



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 199 13 968 B4 2004.02.12**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 13 968.7**
 (22) Anmeldetag: **18.03.1999**
 (43) Offenlegungstag: **05.10.2000**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **12.02.2004**

(51) Int Cl.7: **G01F 1/688**
G01F 1/68, G01F 1/69

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Fafnir GmbH, 22765 Hamburg, DE

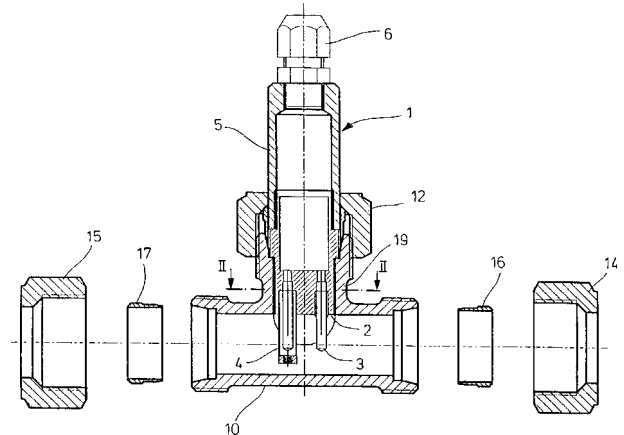
(74) Vertreter:
Uexküll & Stolberg, 22607 Hamburg

(72) Erfinder:
**Schrittenlacher, Wolfgang, Dr.rer.nat., 21075
 Hamburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
US 48 85 938
US 44 80 467
WO 93 15 381 A1
WO 90 09 567 A1

(54) Bezeichnung: **Thermischer Durchflußsensor und Verfahren zum Bestimmen des Durchflusses eines Fluids**

(57) Hauptanspruch: Thermischer Durchflußsensor,
 – mit einem Strömungssensor (3), der eine erste Heizeinrichtung (32) und einen auf die Temperatur der ersten Heizeinrichtung (32) reagierenden ersten Temperaturfühler (34) aufweist und der einem strömenden Fluid, dessen Durchfluß zu bestimmen ist, aussetzbar ist, und
 – mit einer Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle (4), die ein Meßzellengehäuse (42), eine zweite Heizeinrichtung und einen auf die Temperatur der zweiten Heizeinrichtung reagierenden zweiten Temperaturfühler aufweist, wobei das Meßzellengehäuse (42) mindestens eine zum Eintreten des Fluids in das Meßzellengehäuse (42) eingerichtete Öffnung (46) hat,
 – wobei die erste Heizeinrichtung (32) einen PTC-Heizwiderstand aufweist, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat und zu einer Selbstbegrenzung seiner Höchsttemperatur eingerichtet ist, und/oder wobei die zweite Heizeinrichtung einen PTC-Heizwiderstand aufweist, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat und zu einer Selbstbegrenzung seiner Höchsttemperatur eingerichtet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen thermischen Durchflusssensor sowie ein Verfahren zum Bestimmen des Durchflusses eines Fluids.

[0002] Es ist bekannt, den Durchfluß eines Fluids (d.h. einer Flüssigkeit oder eines Gases) zum Beispiel durch eine Rohrleitung mit Hilfe eines thermischen Strömungssensors zu bestimmen. Ein derartiger Strömungssensor weist eine Heizeinrichtung und einen auf die Temperatur der Heizeinrichtung reagierenden Temperaturfühler auf. Zum Bestimmen des Durchflusses wird der Kühleffekt ausgenutzt, den das auf den Strömungssensor einströmende Fluid bewirkt. Je größer die Strömungsgeschwindigkeit und damit der Durchfluß des Fluids ist, um so größer ist die pro Zeiteinheit durch Wärmeübertragung und Konvektion über das Fluid von dem Strömungssensor weggeführte Wärmemenge. Wenn also zum Beispiel der Heizeinrichtung eine konstante Heizleistung zugeführt wird, ist die von dem Temperaturfühler erfaßte Temperatur bei hohem Durchfluß geringer als bei niedrigem Durchfluß. Wenn die Heizleistung so geregelt wird, daß der Strömungssensor auf einer konstanten Temperatur liegt, ist entsprechend bei einem größeren Durchfluß eine höhere Heizleistung erforderlich als bei einem kleineren Durchfluß. Um mit einem derartigen Strömungssensor absolute Durchflußmengen messen zu können, ist eine Kalibrierung erforderlich. Dadurch werden zum Beispiel Einflüsse von der Geometrie des Strömungssensors und den Materialeigenschaften des Fluids, die das Wärmeabführvermögen wesentlich mitbestimmen, berücksichtigt. So hängt das Wärmeabführvermögen des Fluids zum Beispiel von dessen Zusammensetzung ab.

Stand der Technik

[0003] Die Durchflußmessung mit Hilfe derartiger thermischer Strömungssensoren wird zum Beispiel in den Lehrbüchern von O. Fiedler, "Strömungs- und Durchflußmeßtechnik" (Oldenbourg-Verlag 1992), und H. Eckelmann, "Einführung in die Strömungsmeßtechnik" (Teubner-Verlag 1997), beschrieben.

[0004] Um einen Strömungssensor der erläuterten Art einsetzen zu können, darf die Zusammensetzung des Fluids, dessen Durchfluß zu bestimmen ist, nicht oder nur innerhalb sehr geringer Grenzen variieren. Eine andere Fluidzusammensetzung könnte nämlich zu einem veränderten Wärmeabführvermögen führen, so daß Änderungen in der Temperatur oder bei der Heizleistung des Strömungssensors nicht notwendig auf Durchflußänderungen zurückführbar sind.

[0005] Die WO 90/09567 A1 zeigt einen Strömungssensor der oben beschriebenen Art, der zusätzlich eine Meßzelle mit einer weiteren Heizeinrichtung und einem Temperaturfühler enthält. Das Fluid, dessen Durchfluß bestimmt werden soll, kann in diese Meß-

zelle eindringen, strömt dort aber nicht direkt hindurch. Die Meßzelle ermöglicht eine Referenzmessung, die für die thermischen Eigenschaften des Fluids charakteristisch ist.

