durch zwei unterschiedlich ausgestaltete Einlässe hineingeleitet. Anschließend werden in den zwei Kavitäten die zeitlichen Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Viskosität ermittelt. Anhand der zeitlichen Veränderung der Viskosität und/oder der Wärmeleitfähigkeit in zwei unterschiedlichen bzw. voneinander getrennten Kavitäten mit unterschiedlichen Gaseinlasskanalgeometrien kann auch auf die Diffusionseigenschaft der einströmenden Gase geschlossen werden.

**[0014]** Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird das Gasgemisch durch Einlässe in Form von

Öffnungen mit unterschiedlichen Abmessungen und/oder durch Arrays mit einer Vielzahl von Öffnungen in die Kavitäten hineingeleitet. Der Gasaustausch zwischen einer zu analysierenden Umgebung und den Messkavitäten bzw. Kavitäten der Sensoranordnung erfolgt durch Öffnungen. Vorteilhafterweise kann der Gasaustausch durch Diffusion durch den Einlass bzw. die Öffnungen erfolgen. Für einen schnellen Gasaustausch und damit einer kurzen Ansprechzeit der Sensoranordnung kann die Geometrie des Einlasses bzw. Gaszugangskanals im Sensorgehäuse und in der Kappe der Sensoranordnung derart auszulegen, dass ein möglichst großer Gasstrom stattfinden kann. Hierfür kann der Einlass eine möglichst große Querschnittsfläche und eine möglichst geringe Länge aufweisen.

**[0015]** Alternativ oder zusätzlich kann eine Messkavität vor Partikeln und Verschmutzung geschützt werden, wenn die Öffnung eine möglichst kleine Querschnittsfläche aufweist. Für eine kurze Ansprechzeit kann eine Vielzahl von derartigen Öffnungen vorgesehen sein, die in Form eines Arrays ausgestaltet sind.

**[0016]** Die Einlässe weisen somit viele kleine Öffnungen auf, die sich durch das Sensorgehäuse und optional durch eine Kappe oder Kappensubstrat hindurch erstrecken.

**[0017]** Nach einer weiteren Ausführungsform wird das Gasgemisch durch Einlässe in die mindestens zwei Kavitäten eines Sensors oder in Kavitäten von mehreren Sensoren hineingeleitet. Je nach Ausgestaltung der Sensoranordnung können somit mehrere separate Sensoren oder ein modifizierter Sensor mit mehreren Kavitäten zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt werden.

**[0018]** Beispielsweise können zwei Sensoren für die Viskositätsmessung örtlich nahe beieinander mit getrennten Gaseintrittskanälen bzw. Einlässen installiert werden. Ein erster Sensor kann einen Einlass aufweisen, welcher einen gegenüber einem Einlass eines zweiten Sensors größeren Diffusionsgasstrom ermöglicht. Dies kann beispielsweise durch einen oder mehrere Gaseintrittskanäle mit einem großen Querschnitt und einer kurzen Länge erzielt werden. Da der Gasaustausch durch Diffusion erfolgt, wird sich die Gaskonzentration in der Kavität des ersten Sensors der in der Umgebung vorliegenden Gaskonzentration schneller annähern als eine Konzentration in der Kavität des zweiten Sensors. Im zweiten Sensor wird eine bestimmte Konzentration somit verzögert bzw. zu einem späteren Zeitpunkt erreicht. Analog hierzu können mehrere Sensoren oder ein Sensor mit mehreren Kavitäten dazu eingesetzt werden, eine Messung der Wärmeleitfähigkeit des Gasgemischs durchzuführen.

**[0019]** Um das Signal zu Rausch-Verhältnis zu verbessern, kann eine Vielzahl von Sensoren zur Messung der Viskosität oder der Wärmeleitfähigkeit verwendet werden.

**[0020]** Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird eine zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität während der mindestens einen Zeitdauer ermittelt, wobei die zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit in Relation zu der zeitlichen Veränderung der Viskosität gesetzt wird. Anschließend werden basierend auf der Relation zwischen der zeitlichen Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und der zeitlichen Veränderung der Viskosität mindestens ein Gas des Gasgemischs oder eine Gruppe von möglichen Gasen identifiziert. Eine derartige Relation kann beispielsweise durch einen gemeinsamen Anstieg der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit gegeben sein. Ein derartiges Messergebnis kann beispielsweise auf Helium in dem Gasgemisch deuten.

**[0021]** Ein gemeinsames Fallen der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit kann beispielsweise auf ein Vorliegen von Kohlenstoffdioxid im Gasgemisch hinweisen.

**[0022]** Steigt hingegen die Viskosität bei einer abfallenden Wärmeleitfähigkeit, deutet das Messergebnis auf Argon in dem Gasgemisch. Im Unterschied hierzu kann eine während der Zeitdauer fallende Viskosität bei einer zeitgleich ansteigenden Wärmeleitfähigkeit beispielsweise auf ein Vorliegen von Wasserstoff oder Methan im Gasgemisch deuten.

**[0023]** Nach einer weiteren Ausführungsform wird eine zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität bei unterschiedlichen Temperaturen des Gasgemischs ermittelt. Die Kenntnis des Verlaufs der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit über der Gaskonzentration und bei verschiedenen Temperaturen erlaubt es, aus der Änderung beider Größen (Viskosität und Wärmeleitfähigkeit) eine zweite Gaskomponente des Gasgemischs zu identifizieren und seine Konzentration zu bestimmen.

**[0024]** Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die Viskosität des Gasgemischs während des mindestens einen Zeitpunkts oder der Zeitdauer anhand von Messdaten eines Beschleunigungssensors ermittelt. Die Messdaten werden vorteilhafterweise während eines Selbsttests zum Prüfen einer mechanischen Dämpfung des Beschleunigungssensors ermittelt. Hierdurch können bereits handelsübliche Beschleunigungssensoren zum Durchführen des Verfahrens verwendet werden, wodurch eine besonders kosteneffiziente Umsetzung der Sensoranordnung möglich ist.

**[0025]** Bei der Durchführung des Selbsttests wird nach einer Auslenkung der beweglichen Masse des Sensorkerns des Beschleunigungssensors dessen Abklingkurve ausgewertet. Der MEMS-Sensor wird zusammen mit einer Steuereinheit, beispielsweise in Form eines ASICs, in einem Sensorgehäuse integriert. Die Parameter der Abklingkurve lassen sich über die angeschlossene Steuereinheit auslesen. Diese Messung wird üblicherweise beim Endmessen vorgenommen, sie kann aber auch zu anderen Zeitpunkten durchgeführt werden, um die Viskosität zu bestimmen.

