



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 669 255 A5

⑤① Int. Cl. 4: G 01 K 17/06
G 01 F 1/68

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 3103/83

㉔ Anmeldungsdatum: 07.06.1983

㉔ Priorität(en): 12.07.1982 US 397109

㉔ Patent erteilt: 28.02.1989

㉔ Patentschrift
veröffentlicht: 28.02.1989

㉔ Inhaber:
MKS Instruments, Inc., Burlington/MA (US)

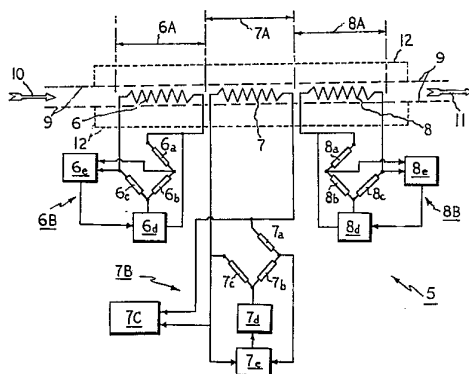
㉔ Erfinder:
Ewing, James H., Brockton/MA (US)
Ramberg, Fred G., Salem/MA (US)

㉔ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur thermischen Durchflussmengenmessung.

⑤⑦ Das Messen und die darauf bezogene Regelung einer Fluidströmung werden sowohl exakt als auch mit hoher Ansprechgeschwindigkeit durch eine einzigartige Aufeinanderfolge thermischer Wechsel mit dem Fluid unter fein geregelten und voneinander abhängigen thermischen Bedingungen erreicht. Das strömende Fluid wird zuerst dadurch aufbereitet, dass seine Temperatur auf einen Temperaturwert erhöht wird, der über dem höchsten zu erwartenden Umgebungs-Temperaturwert liegt, vorzugsweise durch einen elektrischen temperaturempfindlichen Heizwiderstand (6), der ein Teil eines selbstabgleichenden Brückenschaltkreis (68) und einer Regeleinrichtung (6) darstellt. Das konditionierte Fluid wird dann auf ähnliche Weise auf einen höheren Temperaturwert gebracht, wobei auf die Energie bezogene Messungen bei der zweiten Temperaturerhöhung durchgeführt werden, um die Strömung zu erfassen. Wenn das Fluid zur gleichen Zeit unmittelbar stromab durch eine andere ähnliche Heizanordnung weiter aufbereitet wird, die gestattet, dass das Fluid auf einen Wert abkühlen kann, der zwischen den Temperaturen liegt, die in der vorangehenden Aufbereitung erzeugt werden, werden die Messungen noch stabiler und können vorteilhafterweise noch linearer proportional zur Durchflussmenge gemacht werden. Eine zusätzliche Isolierung gegenüber Beeinträchtigungen durch die Umgebungstemperatur wird durch Steuerung der Umgebung erreicht, innerhalb welcher die Folgen der thermischen

Wechsel bzw. Wärmeaustausche stattfinden, vorzugsweise durch ein erwärmtes Gehäuse in der eine elektrische Regelung der Temperatur ebenso rasch und exakt erfolgt.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur thermischen Durchflussmengenmessung gekennzeichnet durch eine erste Aufbereitung eines strömenden Fluids durch Regelung seiner Temperatur, durch eine Änderung der Temperatur des temperaturgeregelten Fluids auf unterschiedliche Werte in einem ersten Wärmeaustauschvorgang während der Strömung des Fluids, durch eine zweite Aufbereitung des Fluids nach Änderung von dessen Temperatur durch wiederholte und getrennte Regelung seiner Temperatur in einem zweiten, der Temperaturänderung unmittelbar folgenden Wärmeaustauschvorgang und durch Erfassung der Energie, die bei mindestens einem der Schritte der Temperaturregelung, der Temperaturänderung und wiederholten Temperaturregelung verbraucht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der ersten Aufbereitung das Erwärmen des Fluids über einen im wesentlichen kontinuierlichen, stromaufliegenden ersten Strömungswegabschnitt verteilt durchgeführt wird, um eine erste Temperatur zu erzielen, die die voraussichtlichen Temperaturwerte des Fluids vor seiner Aufbereitung übersteigt, dass die Änderung der Temperatur des temperaturgeregelten Fluids auf unterschiedliche Werte in dem ersten Wärmeaustauschvorgang durch weiteres Erwärmen des Fluids über einen im wesentlichen kontinuierlichen zweiten direkt stromab des ersten liegenden Strömungswegabschnitts erfolgt, dass die zweite Aufbereitung des Fluids nach Änderung von dessen Temperatur durchgeführt wird, indem direkt stromab des zweiten Strömungswegabschnitts nur eine solche Wärmemenge zugeführt wird, dass das Fluid auf eine Temperatur abkühlen kann, die zwischen der ersten Temperatur und dem Durchschnittswert der unterschiedlichen Temperaturwerte liegt, und dass die Erfassung der Energie durch Zufuhr und Überwachung der Energie für das im zweiten Strömungswegabschnitt erfolgte weitere Erwärmen des Fluids und die Erfassung der Durchflussmenge im wesentlichen direkt proportional zu dieser Energie erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Aufbereitung, die Änderung der Temperatur und die zweite Aufbereitung in einer im wesentlichen temperaturkonstanten Umgebung, die über den Temperaturen der normalen Umgebungstemperatur liegen, beibehalten und fortgeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine laminare Strömung des Fluids aufrecht erhalten wird, während gleichzeitig und kontinuierlich die erste Aufbereitung, die Änderung der Temperatur und die zweite Aufbereitung durchgeführt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Aufbereitung, die Änderung der Temperatur und die zweite Aufbereitung sowohl das Erfassen der Temperatur und Erwärmen des Fluids umfasst, wobei gleichzeitig auf einen elektrischen Widerstandswert angesprochen und ein elektrisches Erwärmen eines zugehörigen Widerstandselementes mit einem hohen Widerstands-Temperaturkoeffizienten durchgeführt wird, und dass bei der Durchflussmengenmessung jeder Spannungsabfall an dem Widerstandselement gemessen wird, das bei der Änderung der Temperatur verwendet ist.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine erste und zweite Einrichtung (6B, 7B) mit Temperaturregelung zur Aufbereitung eines strömenden Fluids durch Wärmeaustausch mit diesem in Abhängigkeit einer zugeführten Energiemenge, durch eine erste thermische Einrichtung (6), welche als Wärmeaustauscher auf das durch die erste Aufbereitungseinrichtung temperaturgeregelte Fluid wirkt, um Wärme mit dem Fluid auszutauschen und Temperaturänderungen elektrisch zu