[0006] In der US 4 885 938 ist ein Verfahren zum Korrigieren einer Durchflußmessung eines Fluids beschrieben. Dabei werden als Korrekturgrößen in einer statischen Umgebung die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärme bei konstantem Druck sowie die Dichte des Fluids bestimmt.

[0007] Die WO 93/15381 A1 zeigt einen Durchflußmesser mit einem von einem Fluid durchströmten Rohrabschnitt, in dem ein Hezelement mit einem Temperaturfühler in einer Kapsel sowie ein weiterer Temperaturfühler montiert sind. Zur Auswertung werden Parameter aus Kalibrierungsmessungen einbezogen.

[0008] Aus der US 4 480 467 ist ein Strömungswächter für Flüssigkeiten bekannt, der am Anfang einer Strömungsstrecke einen ersten gekapselten Temperaturfühler und am Ende der Strömungsstrecke einen zweiten Temperaturfühler sowie eine Heizeinrichtung, die in einer gemeinsamen Kapsel angeordnet sind, aufweist. Die bei konstant gehaltener Temperaturdifferenz zugeführte Heizleistung ist ein Maß für den Durchfluß.

Aufgabenstellung

[0009] Es ist Aufgabe der Erfindung, einen thermischen Durchflusssensor sowie ein Verfahren zum Bestimmen des Durchflusses eines Fluids unter Benutzung eines thermischen Durchflusssensors zu schaffen, die auch eine Durchflußmessung an einem Fluid ermöglichen, dessen Zusammensetzung variabel ist, und zwar in sicherer Betriebsweise, selbst wenn das Fluid ein explosionsfähiges Gas ist.

[0010] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen thermischen Durchflusssensor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren zum Bestimmen des Durchflusses eines Fluids mit den Merkmalen des Anspruchs 13. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0011] Der erfindungsgemäße thermische Durchflusssensor weist einen Strömungssensor mit einer ersten Heizeinrichtung und einem auf die Temperatur der ersten Heizeinrichtung reagierenden ersten Temperaturfühler auf und ist einem strömenden Fluid, dessen Durchfluß zu bestimmen ist, aussetzbar. Dieser Strömungssensor ist ein thermischer Strömungssensor, der auf dem oben erläuterten Prinzip beruht. Zusätzlich hat der thermische Durchflusssensor eine Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle, die ein Meßzellengehäuse, eine zweite Heizeinrichtung und einen auf die Temperatur der zweiten Heizeinrichtung reagierenden zweiten Temperaturfühler aufweist, wobei das Meßzellengehäuse mindestens eine zum Eintreten des Fluids in das Meßzellengehäuse eingerichtete Öffnung hat.

[0012] Über die Öffnung kann ein Teil des Fluids in

die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle eintreten. Innerhalb der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle findet praktisch kein Wärmetransport durch Konvektion statt, da diese Meßzelle zum Messen der Wärmeleitfähigkeit eines in ihr enthaltenen Fluids ausgelegt ist und ihr Innenraum daher vor Störungen durch Fluidströmungen weitgehend geschützt ist. Mit Hilfe der zweiten Heizeinrichtung und dem auf die Temperatur der zweiten Heizeinrichtung reagierenden zweiten Temperaturfühler läßt sich die Wärmeleitfähigkeit des Fluids ermitteln. Das grundlegende Meßprinzip der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle ist ähnlich wie bei dem thermischen Strömungssensor, aber da innerhalb des Meßzellegehäuses keine Konvektion stattfindet, wird die von dem Fluid von der zweiten Heizeinrichtung weggeführte Wärme im wesentlichen durch Wärmeleitung transportiert. Durch Wahl einer geeigneten Geometrie (vor allem einen geringen Abstand zwischen der zweiten Heizeinrichtung und der Innenseite des Meßzellegehäuses) und einem geeigneten Temperaturbereich für die zweite Heizeinrichtung (vorteilhaft sind relativ niedrige Temperaturen) läßt sich der Anteil der Strahlung am Wärmetransport gering halten. Derartige Wärmeleitfähigkeitsmeßzellen als solche und das dabei zum Einsatz kommende Meßprinzip sind bekannt. Mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle läßt sich also die Wärmeleitfähigkeit des Fluids bestimmen.

[0013] Die Wärmeleitfähigkeit ist ein Maß für die Zusammensetzung des Fluids. Wenn das Fluid zwei Komponenten mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten hat, lassen sich die Anteile der Komponenten an dem Fluid mit Hilfe einer Messung der Wärmeleitfähigkeit des Fluids ermitteln. Der erfindungsgemäße thermische Durchflußsensor kann aber auch für Fluide mit mehr als zwei Komponenten vorteilhaft eingesetzt werden, wie das folgende Beispiel zeigt: Wenn z.B. das Fluid eine Mischung aus Luft und den Kohlenwasserstoffen Propan und Butan ist, besteht es hinsichtlich seiner Wärmeleitfähigkeit im wesentlichen aus zwei Komponenten, nämlich Luft und Kohlenwasserstoff. Denn Propan und Butan unterscheiden sich im Vergleich zu Luft hinsichtlich ihrer Wärmeleitungseigenschaften nur geringfügig und haben auch ein ähnliches Wärmeabführvermögen im Hinblick auf den Strömungssensor. Mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle läßt sich zum Beispiel bei diesem Fluid die Konzentration von Kohlenwasserstoff in Luft im Bereich von 0 % bis 100 % mit einer Genauigkeit von besser als 5 % bestimmen. Damit kennt man die Zusammensetzung des Fluids hinreichend genau, um sie beim Verhalten des Strömungssensors zu berücksichtigen.

[0014] Die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle ermöglicht es also auf einfache Weise, die Zusammensetzung des Fluids zu ermitteln oder zumindest soweit abzuschätzen, daß zusammensetzungsabhängige Unterschiede im Wärmeabführvermögen des Fluids beim Betrieb des Strömungssensors berücksichtigt werden können, um eine zuverlässige Durchflußmes-

sung zu erzielen. Da der erfindungsgemäße thermische Durchflußsensor sowohl den Strömungssensor als auch die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle aufweist, ist sichergestellt, daß alle Messungen immer an demselben Fluid erfolgen.