**[0026]** Bei einem Ausführungsbeispiel weisen die mindestens zwei Sensoren jeweils mindestens eine Kavität auf. Jede Kavität der Sensoren ist vorteilhafterweise durch unterschiedlich ausgestaltete Einlässe mit einer Umgebung verbunden. Dabei können die Einlässe der unterschiedlichen Sensoren Gas-eintrittsöffnungen mit unterschiedlichen Größen bzw. Querschnittsflächen aufweisen, um einen Unterschied in der Geschwindigkeit des Gastransfers zwischen der Umgebung und den Kavitäten zu bewirken. Beispielsweise können die jeweiligen Einlässe einen Unterschied in den Querschnittsflächen von 5 % bis 50 % aufweisen.

**[0027]** Im Folgenden werden anhand von stark vereinfachten schematischen Darstellungen bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Hierbei zeigen

**Fig. 1-4** schematische Darstellungen zum Veranschaulichen von Sensoren einer erfindungsgemäßen Sensoranordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel,

**Fig. 5-8** Diagramme zum Verdeutlichen von möglichen Relationen zwischen Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Gasen,

**Fig. 9** ein schematisches Diagramm, welches Viskositäten und Wärmeleitfähigkeiten bei einer konstanten Temperatur und einem konstanten Druck für unterschiedliche Gase illustriert,

**Fig. 10** ein schematisches Diagramm zum Veranschaulichen einer Messung einer Konzentration eines Gases des Gasgemischs während einer Zeitdauer und

**Fig. 11** ein schematisches Diagramm zum Veranschaulichen einer Relation zwischen einer Viskosität und einem Diffusionskoeffizienten für unterschiedliche Gase.

**[0028]** Die **Fig. 1** bis **Fig. 4** zeigen schematische Darstellungen zum Veranschaulichen von Sensoren 2, 4 einer erfindungsgemäßen Sensoranordnung 1 gemäß einem Ausführungsbeispiel. In der **Fig. 1** ist ein Querschnitt der beispielhaften Sensoranordnung 1 mit einem ersten Sensor 2 und einem zweiten Sen-

sor 4 zur Messung von Viskositäten und Wärmeleitfähigkeiten von Gasgemischen gezeigt.

**[0029]** Jeder Sensor 2, 4 weist eine integrierte Steuereinheit 6, 8 in Form eines ASIC auf. Alternativ kann eine externe Steuereinheit 10 vorgesehen sein. Die Steuereinheiten 6, 8, 10 dienen jeweils oder in Kombination zum Auswerten von durch die Sensoren 2, 4 ermittelten Messdaten. Die Sensoranordnung 1 ist dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen, welches im Folgenden näher beschrieben wird. Die mindestens zwei Sensoren 2, 4 der Sensoranordnung 1 sind beispielhaft als voneinander getrennte Sensoren in Form von Beschleunigungssensoren ausgestaltet. Alternativ können die Sensoren auch als zusammenhängende bzw. integrierte Teilsensoren eines Sensorsystems ausgestaltet sein.

**[0030]** Die jeweiligen Sensoren 2, 4 weisen somit einen Sensorkern 12, 14 in MEMS-Bauweise auf. Die **Fig. 2** veranschaulicht in einer Draufsicht das MEMS-Bauteil mit dem Sensorkern 12, 14 ohne eine Kappe bzw. ein Kappensubstrat 26. Die **Fig. 3** zeigt einen weiteren Querschnitt des MEMS-Bauelements mit Sensorkern 12, 14.

**[0031]** Für die Messung der Viskosität werden die Sensoren 2, 4 in Form von Beschleunigungssensoren verwendet, die einen integrierten Selbsttest zulassen. Bei diesem Selbsttest wird nach einer Auslenkung einer beweglichen Masse 16 des Sensorkerns 12, 14 dessen Abklingkurve ausgewertet, um daraus die Dämpfung des Schwingungssystems abzuleiten. Eine bewegliche Masse mit daran befestigten Elektroden 16 ist an Federn 18 befestigt und kann entlang einer lateralen Richtung A ausgelenkt werden bzw. zum Schwingen gebracht werden.

**[0032]** Im Unterschied zu einem üblichen Beschleunigungssensor, welcher eine hermetisch eingeschlossene Kavität 20 aufweist, weisen die Sensoren 2, 4 einen Einlass 22 zum Zuführen eines Gasgemischs aus einer Umgebung U des Sensors 2, 4 in die Kavität 20 auf (s. Änderungen/Anmerkungen auf **Abb. 2, 3, 4**). Der Einlass 22 weist eine Vielzahl von Öffnungen auf, durch welche das Gasgemisch diffundieren kann. Dabei erstreckt sich der Einlass 22 durch ein Gehäuse 24 bzw. Mold-Gehäuse und durch ein Kappensubstrat 26 hindurch, welches die Kavität 20 zumindest bereichsweise bedeckt. Die **Fig. 4** zeigt eine Draufsicht auf das Kappensubstrat 26 mit einem Array aus einer Vielzahl von Öffnungen als Einlass 22 für den Gaszugang zur Kavität 20.

**[0033]** Der Einlass 22 des ersten Sensors 2 weist eine höhere Anzahl von Öffnungen als der Einlass 22 des zweiten Sensors 4, wodurch der erste Sensor 2 gegenüber dem zweiten Sensor 4 schneller auf Konzentrationsänderungen reagieren kann.

**[0034]** Die Messung der Wärmeleitfähigkeit kann beispielsweise mittels eines kalorimetrischen Prinzips realisiert werden. Hierzu können im Bereich der Kavitäten 20 nicht dargestellte Messelektroden und Heizelemente vorgesehen sein.