erfassen, die durch die Strömung des Fluids hervorgerufen werden, durch eine als Wärmeaustauscher auf das Fluid wirkende und Temperaturänderungen elektrisch erfassende zweite thermische Einrichtung (7) zur Regelung der Temperatur des Fluids unmittelbar nach der ersten thermischen Einrichtung (6) auf einen Temperaturwert zwischen dem Wert seiner geregelten Temperatur und dem Mittelwert der unterschiedlichen Werte, durch eine erste und zweite Regelungseinrichtung (6e, 7e), die auf die durch die erste und zweite thermische Einrichtung (6, 7) elektrisch erfassten Temperaturänderungen ansprechen und Energie der ersten und zweiten thermischen Einrichtung (6, 7) zuführen, welche die Temperatur des Fluids vom Wert seiner geregelten Temperatur auf unterschiedliche Werte ändert, und durch eine erste und zweite Durchflussmengenmessenrichtung (6A, 7A), um die mindestens einer Aufbereitungseinrichtung und der ersten und zweiten thermischen Einrichtung zugeführte Energie zu erfassen, wobei durch die erste und zweite Regelungseinrichtung Energie der ersten und zweiten thermischen Einrichtung zuführbar ist, um den Mittelwert der unterschiedlichen Temperaturwerte im wesentlichen konstant zu halten.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die thermischen Einrichtungen Widerstandselemente aus thermisch empfindlichen elektrischen Widerstandsmaterialien aufweisen, die Regelungseinrichtungen mit den Widerstandselementen in Verbindung stehen, um einen elektrischen Strom an die Widerstandselemente anzulegen und die Temperatur des Fluids zu ändern, und die Durchflussmengenmessenrichtungen vorgesehen sind, um die Spannungsabfälle über den Widerstandselementen zu erfassen, welche Spannungsabfälle direkt proportional zur Fluidströmungsgeschwindigkeit sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchflussmengenmessenrichtung eine Einrichtung mit hoher Impedanz aufweist, die über eines der Widerstandselemente geschaltet ist und auf Spannungsabfälle über dieses anspricht, ohne elektrischen Strom zu verbrauchen oder die effektive Temperatur-Widerstandskennlinie zu beeinflussen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Strömungskanal in einem Rohr vorgesehen ist und eine dritte thermische Einrichtung (8) im wesentlichen über einen Messabschnitt des Strömungskanals gleichmässig verteilt angeordnet ist, um mit dem Fluid durch Anhebung der Fluidtemperatur auf einen Wert oberhalb der geregelten Temperatur Wärme auszutauschen, wobei der dritten thermischen Einrichtung durch eine dritte Regelungseinrichtung (8e) Energie zuführbar ist, um entlang des Messabschnittes des Strömungskanals eine mittlere Temperatur mit einem festgelegten Wert aufrecht zu erhalten, der höher als der Wert der geregelten Temperatur ist, die dritte thermische Einrichtung (8) direkt stromab des Messabschnittes des Strömungskanals im Wärmeaustausch mit dem Fluid steht, um die Fluidtemperatur stromab des Messabschnittes zu regulieren und die durch das Fluid bewirkten Temperaturänderungen elektrisch zu erfassen und die dritte Regelungseinrichtung (8e) stromab auf die durch die dritte thermische Einrichtung (8) elektrisch erfassten Temperaturänderungen anspricht, um das Fluid stromab des Messabschnittes zu erwärmen und eine kühlere Temperatur, die höher als die geregelte Temperatur, aber tiefer als die mittlere Temperatur ist, zu erzielen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte thermische Einrichtung (8) ein Widerstandselement aus wärmeempfindlichem elektrischem Widerstandsmaterial mit einem hohen Temperaturkoeffizienten und einen Brückenschaltkreis enthält, in dessen einem Zweig das Widerstandselement geschaltet ist und in

