



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 027 546 B4 2006.10.05**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 027 546.7**
 (22) Anmeldetag: **04.06.2004**
 (43) Offenlegungstag: **29.12.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **05.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01P 5/24 (2006.01)**
G01F 1/66 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Fachhochschule Kiel, 24149 Kiel, DE

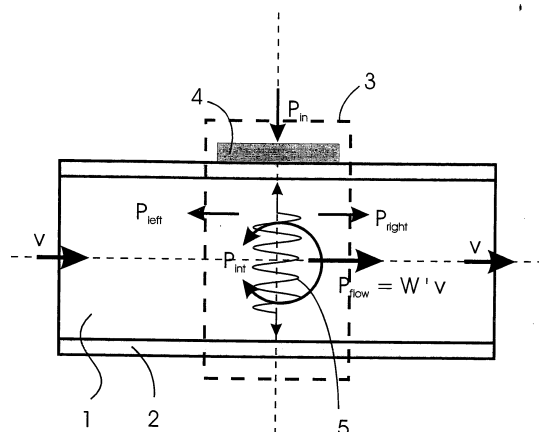
(72) Erfinder:
Stange, Gerd, Prof. Dr.-Ing., 24589 Nortorf, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 196 50 112 C1
DE 195 21 786 A1
DE 44 11 815 A1
DE 43 35 394 A1
DE 42 41 225 A1
US 58 77 416 A
EP 06 01 475 A1
WO 94/14 047 A1
Pat. Abstracts of Japan 60166822 A;
FIEDLER, Otto: Strömungs- und Durchflussmess-
technik, R.Oldenbourg Verlag München 1992;

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Fließgeschwindigkeit in Volumina einer akustischen Resonatoranordnung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines durch Volumina einer akustischen Resonatoranordnung hindurchfließenden Mediums mittels eines in der Resonatoranordnung erzeugten Schallfeldes, welches die Schallenergie im Medium speichert, gekennzeichnet durch

- Bestimmen eines Kalibrierzusammenhangs einer beliebigen meßbaren Größe je eines definierten Volumens eines Resonators anhand einer vorbekannten Strömungsgeschwindigkeit,
- Vergleich der Resonatoreigenschaften hinsichtlich der kalibrierten Größen zweier unterschiedlichen, mit Schallenergie beaufschlagter Volumina, zwischen denen durch den Fluß des Mediums Schallenergie transportiert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines in einer Messstrecke durchfließenden Mediums in Volumina einer akustischen Resonatoranordnung mittels einer schallaussendenden Einrichtung.

Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, akustische Methoden zur Durchfluss- und Strömungsmessung einzusetzen (Otto Fiedler, Strömungs- und Durchflussmesstechnik, R. Oldenbourg Verlag München 1992). Bei allen Unterschieden ist diesen Methoden gemeinsam, dass sie ein Schallfeld nutzen, das sich mit einer Komponente in Strömungsrichtung des Mediums ausbreitet. Grundsätzlich lassen sich zwei Gruppen von Messverfahren unterscheiden: Bei der Gruppe der Verfahren nach dem Doppler-Effekt wird die Frequenzverschiebung einer Schallwelle nach Reflexion an Inhomogenitäten innerhalb des strömenden Mediums erfasst. Voraussetzung ist hier das Vorhandensein von Inhomogenitäten, zumeist in Form von mitgeführten Partikeln, verbunden mit dem Nachteil der lediglich punktuellen Erfassung der Partikelgeschwindigkeit. Daher lässt sich diese Gruppe von Verfahren nicht bei homogenen Medien einsetzen.

[0003] Die für die industrielle Durchfluss- und Strömungsmessung wichtigere Gruppe der Verfahren nach dem Mitführungseffekt nutzt unmittelbar die Überlagerung der Fließgeschwindigkeit des Mediums mit der in ihrer Richtung liegenden Komponente der Schallgeschwindigkeit aus, indem dadurch entlang einer Messstrecke endlicher Ausdehnung in Strömungsrichtung hervorgerufene Änderungen von Signallaufzeiten, Phasendifferenzen oder Frequenzdifferenzen gemessen werden. Alle diese Messungen laufen im Ergebnis auf Zeitmessungen hinaus, die bei geringen Fließgeschwindigkeiten von z.B. 0.01 m/s bei einer Messstrecke von z.B. 0.1 m Länge eine Zeitauflösung im Subnanosekundenbereich erfordern. Der linear in die Zeitauflösung eingehenden Länge der Messstrecke sind aus praktischen Gründen enge Grenzen gesetzt.