[0015] Die erste Heizeinrichtung und/oder die zweite Heizeinrichtung weisen einen Heizwiderstand auf, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat. Ein derartiger PTC-Heizwiderstand bildet eine zuverlässige Sicherung gegen Überhitzung, was zum Beispiel wichtig ist, wenn das Fluid ein explosionsfähiges Gas ist. Wenn durch einen Fehler bei der Steuerung oder Regelung der dem jeweiligen Heizwiderstand zugeführten Heizleistung die Temperatur des Heizwiderstandes ansteigen würde, würde der resultierende höhere Widerstandswert bei einer von der Spannungsversorgung vorgegebenen oberen Spannungsgrenze zu einem Absinken des Heizstroms führen, so daß die Temperatur sinkt. Das System ist also in sich ohne zusätzliche Sicherheitseinrichtungen stabil.

[0016] Vorzugsweise weist der thermische Durchflußsensor eine Steuer- und Auswerteeinrichtung auf, die dazu eingerichtet ist, mittels der der zweiten Heizeinrichtung zugeführten Heizleistung und der Temperatur des zweiten Temperaturfühlers ein das Wärmeabführvermögen des Fluids charakterisierendes erstes Meßsignal zu erzeugen sowie mittels der der ersten Heizeinrichtung zugeführten Heizleistung, der Temperatur des ersten Temperaturfühlers und des ersten Meßsignals ein den Durchfluß des Fluids charakterisierendes zweites Meßsignal zu erzeugen. Dabei ist das erste Meßsignal vorzugsweise der Zusammensetzung des Fluids zugeordnet. Die Steuer- und Auswerteeinrichtung ermöglicht einen vorzugsweise vollautomatischen Betrieb des Strömungssensors und der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle unter den oben erläuterten Umständen. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuer- und Auswerteeinrichtung dazu eingerichtet, mittels bei Kalibrierungsmessungen bestimmter Parameter und dem zweiten Meßsignal den Durchfluß des Fluids zu bestimmen. Mit Hilfe solcher Kalibrierungsmessungen unter Verwendung vorgegebener Fluide bei vorgegebenen Bedingungen lassen sich die in die Auswertung der Meßergebnisse eingehenden Größen ermitteln, wie bereits oben erwähnt, so daß es prinzipiell möglich ist, aus der Steuer- und Auswerteeinrichtung direkt den Durchflußwert eines strömenden Fluids auszugeben, zum Beispiel auf eine Anzeige oder in einen Speicher.

[0017] Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist der thermische Durchflußsensor einen dritten Temperaturfühler auf, der zum Messen der Umgebungstemperatur eingerichtet ist. Die Genauigkeit des thermischen Durchflußsensors steigt mit der Genauigkeit, mit der die Umgebungstemperatur bekannt ist. So geht zum Beispiel in die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit die Differenz der Temperatur der zweiten Heizeinrichtung und der weitgehend mit der Um-

gebungstemperatur übereinstimmenden Temperatur des Meßzellengehäuses ein.

[0018] Vorzugsweise ist die Steuer- und Auswerteinrichtung dazu eingerichtet, die Heizleistung der ersten Heizeinrichtung so zu regeln, daß die Temperatur des ersten Temperaturfühlers um einen vorgegebenen Wert oberhalb der Umgebungstemperatur liegt. Die Steuer- und Auswerteinrichtung kann auch dazu eingerichtet sein, die Heizleistung der zweiten Heizeinrichtung so zu regeln, daß die Temperatur des zweiten Temperaturfühlers um einen vorgegebenen Wert oberhalb der Umgebungstemperatur liegt. So läßt sich zum Beispiel die Temperatur der ersten Heizeinrichtung und der zweiten Heizeinrichtung durch Regeln der jeweiligen Heizleistungen um 50 K über der Umgebungstemperatur halten. Die momentane Heizleistung ist dann ein unmittelbares Maß für die von dem Strömungssensor von dem Fluid abgeführte Wärmemenge pro Zeiteinheit bzw. für die in der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle pro Zeiteinheit durch Wärmeleitung wegtransportierte Wärmemenge.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Meßzellengehäuse einen porösen Sinterkörper auf, der für das Fluid durchlässig ist. Der Sinterkörper bildet so viele kleine Öffnungen, über die das Fluid aus einem Bereich, in dem es unter Umständen mit hoher Geschwindigkeit strömt, in das Innere des Meßzellengehäuses eintreten kann, wo es nicht strömen darf, weil sonst die Messung der Wärmeleitfähigkeit durch einen Konvektionsanteil verfälscht würde. Vorzugsweise weist das Meßzellengehäuse entfernt von dem Sinterkörper eine weitere Öffnung auf. Das Meßzellengehäuse kann eine zylindrische Grundform haben, wobei der Sinterkörper an einer Stirnseite, die weitere Öffnung an der Mantelfläche der zylindrischen Grundform und die zweite Heizeinrichtung sowie der zweite Temperaturfühler im Bereich um die Längsachse der zylindrischen Grundform angeordnet sind. Bei einer derartigen Anordnung wird durch das außerhalb des Meßzellengehäuses an der weiteren Öffnung vorbeiströmende Fluid innerhalb des Meßzellengehäuses ein Unterdruck erzeugt, der Fluid durch den Sinterkörper in das Meßzellengehäuse einsaugt. Dadurch ist gewährleistet, daß das Fluid ständig ohne störende Konvektionsbewegungen aus dem Meßzellengehäuse ausgetauscht wird und somit in seiner Zusammensetzung mit dem an dem Strömungssensor vorbeiströmenden Fluid übereinstimmt.

[0020] Die erste Heizeinrichtung sowie der erste Temperaturfühler sind vorzugsweise in thermischem Kontakt in einer ersten Kapsel angeordnet; Entsprechendes kann auch für die zweite Heizeinrichtung sowie den zweiten Temperaturfühler gelten. Bei dieser Ausgestaltung nimmt der erste bzw. zweite Temperaturfühler die Temperatur der jeweiligen Heizeinrichtung direkt an, was die Meßgenauigkeit erhöht.