**[0035]** Anstelle einer Aussage zur Dichtheit der Kavität 20 wird die bewegliche Masse 16 ausgelenkt, um eine Viskosität des eingeleiteten Gasgemischs zu ermitteln. Diese Abhängigkeit zwischen der Konzentration eines Gases in der Luft von der Viskosität und Wärmeleitfähigkeit ist in den **Fig. 5 bis 8** beispielhaft veranschaulicht. Insbesondere zeigen die **Fig. 5 bis 8** schematische Diagramme zum Verdeutlichen von möglichen Relationen zwischen Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Gasen. Zu Veranschaulichung ist die Zuordnung der in den Diagrammen dargestellten Daten zu den entsprechenden Achsen in den Diagrammen durch Pfeile illustriert.

**[0036]** Bei einem zumindest teilweisen Austausch von Luft durch ein Gas (bei konstantem Druck und Temperatur) können die folgenden Fälle auftreten:

- Viskosität und Wärmeleitfähigkeit steigen gemeinsam an (z.B. Helium)
- Viskosität und Wärmeleitfähigkeit fallen gemeinsam ab (z.B. Kohlendioxid)
- Viskosität steigt an und Wärmeleitfähigkeit fällt ab (z.B. Argon)
- Viskosität fällt ab und Wärmeleitfähigkeit steigt an (z.B. Wasserstoff, Methan)

**[0037]** Diese Fälle sind in den **Fig. 5 bis 8** veranschaulicht. Dabei wird eine beispielhafte konstante Temperatur von 0°C und ein beispielhafter konstanter Druck von 1013 hPa für das Gasgemisch angenommen.

**[0038]** Die **Fig. 5** zeigt die dynamische Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Luft und Helium. In der **Fig. 6** ist die dynamische Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Luft und Kohlendioxid veranschaulicht. Die **Fig. 7** zeigt die dynamische Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Luft und Argon. In der **Fig. 8** ist die dynamische Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Luft und Wasserstoff gezeigt. Zur Vereinfachung sind in den **Fig. 5 bis 8** linearere Verläufe über der Gaskonzentration gezeigt.

**[0039]** Dabei kann bereits diese Relation zwischen der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit bereits zur Unterscheidung und Eingrenzung von möglichen Gasen im Gasgemisch herangezogen werden. Wird beispielsweise bei 0°C ein Abfallen der Viskosität und gleichzeitig ein Ansteigen der Wärmeleitfähigkeit registriert, so kommen aus einer Reihe von möglichen Gasen für die zweite Gaskomponente lediglich Wasserstoff und Methan in Frage. Dies ist beispiel-

haft in der **Fig. 9** veranschaulicht. In der **Fig. 9** zeigen die umrandeten Bereiche beispielhaft die Messunsicherheit bei einem Methan-Luft-Gemisch oder Wasserstoff-Luft-Gemisch

**[0040]** Ändert sich die Viskosität des Gasgemischs bzw. des Luft-Gas-Gemisches beispielsweise von 17,2  $\mu\text{Pas}$  auf z.B. 16  $\mu\text{Pas}$ , und die Wärmeleitfähigkeit von 24,1 auf z.B. 42 [ $\text{mW}/(\text{mK})$ ], so ist diese Veränderung kennzeichnend für Wasserstoff als zweite Gaskomponente. Mit der vereinfachenden Annahme des linearen Zusammenhanges zwischen Viskosität bzw. Wärmeleitfähigkeit und der Gaskonzentration ergibt sich ein Mischungsverhältnis von 87,5% Luft und 12,5% Wasserstoff, welches durch das in **Fig. 8** gezeigte Diagramm bestimmbar ist.

**[0041]** In der Realität sind je nach Wechselwirkung zwischen den Gasteilchen positive oder negative Abweichungen vom linearen Verlauf der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit von der Gaskonzentration vorhanden. Da die Viskosität ein örtlicher Impulstransfer im Fluid ist, wird die Viskosität eines Gasgemisches stark vom Impuls der einzelnen Gaskomponenten und von ihrer Konzentration bestimmt. Entsprechende Näherungen können durch theoretische Formeln oder mittels im Vorfeld ermittelter Kalibrierungsmessungen bei unterschiedlichen Temperaturen und Drücken bestimmt und für die Messung der Gaskonzentration anhand der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit verwendet werden. Die Kenntnis des Verlaufs der Viskosität und der Wärmeleitfähigkeit über der Gaskonzentration und bei verschiedenen Temperaturen erlaubt es, aus der Änderung beider Größen (Viskosität und Wärmeleitfähigkeit) die zweite Gaskomponente zu identifizieren und seine Konzentration zu bestimmen.

**[0042]** Beispielsweise beschreibt das sogenannte Sutherland-Modell die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Gasen. Damit lässt sich mit vereinfachten Näherungen die experimentell ermittelte Viskosität vieler Gase über einen großen Temperaturbereich annähern. Die Wärmeleitfähigkeit kann ebenfalls theoretisch angenähert werden.

**[0043]** Da Wärmeleitfähigkeit und Viskosität Transportphänomene in Gasen sind (Transport von Energie oder von Impuls), gibt es zwischen ihnen einen Zusammenhang. Die sogenannte Chapman-Enskog Theorie beschreibt diesen Zusammenhang für einige Gase. Die Wärmeleitfähigkeit und die Viskosität sind unabhängig vom Druck. Erst wenn die mittlere freie Weglänge der Gasteilchen in die Größenordnung des Plattenabstandes (laterale oder vertikale Abstände in der Kavität 20 zwischen der beweglichen Masse 16 und fest stehenden Elementen in der Kavität 20 in **Fig. 2** und 3) kommt, nimmt ihr Wert proportional zum Druck ab.

**[0044]** Durch die Verwendung von zwei Sensoren 2, 4 kann die Messgenauigkeit verbessert werden. Darüber hinaus kann ein weiterer Sensor (nicht dargestellt) als ein Referenzsensor mit einer geschlossenen Kavität fungieren. Das Sensorsignal dieses Referenzsensors kann zur Korrektur des Einflusses der Temperatur- bzw. des Luftdrucks auf das Signal der Sensoren 2, 4 mit durch den Einlass 22 geöffneter Kavität 20 herangezogen werden.

**[0045]** Die Geometrie und die Masse der beweglichen Masse 16 im Sensorkern 12, 14 sowie seine Umgebung bestimmen die Dämpfung. Eine Optimierung der Dämpfung, beispielsweise für bestimmte Druckbereiche, Temperaturen, Gase/Gasgemische, kann optional durch Änderung der horizontalen und/oder vertikalen Abstände zwischen beweglichen und fest stehenden Elementen eingestellt werden.