dessen anderen Zweigen Widerstandselemente mit niedrigem Temperaturkoeffizienten geschaltet sind und die dritte Regeleinrichtung (8e) einen Elektronikschaltkreis enthält, der zwischen einer Stromquelle und dem Brückenschaltkreis geschaltet ist, um dem Brückenschaltkreis elektrischen Strom in Abhängigkeit des Brückenausgangssignals zuzuführen, das Widerstandselement durch den Stromfluss zu erwärmen und die Temperatur zu regeln, um die kühlere Temperatur zu erzielen.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch einen Regler, um die Umgebungstemperatur an der Aufbereitungseinrichtung und der thermischen Einrichtung zu regeln, wobei der Regler ein Heizelement aufweist, das die Umgebungstemperatur künstlich und automatisch auf einem Wert hält, oberhalb dem voraussichtlichen Temperaturwert der Umgebung, innerhalb welcher die Vorrichtung angewendet wird, liegt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass jede Aufbereitungseinrichtung und jede thermische Einrichtung (6, 7, 8) ein separates Widerstandselement aus wärmeempfindlichem elektrischem Widerstandsmaterial mit einem hohen Temperaturkoeffizienten aufweist, die gleichmässig verteilt am stromauf liegenden Abschnitt des Strömungsweges und am Messabschnitt direkt stromab angeordnet sind, um mit dem Fluid die Wärme auszutauschen, und die Widerstandselemente in einen Zweig eines separaten Brückenschaltkreises geschaltet sind, der andererseits nur Widerstandselemente mit niedrigem Temperaturkoeffizienten aufweist, und dass die dritte Regeleinrichtung (8e) stromauf den Aufbereitungseinrichtungen vorgesehen ist und einen Elektronikschaltkreis aufweist, um das Widerstandselement der dritten thermischen Einrichtung (8) in Abhängigkeit des Brückenausgangssignals zu erwärmen.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur thermischen Durchflussmengenmessung.

Die Mengenmessung bzw. Messung einer Fluidströmung kann auf verschiedenartigste Weise vorgenommen werden, wobei die Wahl einer speziellen Näherung im allgemeinen durch solche Faktoren wie Zusammenstellung bzw. Zusammensetzung, Volumen und Strömungsraten bzw. Strömungsgeschwindigkeiten des fliessenden oder strömenden Materials festgelegt wird und durch die Masse, die Kosten und die Energieerfordernisse der Ausrüstung, welche die gewünschte Zuverlässigkeit und Präzision im Ausdruck der Ausgangsmessungen und/oder Regelung in spezifizierten Zeiten bzw. Begriffen anbieten. Für einige Zwecke können nur grobe Erfassungen der Strömung ausreichend sein und durch Fluid induzierte Bewegungen von relativ einfachen Kugel- oder Rotorelementen können überwacht oder auf andere Weise erfasst werden, um eine solche Information zu liefern. Verdrängerpumpeneinheiten können verwendet werden, wenn das Volumen den interessierenden Parameter darstellt, ebenso können gewisse Flügelrotoreinheiten verwendet werden und die Menge bzw. Masse kann mit Hilfe von Korrekturen der Dichte ausgerechnet werden, wenn Temperatur- und Viskositätsprobleme gelöst werden sollen. Druckempfindliche Einrichtungen nach Art von Venturi-, Düsen-, Düsenstrahl- und Pitot-Rohr-Arten sind robust und billig und wurden ebenfalls weitgehend benutzt. Die Strömungsmengenrate und Integrationen derselben zum gesamten Mengenfluss sind Daten, die speziell bedeutsame Beziehungen zu dem haben, was in chemisch reagierenden oder energieabhängigen Prozessen enthalten sein kann oder bei der Zufuhr oder bei der Ausgabe

von Flüssigkeiten; unter den Bemühungen, solche Daten direkt zu erhalten, befinden sich die bekannten Drehimpulseinheiten, beispielsweise solche, die mitwirkende Flügelrad- und Reaktionsturbinenelemente enthalten.

5 Unter den Instrumentenklassen, die für gasförmige Fluidmessungen bekannt sind, befinden sich speziell sogenannte «Hitzedraht»- (hot wire) Strömungsmessgeräte, die nach dem Prinzip arbeiten, dass ein strömendes Fluid, das einer Masse bei höherer Temperatur begegnet, dazu tendiert, in einem Umfang abzukühlen, der wenigstens zum Teil von der Strömungsrate abhängt. Als Beispiel sei angegeben, dass bei einer Form eines derartigen thermischen Strömungsmessers bzw. Mengensensors es bekannt ist, einen elektrischen Heizer in einen Strom einzuführen, wobei die Speisung für die elektrische Leistung gleichgehalten wird; die Differenzen zwischen den stromauf und stromab liegenden Temperaturen werden als Messungen der Strömung interpretiert. Heizeinheiten und Temperaturdetektoren, die innerhalb einer Strömung angeordnet sind, können aber laminare Strömungsbedingungen aus dem Gleichgewicht bringen bzw. umkippen lassen; derartige Messungen tendieren dann dazu, in höchstem Grade nicht linear zu sein. Ferner ist es bekannt, die Strömungsmenge dadurch zu messen, dass Temperaturdifferenziale zwischen den temperaturempfindlichen Heizwicklungen festgelegt werden, die sich in stromauf und stromab liegenden Beziehungen gegenüber dem Fluid befinden und welche Elemente einer elektrischen Brückenschaltung sind, die sowohl zum Messen als auch zum Heizen dient; eine derartige Strömung wurde in einer laminaren Strömungs-bypass-Röhre geführt, wobei eine Isolierung die umwickelte Röhre umschliesst, wie dies in den US-PS 3 939 384 und 3 851 526 beschrieben ist. In der US-PS 4 297 881 sind weiterhin thermische Mengensensoren angegeben, bei welchen zwischen Geräten mit fester Temperatur und fester Temperaturdifferenz unterschieden wird und in welcher die zugehörige elektrische Brückenschaltung beschrieben ist. In der US-PS 4 300 391 sind Hitzedraht-Anemometer und die bei diesen auftretenden Probleme erläutert. Widerstände vom Drahttyp mit einer befestigten Probe zu Messungen des Mengenflusses sind in der US-PS 4 304 128 beschrieben, und Siliziumwiderstände sowie Dünnschicht-Metallwiderstände sind in den Mengensensoren nach den US-PS'en 4 319 483 und 4 320 655 erläutert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur thermischen Durchflussmengenmessung zu schaffen, bei welchem das durchströmende Fluid zuerst exakt auf eine Temperatur geregelt wird und dann über einen vorbestimmten Wert sofort bezüglich der Temperatur geändert wird, wobei die dabei beinhalteten Energiewechsel in der induzierten Temperaturänderung benutzt werden, um die Strömung zu erfassen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch den kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 gelöst.