[0021] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle im Strömungsschatten angeordnet, zum Beispiel im Strömungs-

schatten des Strömungssensors oder im Strömungsschatten des dritten Temperaturfühlers. Durch eine derartige Anordnung lassen sich Verschmutzungen des Sinterkörpers durch Schmutzpartikel, die in der Fluidströmung mitgeführt werden, weitgehend verhindern.

[0022] Vorzugsweise sind der Strömungssensor und die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle an einem gemeinsamen Sockel montiert und über ein an einer Rohrleitung für das strömende Fluid vorgesehenes T-Stück mit dem Fluid in Kontakt bringbar. Eine derartige Bauform ist übersichtlich, kostengünstig und ermöglicht es, auf einfache Weise Wartungsarbeiten durchzuführen.

Ausführungsbeispiel

[0023] Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Zeichnungen zeigen in

[0024] **Fig. 1** einen schematischen Längsschnitt durch einen thermischen Durchflußsensor, der in einem T-Stück montiert ist, das in einer Rohrleitung mit strömendem Fluid eingebaut sein kann,

[0025] **Fig. 2** einen schematischen Querschnitt durch die Anordnung aus **Fig. 1** in Höhe der Linie II-II aus **Fig. 1**,

[0026] **Fig. 3** einen vergrößerten Längsschnitt durch Teile des thermischen Durchflußsensors entsprechend **Fig. 1** entlang der abgewinkelten Linie A-A aus **Fig. 2** und

[0027] **Fig. 4** einen Längsschnitt, der den inneren Aufbau einer bei dem thermischen Durchflußsensor gemäß **Fig. 1** verwendeten Kapsel verdeutlicht.

[0028] In **Fig. 1** ist ein thermischer Durchflußsensor **1** in einem in einer Rohrleitung eingebauten Zustand dargestellt. Durch die Rohrleitung strömt ein Fluid (im Ausführungsbeispiel ein Gemisch aus Luft und Propan- und Butangas), dessen Durchfluß bestimmt werden soll.

[0029] Der thermische Durchflußsensor **1** hat einen Sockel **2** aus Metall, an dem ein Strömungssensor **3** und eine Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** angebracht sind. Mit dem Sockel **2** ist ein Rohransatz **5** verschraubt, an dessen oberem Ende eine Kabelverschraubung **6** sitzt. Mit Hilfe des Rohransatzes **5** und der Kabelverschraubung **6** sind die elektrischen Zuleitungskabel befestigt, die zu dem Strömungssensor **3**, der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** und einem separaten Temperatursensor (siehe unten) führen. Das andere Ende der elektrischen Zuleitungskabel ist mit einer separaten Steuer- und Auswerteinrichtung verbunden, die eine weitere Komponente des thermischen Durchflußsensors **1** ist, aber in den Figuren nicht dargestellt ist.

[0030] In **Fig. 1** ist ersichtlich, wie der thermische Durchflußsensor **1** in einem T-Stück **10** sitzt. Dabei sind der Sockel **2** und der Rohransatz **5** von einer Verschraubung **12** gehalten. Weitere Verschraubungen **14** und **15**, die in **Fig. 1** mit zugehörigen Schneid-

ringen **16** und **17** in Explosionsansicht dargestellt sind, dienen zum Verbinden des T-Stücks **10** mit einem Rohrleitungssystem. Mit Hilfe des T-Stücks **10** kann der thermische Durchflußsensor **1** auf einfache Weise in eine Rohrleitung eingefügt und bei Bedarf schnell ausgetauscht werden.

[0031] **Fig. 2** zeigt eine Querschnittsansicht der Anordnung aus **Fig. 1** in Höhe der Linie II-II. Die Strömungsrichtung des durch die Rohrleitung fließenden Fluids ist in **Fig. 2** durch den Pfeil S gekennzeichnet. Man erkennt im Querschnitt den Strömungssensor **3** und die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** sowie den bereits erwähnten Temperatursensor, der in **Fig. 2** mit **18** bezeichnet ist. Der Temperatursensor **18** hat ähnliche äußere Abmessungen wie der Strömungssensor **3** und ragt ebenso wie der Strömungssensor **3** und die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** in das strömende Fluid. Ferner ist in **Fig. 2** die Wandung **19** des T-Stücks **10** zu erkennen.

[0032] In bezug auf die Lage des Strömungssensors **3** und der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** ist die Schnittebene in **Fig. 1** nicht präzise definiert. Im Unterschied dazu gibt **Fig. 2** die Anordnung des Strömungssensors **3**, der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** und des Temperatursensors **18** in dem Sockel **2** genau wieder und verdeutlicht mit Hilfe der Linie A-A die Schnittebenen der Längsschnittdarstellung in **Fig. 3**. Im folgenden wird der thermische Durchflußsensor **1** insbesondere anhand der **Fig. 3** und **4** im einzelnen erläutert.

[0033] Wie **Fig. 3** erkennen läßt, ist der Sockel **2** so ausgeformt, daß er die Innenseite der Wandung des T-Stücks **10** ergänzt, ohne daß störende Vorsprünge oder Vertiefungen entstehen, die zu unerwünschten Turbulenzen bei der Fluidströmung führen könnten. Der Sockel **2** hat eine Basis **20**, die nach oben in einen Zylinderansatz **22** übergeht, von dem mehrere radiale Vorsprünge **23** ausgehen. Die Vorsprünge **23** sind auf entsprechende Nuten in dem T-Stück **10** abgestimmt und sorgen für einen wohldefinierten Sitz der Basis **20** in azimuthaler Richtung. Der obere Endbereich des Zylinderansatzes **22** ist mit einem Außengewinde **24** versehen, an dem ein darauf abgestimmtes Innengewinde des Rohransatzes **5** angreifen kann.

[0034] Durch die Basis **20** führt eine dreistufige Bohrung **25** mit einem unteren Bereich **26**, einem mittleren Bereich **27** und einem oberen Bereich **28**. Der untere Bereich **26** hat einen größeren Durchmesser als der mittlere Bereich **27** und der obere Bereich **28** einen kleineren Durchmesser. In die dreistufige Bohrung **25** ist der Strömungssensor **3** eingesetzt. Eine ähnliche dreistufige Bohrung **29** trägt die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** und ist auf deren Abmessungen abgestimmt. Schließlich weist der Sockel **2** noch eine weitere Bohrung für den Temperatursensor **18** auf.