**[0046]** Mit dem beschriebenen Verfahren und Sensoranordnung 1 lässt sich auch die Luftfeuchtigkeit, der Gasdruck oder die Temperatur bestimmen, da Wasserdampf bzw. der Druck oder die Temperatur die Viskosität und die Wärmeleitfähigkeit des Gases/Gasgemisches, bzw. der Luft verändert.

**[0047]** Die **Fig. 10** zeigt ein schematisches Diagramm zum Veranschaulichen einer Messung einer Konzentration eines Gases des Gasgemischs während einer Zeitdauer. Ergänzend oder alternativ zum bereits beschriebenen Verfahren können zwei zueinander benachbart angeordnete Sensoren 2, 4 für die Viskositätsmessung verwendet werden, bei welchen die Einlässe 22 einen unterschiedlich großen Querschnitt und Länge aufweisen. Der zweite Sensor 4 hat im Vergleich zum ersten Sensor 2 einen Eintritt 22 bzw. Gaseintrittskanal mit kleinem Querschnitt und größerer Länge. Da der Gasaustausch durch Diffusion erfolgt, wird sich die Gaskonzentration  $c_1$  in der Kavität 20 des ersten Sensors 2 der in der Umgebung vorliegenden Gaskonzentration  $c(\text{außen})$  schneller annähern als eine Gaskonzentration  $c_2$  in der Kavität 22 des zweiten Sensors 4.

**[0048]** Die Messung der Gaskonzentration in den Kavitäten 20 der Sensoren 2, 4 werden synchron durchgeführt. Genaue und höhere elektrische Leistung verbrauchende Messesequenzen können durch eine zeitliche Veränderung von  $c_1$  und/oder durch ein Unterscheiden zwischen  $c_1$  und  $c_2$  getriggert werden. Mit  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $t_2-t_1$ , sowie den bekannten Querschnitten und Längen der Öffnungen in den Einlässen 22 sowie der bekannten Temperatur und dem bekannten Druck kann der Diffusionskoeffizient des in die Kavität 20 einströmenden Gases bestimmt werden. Der Diffusionskoeffizient ist, wie die Viskosität und die Wärmeleitfähigkeit, für die Gase/Gasgemische charakteristisch. In der **Fig. 11** ist ein schematisches Diagramm zum Veranschaulichen einer

Relation zwischen einer Viskosität und einem Diffusionskoeffizienten für unterschiedliche Gase bei einer konstanten Temperatur von 20°C und einem konstanten Druck von 1013 hPa gezeigt. Auf diese Weise lässt sich aus den Messungen der Viskositäten zu unterschiedlichen Zeitpunkten  $t_1$ ,  $t_2$  der Diffusionskoeffizient des Gases/Gasgemisches (Gasart) und seine Konzentration bestimmen.

**[0049]** Analog können bei einer weiteren Ausführungsform auch zwei unterschiedliche Sensoren für die Wärmeleitfähigkeitsmessung verwendet werden.

**[0050]** Je nach Einsatzzweck und den Anforderungen an die Messgenauigkeit und Selektivität für verschiedene Gase sind alle Kombinationen von Sensorelementen für die Messung der Viskosität, der Wärmeleitfähigkeit jeweils mit oder ohne Referenzsensorelement, der Temperatur, des Drucks und der Luftfeuchtigkeit möglich. Zusätzlich oder alternativ können auch zwei Sensoren (ein Sensor für die Messung der Viskosität und ein Sensor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit) mit einer großen und einer kleinen Gaseintrittsöffnung kombiniert werden.

**[0051]** Das Verfahren und die Sensoranordnung 1 sind beispielsweise bei der Erkennung von Wasserstoff und/oder Luftfeuchtigkeit in Brennstoffzellen, in Fahrzeugen mit Wasserstoffantrieb, in Li-Ionen-Akkus oder in elektronischen Steuergeräten zur Detektion einer Fehlfunktion anhand der dabei freigesetzten Gase (thermal runaway bzw. thermal incident detection) einsetzbar. Weitere Anwendungen sind auch im Bereich von Gasheizungen möglich, bei welchen eine Detektion von Erdgas oder zur Bestimmung der Gaszusammensetzung vorteilhaft ist.

**[0052]** Als weitere mögliche Einsatzmöglichkeiten können eine Raumluftüberwachung (Detektion von CO<sub>2</sub>), eine Detektion von Rauchgasen (u.a. Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickstoffoxid, Wasserdampf) und Detektion von anderen Gasen, die beispielsweise bei unvollständigen Verbrennungen, wie beispielsweise Kohlenmonoxid oder Wasserstoff, entstehen, betrachtet werden. Darüber hinaus kann durch das Verfahren eine Überwachung von technischen Anlagen (Gefäßen oder Röhren), in denen bei einer bestimmten Temperatur und Druck ein bestimmtes Gas oder Gasgemisch enthalten sein soll.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum selektiven Ermitteln einer Konzentration eines Gases, wobei  
- eine Wärmeleitfähigkeit eines Gasgemisches während mindestens einer Zeitdauer ( $t_2-t_1$ ) ermittelt wird,  
- eine Viskosität des Gasgemisches während der

mindestens einen Zeitdauer ( $t_2-t_1$ ) ermittelt wird,  
- basierend auf einer ermittelten, zeitlichen Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und Viskosität eine charakteristische Diffusionskonstante mindestens eines Gases aus dem Gasgemisch bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei absolute Werte oder eine zeitliche Veränderung der Werte für die Wärmeleitfähigkeit und die Viskosität ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Wärmeleitfähigkeit und die Viskosität dazu ermittelt werden, eine zeitliche Veränderung einer Konzentration ( $c_1$ ,  $c_2$ ) zumindest eines Gases des Gasgemisches zu berechnen, wobei anhand einer zeitlichen Veränderung der Konzentration ( $c_1$ ,  $c_2$ ) des Gases eine für das Gas charakteristische Diffusionskonstante berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die berechnete Diffusionskonstante mit in einem Speicher hinterlegten Diffusionskonstanten, die unterschiedlichen Gasen zugewiesen sind, verglichen wird und mindestens ein Gas anhand des Abgleichs der berechneten Diffusionskonstante identifiziert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Gasgemisch in mindestens zwei Kavitäten (20) durch zwei unterschiedlich ausgestaltete Einlässe (22) hineingeleitet und in den zwei Kavitäten (20) die zeitlichen Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Viskosität ermittelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Gasgemisch durch Einlässe (22) in Form von Öffnungen mit unterschiedlichen Abmessungen und/oder durch Arrays mit einer Vielzahl von Öffnungen in die Kavitäten (20) hineingeleitet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei das Gasgemisch durch Einlässe (22) in die mindestens zwei Kavitäten (20) eines Sensors (2, 4) oder in Kavitäten (20) von mehreren Sensoren (2, 4) hineingeleitet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei eine zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität während der mindestens einen Zeitdauer ( $t_2-t_1$ ) ermittelt wird, wobei die zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit in Relation zu der zeitlichen Veränderung der Viskosität gesetzt wird, wobei basierend auf der Relation zwischen der zeitlichen Veränderung der Wärmeleitfähigkeit und der zeitlichen Veränderung der Viskosität mindestens ein Gas des Gasgemisches oder eine Gruppe von möglichen Gasen identifiziert werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit

higkeit und der Viskosität bei unterschiedlichen Temperaturen des Gasgemischs ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Viskosität des Gasgemischs während des mindestens einen Zeitpunkts ( $t_1$ ,  $t_2$ ) oder der Zeitdauer ( $t_2-t_1$ ) anhand von Messdaten eines als Beschleunigungssensor ausgestalteten Sensors (2, 4) ermittelt wird, wobei die Messdaten während eines Selbsttests zum Prüfen einer mechanischen Dämpfung mittels einer beweglichen Masse (16) ermittelt werden.

11. Sensoranordnung (1) mit mindestens zwei Sensoren (2, 4) zur Ermittlung von Viskositäten und Wärmeleitfähigkeiten von Gasgemischen und mit mindestens einer Steuereinheit (6, 8, 10) zum Auswerten von durch die Sensoren (2, 4) ermittelten Messdaten, wobei die Sensoranordnung (1) dazu eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

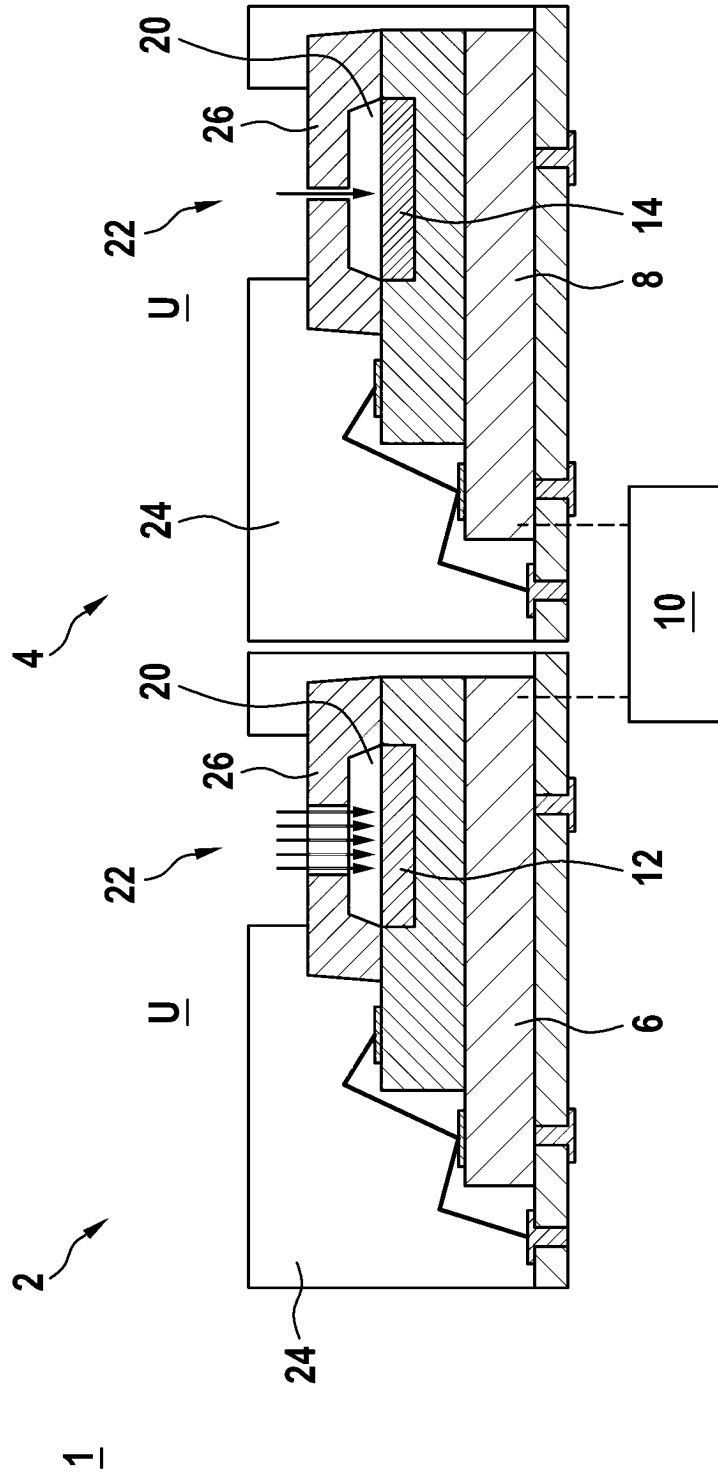
12. Sensoranordnung nach Anspruch 11, wobei die mindestens zwei Sensoren (2, 4) jeweils mindestens eine Kavität (20) aufweisen, wobei die Kavitäten (20) der Sensoren (2, 4) durch zwei unterschiedlich ausgestaltete Einlässe (22), insbesondere mit unterschiedlich groß ausgestalteten Gaseintrittsöffnungen, mit einer Umgebung (U) verbunden sind.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