Als Vorteil der Erfindung ergibt sich eine verbesserte, genaue Überwachung einer Fluidströmung durch Wärmeaustauschprozesse, die aufeinander abgestimmt sind, um Verzögerungen im Ansprechverhalten zu unterdrücken und in vorteilhafter Weise zur Durchflussmengenmessung beizutragen. Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist erfindungsgemäss durch die Merkmale des Patentanspruches 6 gekennzeichnet. Mit dieser Vorrichtung erfolgt eine mehrstufige, aufeinanderfolgende und geregelte Erwärmung eines fliessenden oder strömenden Mediums, wobei das Medium laufend aufbereitet wird, um eine aussergewöhnlich hohe Ansprechgeschwindigkeit, Genauigkeit und Stabilität bei den Messungen derjenigen Energie zu fördern, die einer der Stufen zugeführt wird.

Die Arbeitsweise der Vorrichtung kann bedeutsam verbes-

sert werden, insbesondere im Hinblick auf Faktoren, die auf die kritische Ansprechempfindlichkeit bzw. Ansprechgeschwindigkeit bezogen sind, indem geregelte Temperaturverteilungen festgelegt werden, die effektive Abhängigkeiten von relativ grossen thermischen Zeitkonstanten beseitigen, welche durch Materialien auferlegt werden, aus denen die Messung durchführenden Strömungskanäle angefertigt sind.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine teilweise schematische und teilweise in Blockschaltbildform gehaltene Darstellung der miteinander zusammenwirkenden Teile einer Vorrichtung zur Durchflussmengenmessung zusammen mit der Erfassung aufeinander folgender Strömungsabschnitte, über welche vorbestimmte Temperaturverteilungen entwickelt werden.

Fig. 2 eine Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Strömungsrohrsensors, der drei Stufen von externen Drahtwicklungen mit hohem Temperaturkoeffizienten innerhalb einer die Umgebung regelnden Umhüllung aufweist.

Fig. 3 eine teilweise in Schnittansicht dargestellte Strömungswandlereinheit, bei welcher ein Strömungsrohr-Sensor in Bypass zu einer Strömungsleitung angeordnet ist, und

Fig. 4 ein Blockschaltbild einer Ventilsteuerung, bei der hohe Ansprechempfindlichkeit durch die verbesserte Durchflussmengenmessung erreicht wird.

Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen verschiedene Ausführungsformen beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen identische oder einander entsprechende Elemente oder Einheiten angeben. Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchflussmengenmessung, die mit 5 bezeichnet ist und elektrische Wärmeaustauscherelemente 6, 7 und 8 in dieser Reihenfolge gegenüber einer Fluidströmung aufweist, deren laminarer Strömungsverlauf entlang eines durch gestrichelte Linien 9 dargestellten Kanals durch einen stromauf befindlichen Pfeil 10 und einen stromab befindlichen Pfeil 11 charakterisiert ist. Die Elemente 6 bis 8 sind als elektrische Widerstände, beispielsweise aus einem Draht, dargesellt, die durch elektrische Ströme erhitzt werden, welche durch diese Elemente geführt werden und die dann selbst aufgrund ihrer Herstellung aus einem Material mit hohem Temperaturkoeffizient, beispielsweise einem Draht mit einem positiven Koeffizient von $+ 3500 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ selbst hochtemperaturrempfindlich sind. Die Wirkungen solcher Elemente sind gezielt entlang des Strömungsweges verteilt, derart, dass die zugehörigen Wechselwirkungen mit dem Fluid auch dann vollständig sind, wenn die Strömungsgeschwindigkeiten des Fluids gross sind; die aufeinander folgenden Verteilungen befinden sich in unmittelbaren End-zu-End Beziehungen, die dazu tendieren, die Verzögerungen zwischen voneinander abhängigen Wirkungen der drei zusammen wirkenden Elemente zu minimieren. Die erste derartige Verteilung oder Aufteilung 6A (Fig. 1) muss anfangs eine Aufbereitung des ankommenden Fluids bzw. der ankommenden Flüssigkeit bewirken, und erstreckt sich daher über einen Abschnitt des Strömungsweges, der unmittelbar stromauf des auf ähnliche Weise geteilten Messelementes 7 liegt. Unter der Kontrolle eines automatisch sich abgleichenden Brückenschaltkreises 6B, von dem es einen Teil bildet, bewirkt das aufgeteilte Element 6 eine solche Erwärmung am strömenden Fluid, dass gesichert ist, dass die Fluidtemperatur auf einen ersten Wert geregelt wird, der über jeder Temperatur des Fluids liegt, die normalerweise von dem Fluid erwartet werden kann, wenn es die Durchflussmengenmessvorrichtung erreicht. Unmittelbar danach beaufschlagt das Messelement 7, welches eine