[0035] Der Strömungssensor **3** hat ein Gehäuse in Form einer Kapsel **30**, die im Ausführungsbeispiel aus einem dünnwandigen Metallröhrchen mit einem geschlossenen, konisch geformten Endbereich be-

steht. Wie in **Fig. 4** zu sehen, befinden sich im Innenraum der Kapsel **30** eine erste Heizeinrichtung **32** und ein erster Temperaturfühler **34**, die über eine Vergußmasse **36** in engem thermischem Kontakt untereinander und mit der Wandung der Kapsel **30** stehen. Über die andere Stirnseite der Kapsel **30**, die offen steht, sind Zuleitungen **38** zu der ersten Heizeinrichtung **32** und dem ersten Temperaturfühler **34** ins Innere der Kapsel **30** geführt. Die Heizeinrichtung **32** ist ein PTC-Widerstand, also ein Heizwiderstand, dessen Widerstandswert im Arbeitsbereich mit der Temperatur zunimmt. Der erste Temperaturfühler **34** ist im Ausführungsbeispiel ein Platin-Meßwiderstand.

[0036] Wie **Fig. 3** zeigt, besteht nur im mittleren Bereich **27** der dreistufigen Bohrung **25** ein direkter thermischer Kontakt zwischen der Basis **20** und der Kapsel **30**, während der durch den unteren Bereich **26** der dreistufigen Bohrung **25** geschaffene Zwischenraum dafür sorgt, daß sich im Betrieb des thermischen Durchflußsensors **1** an der ersten Heizeinrichtung **32** eine Temperatur einstellen kann, die unabhängig von der Temperatur des Sockels **2** ist, also unabhängig von der Umgebungstemperatur.

[0037] Die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** enthält eine Kapsel **40**, die so konstruiert ist wie die Kapsel **30** und in ihrem Innenraum eine zweite Heizeinrichtung und einen zweiten Temperaturfühler trägt, die über eine Vergußmasse in thermischem Kontakt mit dem unteren Bereich der Wandung der Kapsel **40** stehen, ähnlich wie bei dem Strömungssensor **3**. Auch die entsprechenden Zuleitungen sind in vergleichbarer Weise geführt. Die Kapsel **40** ist von einem Meßzellengehäuse **42** von zylindrischer Grundform umgeben, wie in **Fig. 3** dargestellt. Das Meßzellengehäuse **42** hat eine Stirnseite **44**, in die als Öffnung ein Sinterkörper **46** eingesetzt ist. In dem in **Fig. 3** gezeigten montierten Zustand der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** wird durch das Meßzellengehäuse **42** eine geschlossene Wandung geschaffen, die die Kapsel **40** in einem Abstand umgibt und so einen Innenraum schafft, der nur über den Sinterkörper **46** und eine kleine weitere Öffnung **48** an der Mantelfläche des Meßzellengehäuses **42** zugänglich ist. Durch den Sinterkörper **46** kann Fluid in den genannten Innenraum eintreten. Dies geschieht im wesentlichen durch Diffusion, denn der Sinterkörper hat eine derartig geringe Porengröße, daß praktisch keine makroskopischen Strömungen vorkommen. Im Betrieb der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** findet daher ein Wärmetransport zwischen der Kapsel **40** und dem Meßzellengehäuse **42**, das sich praktisch auf Umgebungstemperatur befindet, im wesentlichen nur durch Wärmeleitung statt, weshalb die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** eine Messung der Wärmeleitfähigkeit des Fluids ermöglicht. Wenn Fluid durch das T-Stück **10** außen an der weiteren Öffnung **48** entlangströmt, entsteht im Innenraum des Meßzellengehäuses **42** ein geringfügiger Unterdruck, über den ständig frisches Fluid durch den Sinterkörper **46** nachgesaugt wird. Daher ist gewährleistet, daß die

Zusammensetzung des Fluids innerhalb des Meßzellegehäuses **42** mit der des in dem T-Stück **10** strömenden Fluid übereinstimmt.

[0038] Auch der Temperatursensor **18** weist eine Kapsel auf, die so aufgebaut ist wie die Kapsel **30**. In deren Innenraum befindet sich lediglich ein Temperaturfühler, der über eine Vergußmasse in thermischem Kontakt mit der Kapsel steht, aber keine Heizeinrichtung.

[0039] Die Zuleitungen zu dem Strömungssensor **3**, der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** und dem Temperatursensor **18** sind alle mit der Steuer- und Auswerteeinrichtung verbunden, wie bereits erwähnt. Die Steuer- und Auswerteeinrichtung regelt die Heizleistung der ersten Heizeinrichtung **32**, deren Temperatur von dem ersten Temperaturfühler **34** erfaßt wird, die Heizleistung der zweiten Heizeinrichtung, deren Temperatur von dem zweiten Temperaturfühler gemessen wird (Kapsel **40**), betreibt diese Temperaturfühler sowie den Temperatursensor **18** und führt im Ausführungsbeispiel einen vollautomatischen Meßablauf durch, dessen Ergebnis, nämlich der Durchfluß des Fluids durch das T-Stück **10**, an der Steuer- und Auswerteeinrichtung abgelesen werden kann. Wie der Strömungssensor **3**, die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** und der Temperatursensor **18** als solche betrieben werden, ist einem Fachmann klar. Für das Folgende reicht es daher, die wesentlichen Punkte sowie die Bedeutung der Wärmeleitfähigkeitsmessung im Ablauf herauszustellen.

[0040] Im Ausführungsbeispiel werden die erste Heizeinrichtung **32** (Kapsel **30**) und die zweite Heizeinrichtung (Kapsel **40**) in der Heizleistung so geregelt, daß die jeweilige Heizeinrichtung eine Temperatur hat, die um 50 K über der von dem Temperatursensor **18** erfaßten Umgebungstemperatur liegt. Die dafür erforderliche Heizleistung wird ständig gemessen.