[0004] Es hat daher nicht an Bemühungen zu einer künstlichen Verlängerung der Messstrecke – z.B. durch das sog. Sing-around-Verfahren – gefehlt, bei dem ein von einem Schallsender nach Durchlaufen der Messstrecke vom Empfänger aufgenommenes Signal seinerseits zur Auslösung eines neuen Sendesignals führt. Durch vielfache Wiederholung dieses Vorganges lässt sich die scheinbare Länge der Messstrecke vervielfachen. Jedoch sind die dabei auftretenden Totzeiten zwischen Signalempfang und erneuter Signalsendung Ursache für zusätzliche Fehler. Ein weiteres Problem aller Verfahren dieser Gruppe stellt die empfindliche Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit dar. Sie erfordert entweder die gleichzeitige Messung der Schallgeschwindigkeit oder eine Temperaturmessung, verbunden mit einer Kalibrationsprozedur.

[0005] Grundsätzlich lässt sich jedoch auch mit solchen Schallfeldern, die keine Ausbreitungskomponente in Fließrichtung des Mediums haben, die Fließgeschwindigkeit des Mediums messen. Die Verwendung solcher Schallfelder bietet den Vorteil kurzer Baulängen. Eine entsprechende Vorrichtung wird in der Schrift JP 601 66 822 vorgeschlagen. Diese sieht eine akustische Messstrecke mit zur Strömungsrichtung transversalem Schallfeld innerhalb einer geschlossenen Regelschleife so vor, dass sie sich mittels eines Verstärkers selbst in Resonanz erregt und dabei die Amplitude des Schallfeldes auf einen konstanten Referenzwert geregelt wird. Die mit der Strömung transportierte Energie verursacht einen zur Strömungsgeschwindigkeit proportionalen Leistungsabfluss, der bei vorausgesetzter Konstanz der Schallamplitude durch die Regelstrecke ausgeglichen wird und daher gemäß der JP 601 66 822 zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit herangezogen werden kann.

[0006] Eine genauere Untersuchung der in der JP 601 66 822 vorgeschlagenen Vorrichtung zeigt jedoch, dass die Betrachtung der zugeführten Leistung allein unzureichend ist, um die Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auch ohne Strömung Energieverluste im Schallfeld auftreten, die sich auf zwei Ursachen zurückführen lassen: Die medien-, temperatur- und frequenzabhängige Ausbreitungsdämpfung einerseits und die geometrie- und frequenzabhängige Abstrahlungsdämpfung andererseits.

[0007] Weiter sind als Stand der Technik die DE 43 35 394 A1, in der bereits ein Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines durch Volumina einer akustischen Resonatoranordnung hindurchfließenden Mediums bekannt ist, die EP 0 601 475 A1, die DE 42 41 255 A1, die US 5 877 416 A, die DE 195 21 786 A1, die WO 94/14 047 A1, die DE 44 11 815 A1 und die DE 196 50 112 C1 bekannt.

[0008] Hinsichtlich der Kalibrierung können sie jedoch stets nur in einem bestimmten Medium eingesetzt werden.

Aufgabenstellung

[0009] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Durchfluss- bzw. Strömungsmessung zu schaffen, das Messanordnungen geringstmöglicher Baulänge bei einfachem Aufbau und hoher Auflösung in möglichst vielen Medien erlaubt, wobei die oben erwähnten Probleme umgangen werden.

[0010] Es wurde festgestellt, dass sich alle diese Eigenschaften in ihren komplexen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zutreffend durch das Modell einer akustischen Resonatoranordnung und durch die diese beschreibenden Parameter erfassen lassen. Zuverlässige Rückschlüsse auf die Fließgeschwindigkeit des Mediums sind möglich, wenn die Veränderung der Resonatorparameter durch das fließende Medium in Betracht gezogen wird.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren und die entsprechende Vorrichtung nach den unabhängigen Ansprüchen ermöglichen dies. Vorteilhafte Ausführungen sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

[0012] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines Mediums, das Volumina einer akustischen Resonatoranordnung durchfließt, wird mittels eines in der Resonatoranordnung erzeugten Schallfeldes Schallenergie im Medium gespeichert. Der Vergleich einer die Resonatoreigenschaften charakterisierenden Größe für zwei unterschiedliche mit Schallenergie beaufschlagte Volumina, zwischen denen durch den Fluss des Mediums Schallenergie transportiert wird, erlaubt dann, wie im folgenden mathematisch hergeleitet, die Bestimmung der Fließgeschwindigkeit, integriert über die Volumina. Vorangehend muss nur einmal für die gewählte Geometrie ein Kalibrierzusammenhang dieser Messgröße des Resonators mit der Fließgeschwindigkeit anhand einer vorbekannten Strömungsgeschwindigkeit hergestellt werden.

[0013] Die Erfindung sieht die Verwendung einer akustischen Resonatoranordnung vor, die senkrecht zur Richtung der Schallanregung vom Medium durchströmt wird. Es wird als besonders vorteilhaft angesehen, wenn Schallgeber und Resonatorreflektoren integrale Bestandteile eines Messrohres sind, das somit hindernisfrei vom Medium durchströmt werden kann. Weiterhin sieht die Erfindung das Anordnen wenigstens zweier, entlang der Strömungsrichtung räumlich getrennter Schallempfänger vor, die vorteilhaft ebenfalls in die Rohrwandungen integriert sind. Es eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung, dass die Schallempfänger symmetrisch um die Position des Schallgebers angeordnet werden.