Auf- oder Verteilung 7A entlang des Strömungsweges hat, das Fluid mit Wärme unter der Regelung eines zweiten, sich automatisch abgleichenden Brückenschaltkreises 7B, von dem es wiederum einen Teil bildet. Diese zweite Erwärmungsstufe hat eine wesentliche Fühl- oder Messbedeutung, da die damit verbundene Energie in Beziehung zu der stattfindenden Strömung steht. Insbesondere wenn gewährleistet ist, dass das gesamte strömende Fluid, d. h. das gesamte flüssige oder gasförmige strömende Medium in einem bekannten Umfang von einem bekannten Wert durch das Element 7 aufgeheizt wird, dann wird festgestellt, dass die involvierte Energie als Mass der Fluidströmungsgeschwindigkeit interpretiert werden kann. Für solche Zwecke enthält die Anordnung nach Fig. 1 eine Messeinheit 7C, die parallel liegt zum Element 7 und schickt aufgrund von Spannungsabfällen an dem Brückenglied 7B Heizströme durch dieses Element mit verschiedener Stärke, wie es durch die unterschiedlichen Bedingungen der Strömung zu unterschiedlichen Zeiten erforderlich ist. Ein wesentlicher Vorteil, der sich aus der feinen Regelung der Temperatur des Fluids vor dessen Eintritt in den Strömungswegabschnitt 7A ergibt, ist die aussergewöhnliche Mitwirkung, die sich in bezug auf die Geschwindigkeit des Ansprechens des Durchflussmengenmessers ergibt. Relativ träge thermische Zeitkonstanten von Teilen des Durchflussmengenmesseraufbaus, die andererseits auf neue Gleichgewichtstemperaturen bei jeder Änderung der Strömung einjustiert werden müssten, können als ein gewichtiger Faktor abgezogen werden und stattdessen scheint ein sehr schnelles Ansprechverhalten der Vorrichtung zur Durchflussmengenmessung hauptsächlich durch die sogenannte «Transportverzögerung» bestimmt zu werden, was die Zeit bedeutet, die für ein Umschlagen in der Strömung erforderlich ist, um das Messelement 7 zu erreichen. Wenn die zugehörigen Heiz- und Mess- und Regelnetzwerke ebenfalls hohes Ansprechverhalten haben, können Operationen tatsächlich augenblicklich und isoliert von vorliegenden Verzögerungen ausgeführt werden, die andererseits als Störungsquellen bestehen bleiben könnten.

Ein drittes Wärmeaustauscherelement 8 befindet sich unmittelbar stromab des Messelementes 7 und ist in ähnlicher Weise ein Heizelement mit über eine Länge 8A des Strömungsweges verteilten Wirkungen. Die Temperatur des Fluids wird in bezug auf einen Wert geregelt, der vorzugsweise zwischen dem Wert im stromauf liegenden Abschnitt 6A und dem Wert im mittleren Abschnitt 7A liegt; ein automatisch abgleichendes Brückenglied 8B, von dem das Wärmeübertragerelement 8 einen Teil darstellt, führt diese Regelung aus. Es ist zu beachten, dass das weiterströmende Fluid nach einer Weiteraufwärmung im Messabschnitt 7A in bezug auf einen unteren Temperaturwert durch das Element 8 etwas abkühlen kann, auch wenn der stromab liegende Strömungswegabschnitt 8A, in welchen dann das Fluid strömt, ebenfalls mit Wärme versorgt wird. Das geregelte Abkühlen, das auf diese Weise bewirkt wird, wirkt einen gewünschten Einfluss auf die Messungen aus und hat den klar vorteilhaften Effekt, den Spannungsabfall am Messelement 7 im wesentlichen proportional zur Fluidströmungsgeschwindigkeit zu gestalten. Bei anderen Anordnungen ist beispielsweise das Verhältnis im wesentlichen hyperbolisch und zugeordnete Anzeigen und Steuerungen müssen mit den Nachteilen fertig werden, die einer solchen Nichtlinearität anhaften. Das Temperaturprofil, welches entlang des Strömungsweges durch die miteinander in Wechselwirkung stehenden Abschnitte erzeugt wird, ist solcher Art, dass das Fluid eine erste Temperatur annimmt, wenn es in den mittleren Messabschnitt 7A eintritt; die Temperatur wird darin auf einen etwas höheren Wert angehoben und daraufhin wird eine Kühlung unter geregelten Bedingungen auf eine

niedrigere zweite Temperatur über den Zeitraum gestattet, bis es die Position erreicht, an welcher das Fluid den Mittelabschnitt verlässt. Die Durchschnittstemperatur im Mittelabschnitt oder in der «verteilten» Heizstufe 7A ist immer im wesentlichen konstant gehalten, unabhängig von Änderungen in der Strömung bzw. in der Durchflussmenge. Die Energie charakterisiert die Fluidströmungsgeschwindigkeit, wobei dies die Energie ist, um die vorbestimmte Durchschnittstemperatur hervorzurufen, sobald das Fluid erstmals getrennt aufbereitet wurde, um eine geregelte untere Temperatur zu erreichen. Die Messung dieser elektrischen Energie oder des fließenden Stromes kann nützliche Informationen geben; der Spannungsabfall am Element 7 hat jedoch eine proportionale Beziehung zur Fluidströmungsgeschwindigkeit und ist daher ein bevorzugter Parameter für die Messung.