[0041] Fluid, das durch das T-Stück **10** strömt, führt Wärme von dem Strömungssensor **3** ab, die von der ersten Heizeinrichtung **32** ständig nachgeliefert werden muß, um die von dem ersten Temperaturfühler **34** gemessene Temperatur konstant um 50 K über der Umgebungstemperatur zu halten. Je größer der Durchfluß ist, um so mehr Wärme wird abgeführt. Die Heizleistung der ersten Heizeinrichtung **32** ist also ein Maß für den zu bestimmenden Durchfluß. Da das Wärmeabführvermögen des Fluids jedoch auch von dessen Zusammensetzung abhängt, sind Informationen hierüber erforderlich.

[0042] Die benötigten Informationen werden mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** gewonnen. Die Zusammensetzung des Fluids läßt sich nämlich empirisch aus der Wärmeleitfähigkeit ermitteln. Wie die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle **4** betrieben wird, wurde bereits erläutert. Weitere Größen, die zur Auswertung der Meßergebnisse und damit zur Bestimmung des Durchflusses erforderlich sind, können durch separate Kalibrierungsmessungen gewonnen und von der Steuer- und Auswerteeinrichtung als Parameter

benutzt werden.

[0043] Anschaulich gesehen, verwendet die Steuer- und Auswerteeinrichtung eine Kurvenschar, die die Heizleistung der ersten Heizeinrichtung **32** als Funktion des zu bestimmenden Durchflusses angibt. Welche Kurve dieser Kurvenschar zu einem gegebenen Zeitpunkt eingesetzt werden muß, hängt von der Zusammensetzung des Fluids zu diesem Zeitpunkt ab, also von dessen Wärmeleitvermögen oder dem hierfür maßgeblichen Meßwert, nämlich der der zweiten Heizeinrichtung zugeführten Heizleistung. Die Steuer- und Auswerteeinrichtung kann daher in Reaktion auf diese Heizleistung ein Meßsignal erzeugen, mit dem die geeignete Kurve aus der Kurvenschar ausgewählt wird, um den Durchfluß zu bestimmen und gegebenenfalls anzuzeigen.

Patentansprüche

1. Thermischer Durchflußsensor,
 - mit einem Strömungssensor (**3**), der eine erste Heizeinrichtung (**32**) und einen auf die Temperatur der ersten Heizeinrichtung (**32**) reagierenden ersten Temperaturfühler (**34**) aufweist und der einem strömenden Fluid, dessen Durchfluß zu bestimmen ist, aussetzbar ist, und
 - mit einer Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle (**4**), die ein Meßzellegehäuse (**42**), eine zweite Heizeinrichtung und einen auf die Temperatur der zweiten Heizeinrichtung reagierenden zweiten Temperaturfühler aufweist, wobei das Meßzellegehäuse (**42**) mindestens eine zum Eintreten des Fluids in das Meßzellegehäuse (**42**) eingerichtete Öffnung (**46**) hat,
 - wobei die erste Heizeinrichtung (**32**) einen PTC-Heizwiderstand aufweist, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat und zu einer Selbstbegrenzung seiner Höchsttemperatur eingerichtet ist, und/oder wobei die zweite Heizeinrichtung einen PTC-Heizwiderstand aufweist, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat und zu einer Selbstbegrenzung seiner Höchsttemperatur eingerichtet ist.
2. Thermischer Durchflußsensor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Steuer- und Auswerteeinrichtung, die dazu eingerichtet ist, mittels der der zweiten Heizeinrichtung zugeführten Heizleistung und der Temperatur des zweiten Temperaturfühlers ein das Wärmeabführvermögen des Fluids charakterisierendes erstes Meßsignal zu erzeugen sowie mittels der der ersten Heizeinrichtung (**32**) zugeführten Heizleistung, der Temperatur des ersten Temperaturfühlers (**34**) und des ersten Meßsignals ein den Durchfluß des Fluids charakterisierendes zweites Meßsignal zu erzeugen.
3. Thermischer Durchflußsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Meßsignal der Zusammensetzung des Fluids zugeordnet ist.

4. Thermischer Durchflußsensor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuer- und Auswerteeinrichtung dazu eingerichtet ist, mittels bei Kalibrierungsmessungen bestimmter Parameter und dem zweiten Meßsignal den Durchfluß des Fluids zu bestimmen.

5. Thermischer Durchflußsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch einen dritten Temperaturfühler (18), der zum Messen der Umgebungstemperatur eingerichtet ist.

6. Thermischer Durchflußsensor nach Anspruch 2 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuer- und Auswerteeinrichtung dazu eingerichtet ist, die Heizleistung der ersten Heizeinrichtung (32) so zu regeln, daß die Temperatur des ersten Temperaturfühlers (34) um einen vorgegebenen Wert oberhalb der Umgebungstemperatur liegt und/oder daß die Steuer- und Auswerteeinrichtung dazu eingerichtet ist, die Heizleistung der zweiten Heizeinrichtung so zu regeln, daß die Temperatur des zweiten Temperaturfühlers um einen vorgegebenen Wert oberhalb der Umgebungstemperatur liegt.

7. Thermischer Durchflußsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßzellengehäuse (42) einen porösen Sinterkörper (46) aufweist, der für das Fluid durchlässig ist.

8. Thermischer Durchflußsensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßzellengehäuse (42) entfernt von dem Sinterkörper (46) eine weitere Öffnung (48) aufweist.

9. Thermischer Durchflußsensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßzellengehäuse (42) eine zylindrische Grundform hat, wobei der Sinterkörper (46) an einer Stirnseite (44), die weitere Öffnung (48) an der Mantelfläche der zylindrischen Grundform und die zweite Heizeinrichtung sowie der zweite Temperaturfühler im Bereich um die Längsachse der zylindrischen Grundform angeordnet sind.

10. Thermischer Durchflußsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Heizeinrichtung (32) sowie der erste Temperaturfühler (34) in thermischem Kontakt in einer ersten Kapsel (30) angeordnet sind und/oder daß die zweite Heizeinrichtung sowie der zweite Temperaturfühler in thermischem Kontakt in einer zweiten Kapsel (40) angeordnet sind.