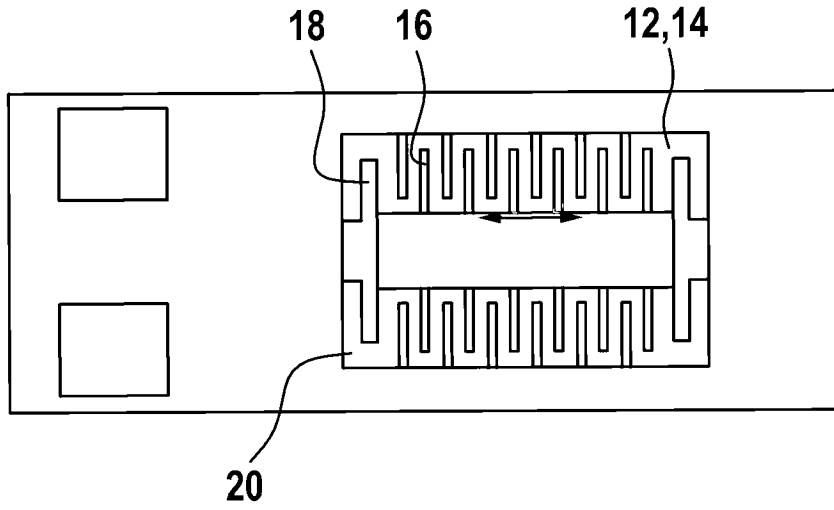


Anhängende Zeichnungen

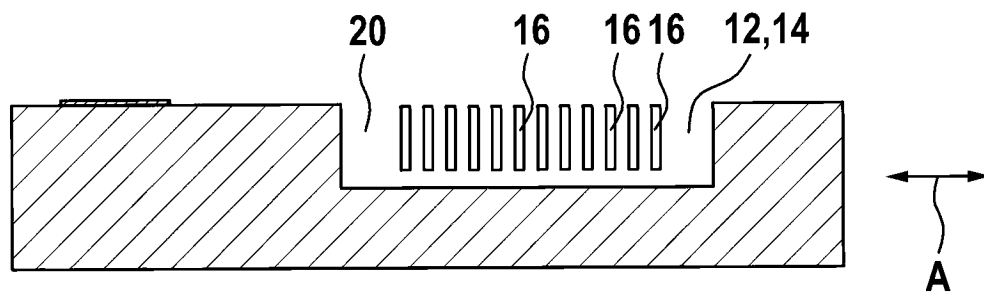
Fig. 1



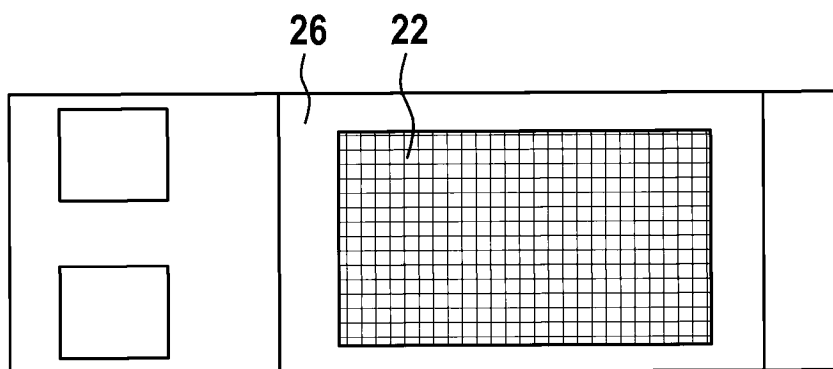
**Fig. 2**



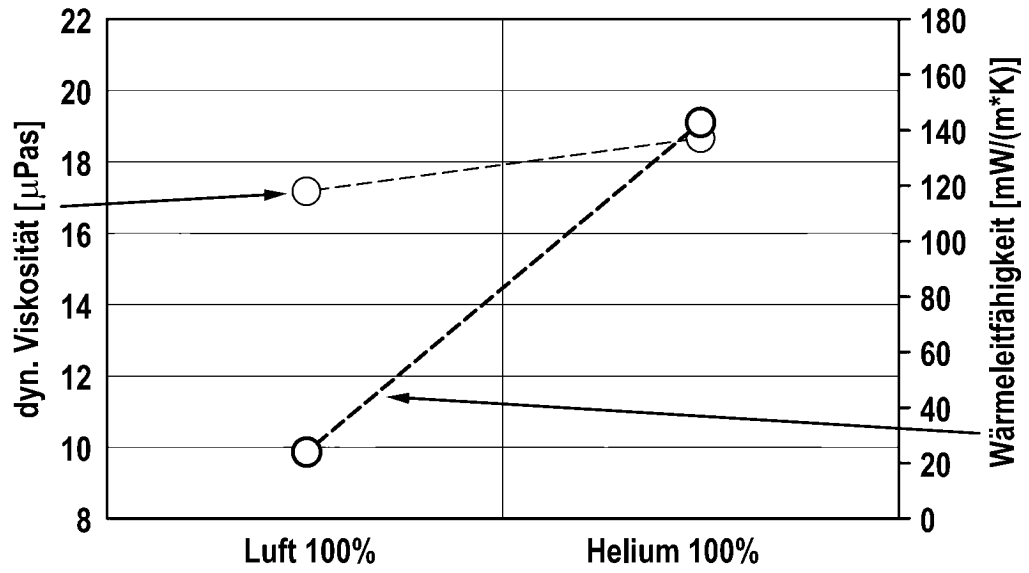
**Fig. 3**



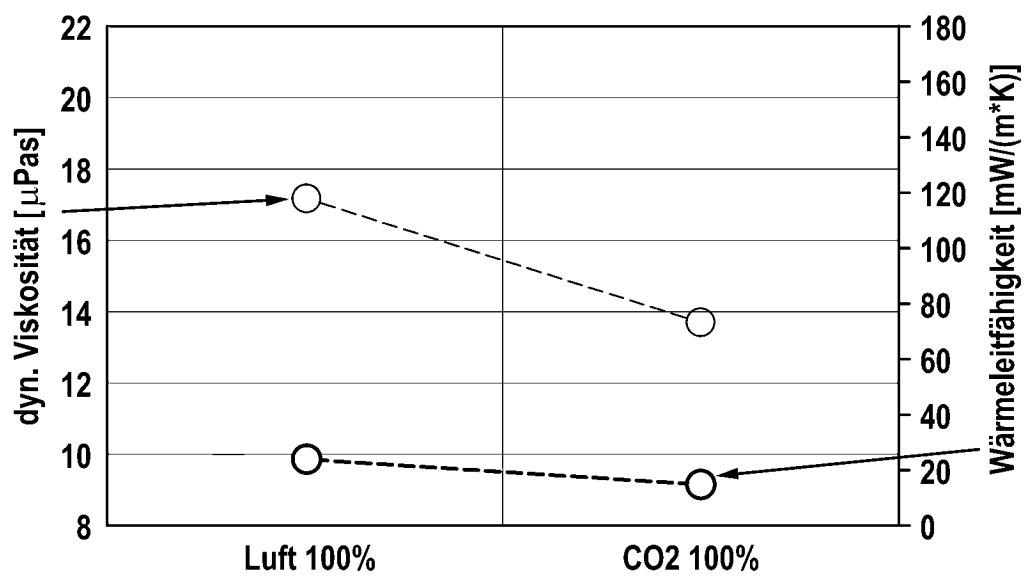
**Fig. 4**



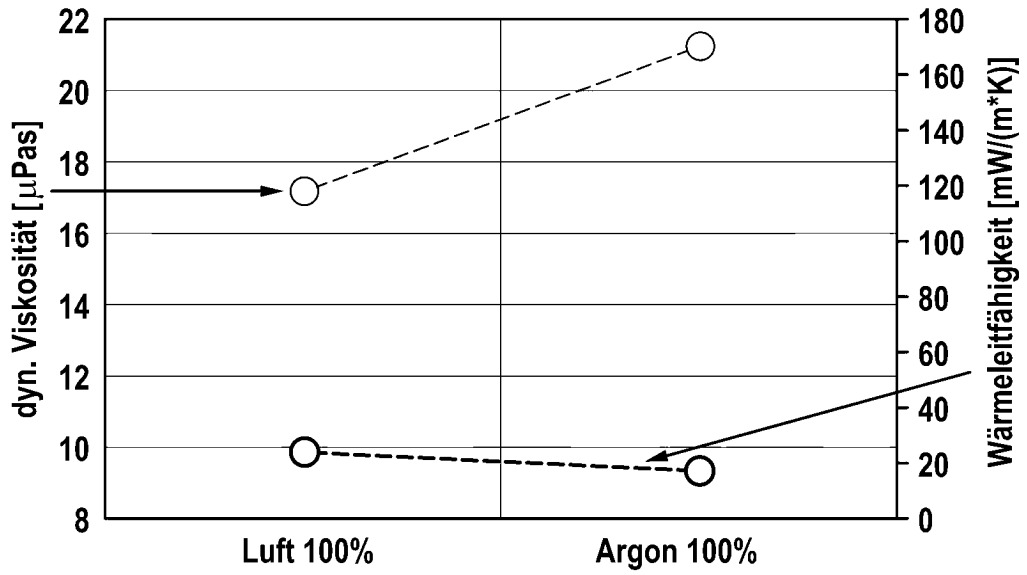
**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**