Die drei automatisch nachgleichenden Brückenglieder 6B, 7B und 8B sind im wesentlichen einander gleich; die Wärmeaustauscherelemente bzw. Widerstandselemente 6, 7 und 8 mit hohem Temperaturkoeffizienten bilden jeweils einen Zweig einer vollständigen Brücke; die drei anderen Brückenzweige 6a-6c, 7a-7c, und 8a-8c sind jeweils aus im wesentlichen konstanten Impedanzen gebildet, die relativ niedrige Temperaturkoeffizienten aufweisen, so dass der Brückenabgleich in jedem Fall nicht wesentlich durch Leistungsänderungen beeinträchtigt wird, da den Heizwiderstandselementen unterschiedliche Leistung unter sich verändernden Bedingungen zugeführt wird, die die Zuführung unterschiedlicher Wärmemengen erfordern. Die jeweiligen Energiequellen 6d, 7d und 8d erregen die Brücken über ihre Eingangspunkte entsprechend den Vorgaben der Steuereinheiten 6e bis 8e, die auf Bedingungen einer nicht abgeglichenen Brücke ansprechen, wobei diese Bedingungen an den Brückenausgangsanschlüssen auftreten bzw. in Erscheinung treten. Die Impedanz, welche die Messeinheit 7c gegenüber dem primären Messwiderstandselement 7 zeigt, ist verhältnismässig gross und ist daher im wesentlichen gegenüber dem Brückenabgleich und dem Heizelement isoliert; ferner beeinträchtigt diese Impedanz materiell weder den Brückenabgleich, noch das Heizelement. Wenn die Fluidströmung damit beginnt, eines der Elemente unter die gewünschte Temperatur abzukühlen, fällt jeweils sein Widerstand ab und die zugehörige Brücke ist nicht mehr abgeglichen; der Nichtabgleich wird sofort durch die zugehörige Steuereinheit erfasst und die die Brücke speisende Quelle wird unverzüglich dazu gebracht, eine grössere Leistung bzw. Energie zuzuführen und damit das Element weiter aufzuheizen. Der entgegengesetzte Prozess tritt automatisch und im wesentlichen sofort auf, wenn eine Erwärmung über die beabsichtigte Temperatur beginnt.

Temperaturänderungen in der Umgebung, in welcher die Durchflussmengenmessung stattfindet, kann deren Betrieb beeinträchtigen; daher ist derartigen Temperaturänderungen durch eine sehr gute Isolierung mittels eines Mantels bzw. einer Umhüllung zu begegnen, wie dies durch die gestrichelte Linie 12 in Fig. 1 und durch das rohrförmige Gegenstück dazu in bezug auf Fig. 2 durch das Bezugszeichen 12' angedeutet ist. Obgleich ein einfacher thermisch isolierender Mantel bzw. ein thermisch isolierendes Gehäuse um den Strömungskanal und die verteilten Heiz- und Messelemente vorteilhaft sein kann, wird eine bevorzugte Isolierung und eine ständige Verbesserung des Betriebs des Durchflussmengenmessers durch Regelung der unmittelbar umgebenden Temperatur auf einen im wesentlichen festen Wert realisiert, der über jeder zu erwartenden Umgebungstemperatur liegt, die bei dem beabsichtigten Gebrauch der Anordnung vorliegen kann. Zu diesem Zweck ist das in Fig. 2 mit 9' bezeichnete strömungsführende Rohr mit einem hohlen zylindri-

schen Rohr 12' umgeben, das sich über den Einlassabschnitt, Messabschnitt und Auslassabschnitt 6A', 7A' und 8A' des Rohres 9' erstreckt sowie über die zugehörigen, verteilten Heiz- und Messelemente 6', 7' und 8'. Ein geeignetes wärmebeständiges Isolierrohr 12', das durch Verschlussabschnitte an seinen Enden gelagert ist, befindet sich in geeignetem radialem Abstand zu dem dünnwandigen und länglichen Sensorrohr 9' aus rostfreiem Stahl; das Rohr 12' dient vorteilhafterweise als Träger für einen gedruckten Schaltungseinsatz 13, mit dem die Enden der Abschnittswicklungen 6', 7' und 8' verbunden sind, die entlang der Aussenseite des Rohres 9' in enger, wärmeübertragender, jedoch elektrisch isolierender Beziehung dazu stehen. Eine elektrische Widerstandsheizwicklung 14 ist um das Äussere des rohrförmigen Isoliergehäuses 12' entlang verteilt und vorzugsweise aus einem Draht mit hohem Temperaturkoeffizienten hergestellt, so dass es ähnlich den Wicklungen 6', 7' und 8' Teil eines dynamischen, automatisch nachregelnden Netzwerkes ist, das sowohl die Temperatur erfasst, als auch die erforderliche Wärme zuführt. Das Rohr 9' ist derart konzipiert, dass es laminare Strömungsbedingungen fördert, die bei einer Durchflussmengenmessung der in Rede stehenden Art bevorzugt werden; bei einer Ausführungsform ist dieses Rohr 9' sehr klein ausgebildet und hat als Beispiel einen Innendurchmesser von 0,635 mm (0,025 inch) und eine Länge von etwa 7,62 cm (3 inch), wobei ein Verhältnis zwischen Innendurchmesser und Länge von etwa 1 : 100 eingehalten wird, um die erwähnten Strömungsbedingungen zu begünstigen. In bezug auf die Temperaturzonenachsen, die als Teil von Fig. 2 dargestellt sind, ist zu beachten, dass entsprechend vorstehender Beschreibung zu Fig. 1 die Erwärmung durch die Wicklung 6' das gasförmige Fluid dazu bringen sollte, durch den Einlassabschnitt oder die Zone 6A' zu strömen, um einen vorbestimmten Temperaturwert 15 zu erreichen; die Durchschnittstemperatur, die für die folgende Strömung durch die Messzone 7A' geregelt wird, sollte auf einem höheren Wert 16 liegen, und die nächste Temperaturregelung in der Auslasszone 8A' sollte einen Abfall beinhalten, wie dies durch den Wert 17 in Fig. 2 gezeigt ist. Die tatsächlichen Wärmeübergänge des Fluids bei seinem Durchgang durch diese Zonen verlaufen natürlich allmählich bzw. graduell und ändern sich mit den Strömungsbedingungen. In der Einlasszone 6A' kann die Temperatur des einströmenden Fluids entweder nahe bei oder wesentlich niedriger als das Temperaturniveau 15 sein und muss daher um kleine oder grosse Beträge über eine vorgegebene Länge dieser Zone angehoben werden; sowohl die Fluidichte als auch die Geschwindigkeit, mit der das Fluid strömt, beeinträchtigt die Quantität der Wärme, die zugeführt werden muss, über welche Zeit auch immer das Fluid durch diese Zone strömt. Ausserdem kann der «Endeffekt» am stromabwärts liegenden Ende der Wicklung 6', die nahe einem beheizten, stromauf liegenden Ende der Wicklung 7' liegt und durch diese beeinflusst wird, unterschiedlich gegenüber dem Effekt am stromauf liegenden Ende sein, an welchem das ankommende Fluid unterschiedliche Wärme- oder Kältegrade haben kann. Solche «Endeffekte» liegen in gleicher Weise auch im Falle der Messwicklung 7' vor, jedoch sollte dessen stromauf liegendes Ende eine relativ stabile Temperatur auf dem Temperaturniveau 15 aufzeigen, während sein stromabwärts liegendes Ende variable Temperaturabsenkungen erfährt, die vom Kühlen abhängen, das durch die benachbarte, unterschiedlich beheizte, jedoch relativ kühlere Ausgangswicklung 8' ermöglicht wird. Die letztgenannten Wechselwirkungen zwischen dem stromab liegenden Abschnitt der Messwicklung 7' und der Auslasswicklung 8' in unmittelbarer Nähe stromab derselben sind sehr wichtig, da sie die erwähnte Proportionalität zur Fluidströmungsgeschwindig-