11. Thermischer Durchflußsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle (4) im Strömungsschatten angeordnet ist, vorzugsweise im Strömungsschatten des Strömungssensors (3).

12. Thermischer Durchflußsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Strömungssensor (3) und die Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle (4) an einem gemeinsamen Sockel (2) montiert sind und über ein an einer Rohrleitung für das strömende Fluid vorgesehenes T-Stück (10) mit dem Fluid in Kontakt bringbar sind.

13. Verfahren zum Bestimmen des Durchflusses eines Fluids,

– bei dem das Fluid an einem Strömungssensor (3) vorbeiströmt, der eine erste Heizeinrichtung (32) und einen auf die Temperatur der ersten Heizeinrichtung (32) reagierenden ersten Temperaturfühler (34) aufweist,

– bei dem ein Teil des Fluids in eine Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle (4) eintritt, die ein Meßzellengehäuse (42), eine zweite Heizeinrichtung und einen auf die Temperatur der zweiten Heizeinrichtung reagierenden zweiten Temperaturfühler aufweist, wobei das Meßzellengehäuse (42) mindestens eine zum Eintreten des Fluids in das Meßzellengehäuse (42) einggerichtete Öffnung (46) hat, und

– bei dem mittels der der zweiten Heizeinrichtung zugeführten Heizleistung und der Temperatur des zweiten Temperaturfühlers ein das Wärmeabführvermögen des Fluids charakterisierendes erstes Meßsignal erzeugt wird sowie mittels der der ersten Heizeinrichtung (32) zugeführten Heizleistung, der Temperatur des ersten Temperaturfühlers (34) und des ersten Meßsignals ein den Durchfluß des Fluids charakterisierendes zweites Meßsignal erzeugt wird,

– wobei die erste Heizeinrichtung (32) einen PTC-Heizwiderstand aufweist, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat und selbst seine Höchsttemperatur begrenzt, und/oder wobei die zweite Heizeinrichtung einen PTC-Heizwiderstand aufweist, der im Arbeitsbereich einen positiven Temperaturkoeffizienten hat und selbst seine Höchsttemperatur begrenzt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines dritten Temperaturfühlers (18) die Umgebungstemperatur gemessen wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizleistung der ersten Heizeinrichtung (32) so geregelt wird, daß die Temperatur des ersten Temperaturfühlers (34) um einen vorgegebenen Wert oberhalb der Umgebungstemperatur liegt und/oder daß die Heizleistung der zweiten Heizeinrichtung so geregelt wird, daß die Temperatur des zweiten Temperaturfühlers um einen vorgegebenen Wert oberhalb der Umgebungstemperatur liegt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Meßsignal der Zusammensetzung des Fluids zugeordnet wird.

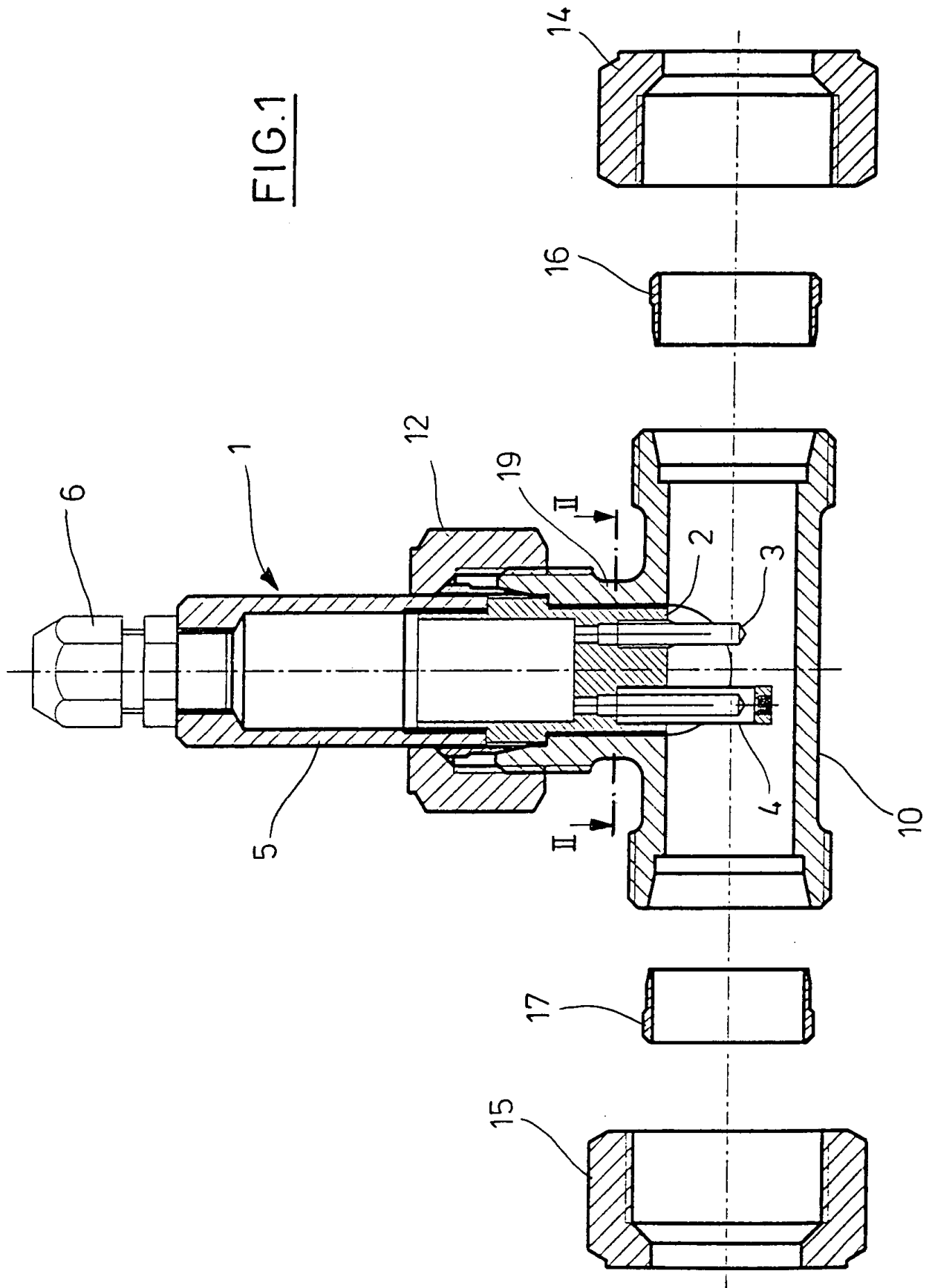
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchfluß des Fluids aus dem zweiten Meßsignal und bei Kalibrierungsmessungen bestimmten Parametern bestimmt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßzellengehäuse (42) einen porösen Sinterkörper (46) aufweist, der für das Fluid durchlässig ist, daß das Meßzellengehäuse (42) entfernt von dem Sinterkörper (46) eine weitere Öffnung (48) aufweist, und daß durch das außerhalb des Meßzellengehäuses (42) an der weiteren Öffnung (48) vorbeiströmende Fluid innerhalb des Meßzellengehäuses (42) ein Unterdruck erzeugt wird, der Fluid durch den Sinterkörper (46) in das Meßzellengehäuse (42) einsaugt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchfluß eines aus Luft und aus Kohlenwasserstoffen mit bis zu vier Kohlenstoffatomen bestehenden Gemisches bestimmt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG.1