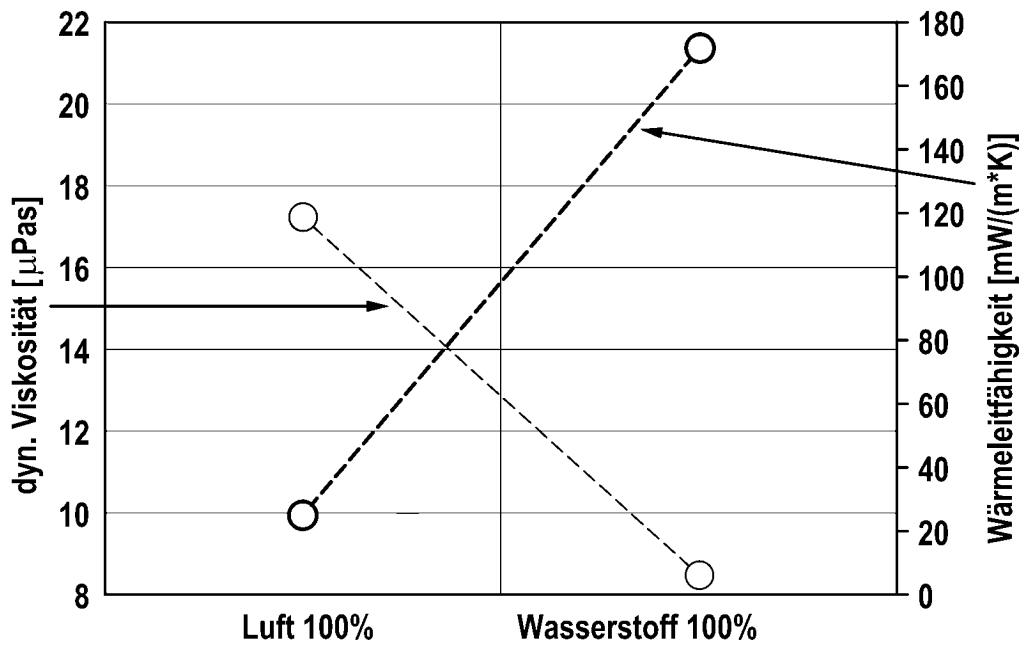


Fig. 9

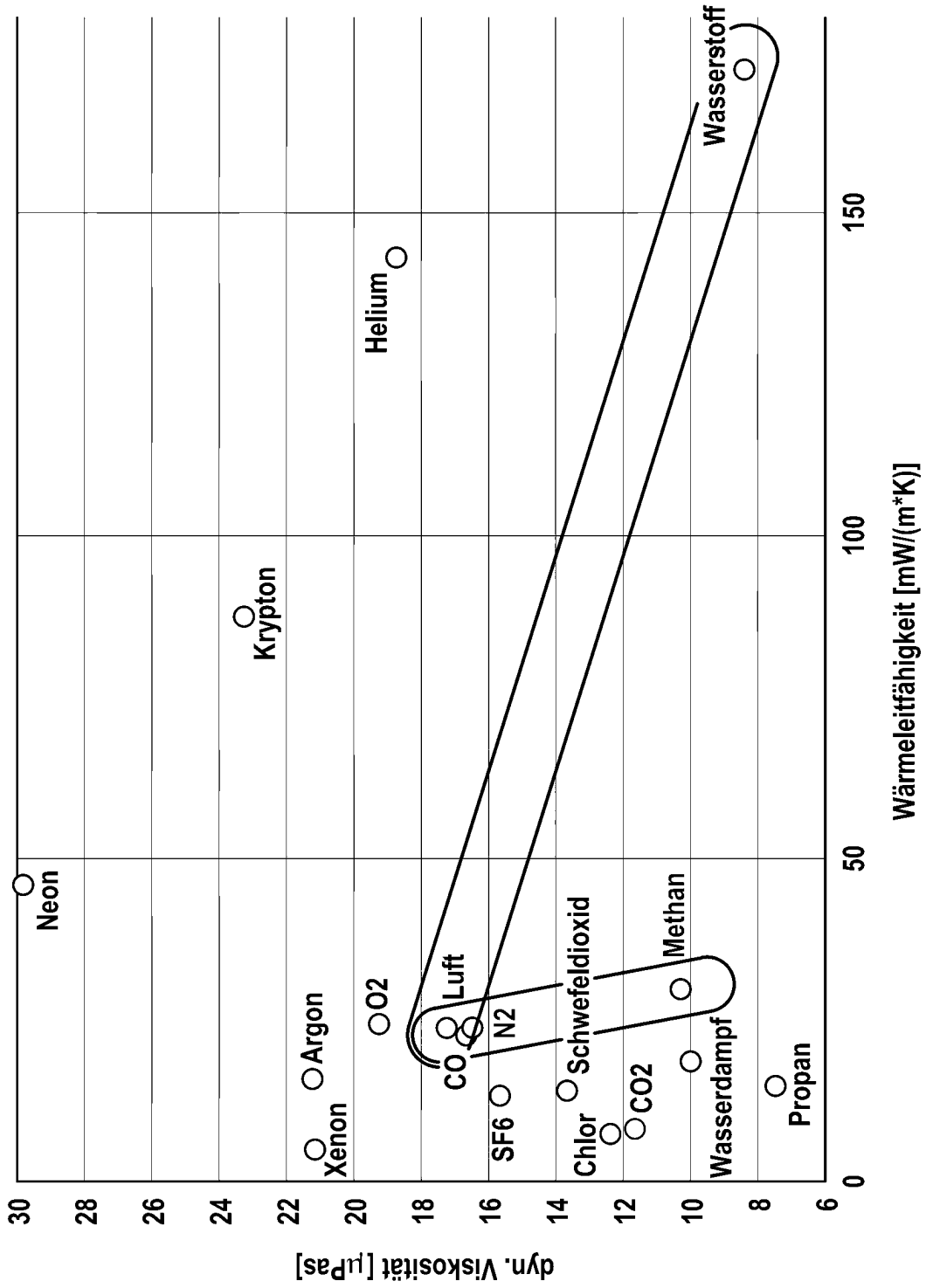