keit fördern. Bei Abwesenheit einer solchen Auslasswicklung existiert auch eine nützliche Fühl- und/oder Messbeziehung zwischen der Strömung und dem Aufheizen, das in der Messzone stattfindet. Vorzugsweise liegt eine geregelte, relative Kühlung stromabwärts vor. Obgleich das Profil der Temperaturänderungen entlang der Messzone sich mit der Strömung ändert und zuerst eine positive Steigungszunahme über einen bestimmten Abstand aufweist, dem eine negative Steigungsabnahme über die restliche Zone folgt, verbleibt die Durchschnittstemperatur im wesentlichen gleich für alle Strömungsbedingungen innerhalb eines Strömungsbereiches, für den das Gerät ausgelegt ist. Es ist festzuhalten, dass die Durchschnittstemperatur einen Aufwand an Heizenergie beinhaltet, der sich mit der Strömung ändert und sie ziemlich exakt bzw. getreu erfasst.

Eine bevorzugte praktische Ausführungsform des Durchflussmengenmessers ist in Fig. 3 gezeigt. Das Rohr 9' steht in einer Bypass-Beziehung mit einer Strömungsleitung 18, die durch eine Basis 19 aus rostfreiem Stahl hindurch geht, die an ihren Enden mit Innengewinden versehene Öffnungen aufweist, die beispielsweise zur Verbindung mit dem stromauf befindlichen Anschlussstück 20 dienen. Kanäle 21 und 22, durch welche das Fluid von der Leitung 18 durch das kleine Rohr 9' als Bypass geführt wird, sind teilweise durch die Basis 19 und teilweise durch die Befestigungs- und Verbindungsstützteile 23 bzw. 24 gebildet. Verbindungsstreifen 13 und ähnliche Streifen für die Heizwicklung 14 zur Umgebungstemperaturregelung sind derart vorgesehen, dass sie auf die zugehörigen Kantenverbindungen einer gedruckten Schaltungsplatte 25 passen, die die zugehörigen elektrischen Brücken und andere Schaltkreise und Komponenten trägt, welche in Verbindung mit dem Fühler verwendet werden.

Bezüglich der letzterwähnten Ausführungsbeispiele zeigt Fig. 4 einen Schaltkreis und andere Einzelheiten einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung zur Durchflussmengenmessung, einschliessend drei elektronische Regeleinheiten 6B', 7B', 8B', die Gegenstücke zu den Einheiten sind, die durch entsprechende Bezugszeichen in Fig. 1 angegeben sind. Ausserdem ist eine vierte, ähnliche Regeleinheit 14B' vorgesehen, welche für die Widerstandsheizwicklung 14' vorgesehen ist und die Umgebungstemperatur regelt, welche durch die stromauf befindliche Wicklung 6', die im Mittelabschnitt befindliche primäre Messwicklung 7' und die stromab liegende 8' gemessen werden. Die letztgenannten drei Wicklungen sind in wärmeübertragenden Beziehungen gegenüber dem Fluid angeordnet, das durch die laminare Strömungsleitung oder das Strömungsrohr 9 hindurchgeführt wird und haben im wesentlichen kontinuierliche Verteilungen entlang der jeweiligen stromauf, im Mittelbereich liegenden und stromab liegenden Abschnitte der Vorrichtung zur Durchflussmengenmessung.

Unter Bezugnahme auf die Regeleinheit 6B' als Beispiel ist zu beachten, dass das relativ hohe Temperaturkoeffizienten aufweisende Material der Wicklung 6' sich in einem Zweig der kompletten Brücke befindet, dass die anderen drei Arme der Brücke Widerstände 6a', 6b' und 6c' mit nur relativ niedrigem Temperaturkoeffizienten aufweisen und dass der Ausgang der Brücke durch einen Operationsverstärker 26 erfasst wird, der tatsächlich und augenblicklich einen Leistungs-Booster-Transistor 27 steuert, um die Ströme zu ändern, welche dem Brückenwicklungswiderstand 6' auf solche Weise zugeführt werden, dass die Fluidtemperatur entsprechend geregelt wird. Bezüglich der Regeleinheit 8B', welche der Wicklung 8' zugeordnet ist, ist ein ähnlicher Operationsverstärker 28 und ein steuernder Leistungs-Booster-Transistor vorgesehen. Auf ähnliche Weise enthält die Regeleinheit 14B' einen Heizwiderstand 14' für die Umgebung in Form