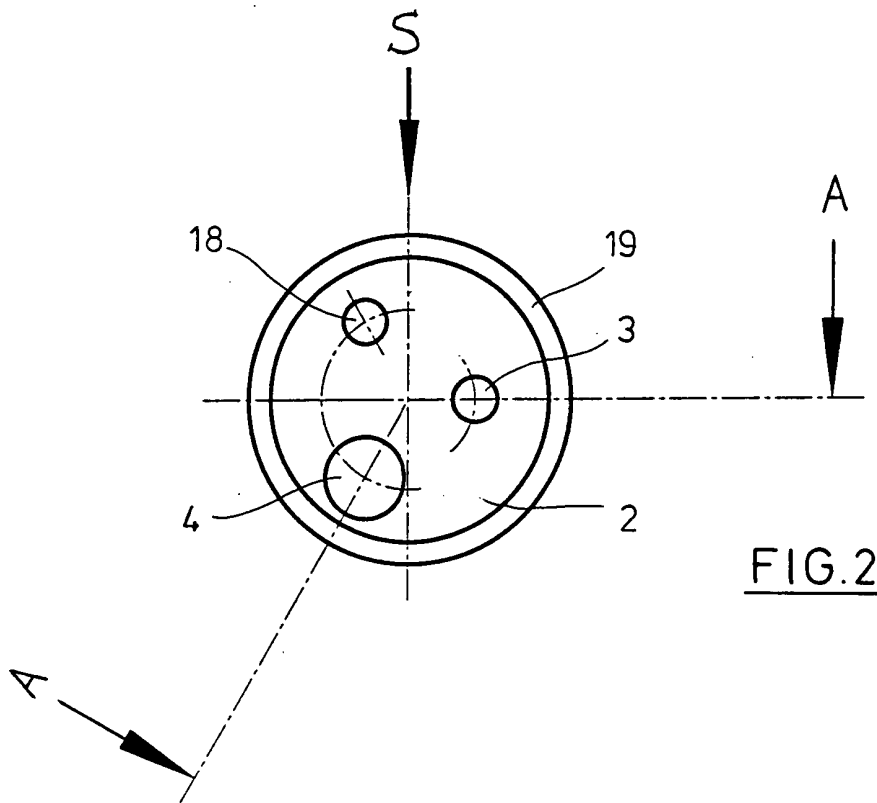


FIG. 2

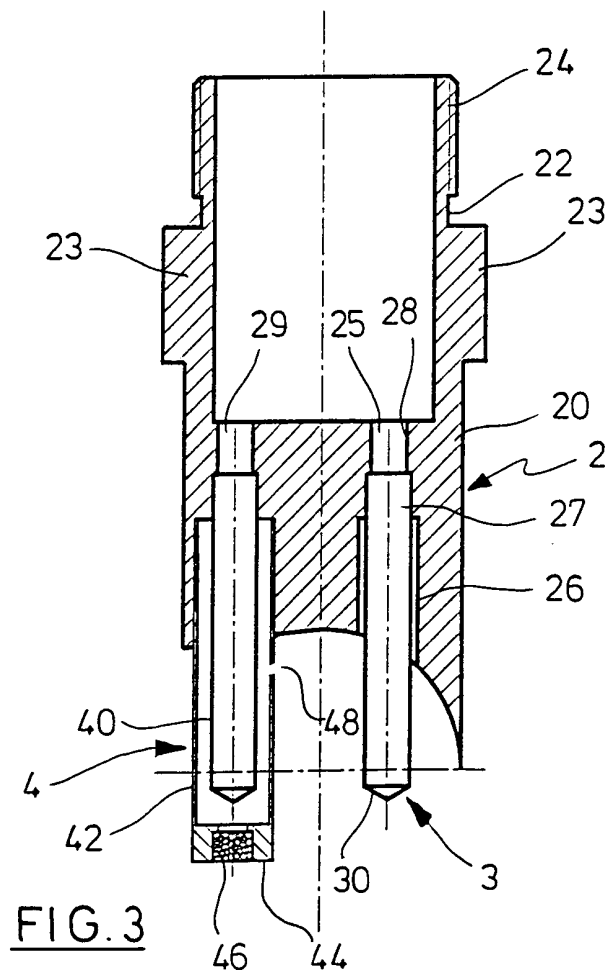


FIG. 3

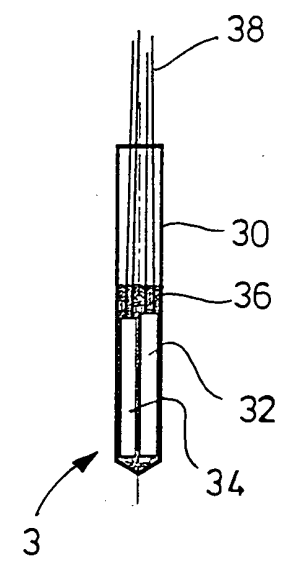


FIG. 4