Fig. 10

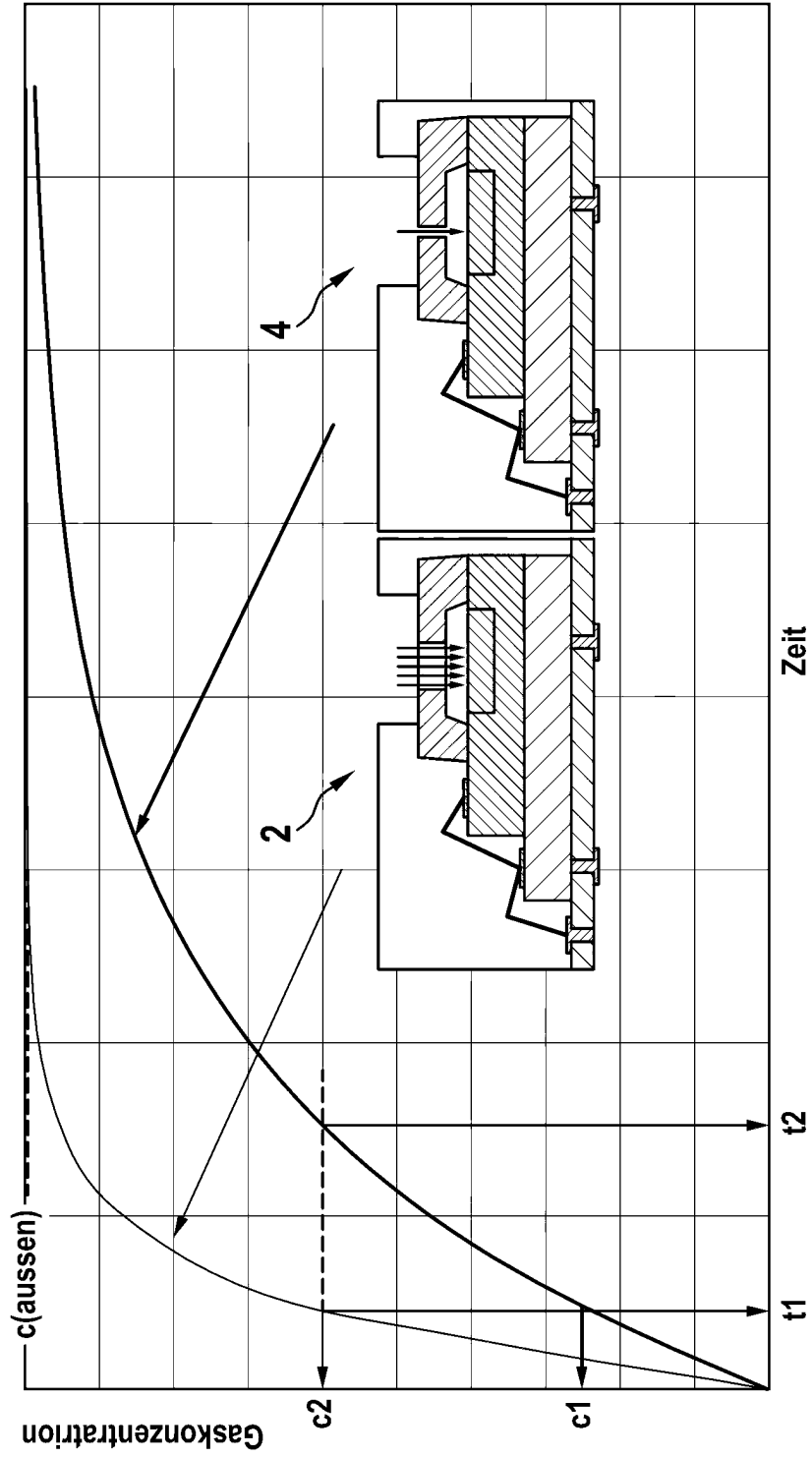


Fig. 11