eines Armes der kompletten Brücke, der einen hohen Temperaturkoeffizienten aufweist, wobei die verbleibenden Zweige der Brücke 14A'-14C' vernachlässigbar niedrige Temperaturkoeffizienten haben; ferner ist ein auf die Brücke ansprechender Operationsverstärker vorgesehen, welcher einen Leistungs-Booster-Transistor 31 steuert, um den Heizstrom zu ändern, wenn die erfassten bzw. gemessenen Umgebungstemperaturbedingungen sich ändern. Ein Operationsverstärker 32 und ein weiterer Leistungs-Booster-Transistor 33 führen vergleichbare Funktionen in bezug auf die Arbeitsweise der Steuereinheit 7B' durch, welche die primäre Messwicklung 7' enthält. Der Spannungsabfall an der Wicklung 7' ist besonders wesentlich vom Standpunkt der Durchflussmengenmessung und kann gemäss vorstehender Beschreibung als im wesentlichen proportional zur Fluidströmungsgeschwindigkeit angesehen werden. Demzufolge verlaufen diese Spannungen auf einer kontinuierlichen Basis infolge eines isolierenden Nachlauf-Verstärkers 34 hoher Impedanz, ohne dass die Aufheizung oder die Temperaturerfassung, welche durch die Wicklung 7' vorgenommen wird, beeinträchtigt werden. Durch Verstärker 35 und 36 wird eine nachfolgende Verstärkung vorgenommen, wobei eine Verstärkungsfaktoreinstellung durch ein Potentiometer 37 und einen Gegenwert bzw. eine Gegenspannung möglich ist, die über ein Potentiometer 38 in Beziehung auf einen Referenzwert zugeführt wird, der seinerseits durch eine Zenerereinrichtung (Zenerdiode) festgelegt wird. Dieser Gegenwert, bzw. diese Gegenspannung soll solche Systemwirkungen kompensieren, die bei Messungen unter Bedingungen auftreten können, unter welchen keine Strömung vorliegt, bzw. eine sogenannte «0»-Bedingung vorliegt. Die erfassten und verarbeiteten Signale, die für die Fluidströmungsgeschwindigkeit repräsentativ sind und von einer Ausgangskopplungseinheit 40 erhalten werden, werden an eine zugehörige Endeinheit 41 angelegt, beispielsweise eine bekannte Anzeigeeinheit, eine Aufzeichnungseinheit oder eine Steuereinheit. Wenn die Vorrichtung zur Durchflussmengenmessung als Teil eines Systems benutzt wird, welches das über eine Hauptleitung 42 zugeführte Fluid mittels eines Ventils 43 regelt, aktiviert dann die Steuereinheit 41 in geeigneter Weise einen Motor oder ein anderes Ventilbetätigungsglied 44.

In geeigneten Fällen können die Messungen zusammengefasst werden, um die gesamte Durchflussmenge zu bestimmen. Ferner können auch zusätzliche Anordnungen im Bypass verwendet werden, um die Messbereiche zu vervielfachen, die mit einer Ausführung eines Durchflussmengenmessers durchgeführt werden können. Obgleich eine Form einer vollständigen Brücke vorstehend beschrieben wurde, können andere Brücken benutzt werden, um die gleichen bzw. ähnlichen Ergebnisse zu erreichen, einschliessend solche Brücken, die Temperaturmessungen separat mittels einer Wicklung eines Paares durchführen, während das Heizen durch das Heizen der anderen Wicklung des gleichen Paares realisiert wird. Die Wicklungen müssen nicht spiralförmig sein und leitfähige Filme bzw. Schichten und andere Äquivalente eines Drahtes können selbstverständlich ersetzt werden. Gerade Leitungen mit laminarer Strömung werden für die Gas-Durchflussmengenmessung bevorzugt, die vorstehend beschrieben wurde, jedoch können Vorrichtungen mit nicht-linearen oder nicht gleichförmigen Querschnitten ebenfalls angewandt werden und zur Durchflussmengenmessung von Flüssigkeiten, breiförmigen Fluids und anderen Gemischen verwendet werden. Die vorstehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen beinhalten drei Wicklungsabschnitte, wobei die am weitesten stromabwärts befindliche Wicklung ein Heizelement darstellt, das die Abkühlung des Fluids auf eine Temperatur zwischen dem stromauf regulierten Temperaturwert und dem Druch-

schnittswert der Temperaturen im mittleren Abschnitt zulassen kann; wenn jedoch ein gewisser Grad an Trägheit und Nichtlinearität im Ansprechverhalten bzw. in der Empfindlichkeit toleriert und/oder kompensiert werden kann, muss die Temperatur des stromabwärts befindlichen Abschnittes nicht zwischen den anderen Temperaturwerten liegen. Während es bevorzugt ist, dass die Durchflussmengenmessung durch einen Messabschnitt bewirkt wird, der sich gerade stromabwärts eines ersten Abschnittes befindet, in welchem die Fluidtemperatur oberhalb oder unterhalb der

Umgebungstemperaturen geregelt wird, mit welcher das Fluid ankommen kann, ist es möglich, nützliche, auf die Durchflussmenge bezogene Information von einem oder mehreren der vielen Abschnitte abzunehmen. In Verbindung mit letzterem kann die Energie oder die auf die Energie bezogene Wirkung der stromauf liegenden Wicklungsabschnitte 6 zugeführten und/oder der stromab liegenden Wicklung 8 und/oder der Wicklung 7 und einer oder beiden Wicklungen 6 und 8 zugeführten Energie erfasst werden, um die Durchflussmengenmessung durchzuführen.