[0014] Das vom Schallgeber in die – erfindungsgemäß offene – Resonatoranordnung eingespeiste Schallfeld wird sich im ruhenden Medium symmetrisch ausbilden. Insbesondere werden zwei relativ zur Symmetrieachse spiegelbildlich positionierte Volumina im Innern der Resonatoranordnung – insbesondere im Innern des Messrohres mit Medium – identische Schallfeldverhältnisse aufweisen. Folglich müssen symmetrisch angeordnete Schallempfänger diesen Verhältnissen gerecht werden, indem sie identische Signale aufzeichnen. Jede Strömung des Mediums stört nun die Symmetrie. Die Abweichung von der Symmetrie gilt es messtechnisch zu erfassen und für den Rückschluss auf die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung zu benutzen.

[0015] Das erfindungsgemäße Vorgehen zur messtechnischen Erfassung ist die Messung der an den (piezoelektrischen) Schallempfängern auftretenden Spannungsamplituden normiert auf die speisende Stromamplitude am Schallgeber. Im klassischen Fall eines Resonators mit einem kontinuierlich sinusförmig anregenden Schallgeber und einem einzelnen Schallempfänger (der baulich mit dem Schallgeber identisch sein kann) entspräche dies der Messung der Resonatorgüte Q .

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren bedarf somit der Definition einer differentiellen Güte, die der Bezugnahme auf mehrere Volumina innerhalb der Resonatoranordnung gerecht wird. Es bietet sich an, bezogen auf die Strömungsrichtung eingangs- und ausgangsseitige Gütewerte zu erklären, in die die Spannungsamplituden der jeweils dort befindlichen Schallaufnehmer eingehen. Die Differenz dieser Güten, eben die differentielle Güte, reflektiert die Schallfeldsymmetrie und Abweichungen davon in vorteilhafter Weise und wird erfindungsgemäß als Messgröße vorgeschlagen. Bei Vorliegen einer symmetrisch aufgebauten Resonatoranordnung und in Abwesenheit jeglicher Strömung ist diese Gütedifferenz offenbar aus Symmetriegründen Null. Wenn das Medium strömt, findet Energietransport aus einem eingangsseitigen in ein ausgangseitiges Volumen der Resonatoranordnung statt. Der eingangsseitige Gütewert wird dadurch gegenüber dem ausgangsseitigen verringert, und zwar in einem Ausmaß, welches direkt mit der Strömungsgeschwindigkeit korreliert ist.

[0017] Neben dem gewünschten, durch die Strömung hervorgerufenen Energietransport treten weitere Energieverluste auf, die sich aufteilen lassen in die medien-, frequenz- und temperaturabhängigen Ausbreitungsverluste einerseits und die bei offenen Resonatoren unvermeidlichen, nur von der Resonatorgeometrie abhän-

gigen Abstrahlungsverluste sowie die an den Resonatorwandungen auftretenden Verluste andererseits. Auch Abstrahl- und Wandverluste verteilen sich wegen der vorausgesetzten Symmetrie des Resonators symmetrisch auf seine eingangs- und ausgangsseitigen Hälften. Alle genannten Verlustarten führen ebenfalls zu einer Änderung der Resonatorgüte, nicht jedoch zur Störung der konstruktiv vorgesehenen Symmetrie. Diese kann nur durch die einseitig gerichtete Strömung selbst erfolgen.

[0018] Während sich der Einfluss der geometrieabhängigen Abstrahlungsverluste sowie der Wandverluste auf die Güte einfach im Wege einer Kalibration berücksichtigen lässt, führen die stark von der Temperatur abhängigen Ausbreitungsverluste zu einer unerwünschten Temperaturabhängigkeit der Güte und damit der aus ihr ermittelten Fließgeschwindigkeit. Dies lässt sich jedoch bei Betrachtung zweier Volumina herausrechnen. Auch die gleichzeitige Messung der Gesamtgüte erlaubt die Elimination temperaturabhängiger Einflüsse der Ausbreitungsämpfung.

[0019] Eine ähnliche Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht die Anordnung symmetrisch ein- und ausgangsseitig benachbarter Resonatoren zu den bisher vorausgesetzten Resonatoren vor. In diesem Falle lässt sich die Kopplung der Nachbarresonatoren zur Auswertung nach der Strömungsgeschwindigkeit heranziehen. In Abwesenheit einer Strömung ist die Kopplung allein durch Abstrahlungs- und Wandverluste bedingt und damit voraussetzungsgemäß symmetrisch. Eine vorhandene Strömung verursacht unsymmetrische Kopplungen mit einer höheren Kopplung des stromabwärts gelegenen Nachbarresonators. In ähnlicher Weise wie in der vorangehenden Variante, lässt sich die Kopplung durch in den Nachbarresonatoren vorhandene Schallempfänger erfassen. In ebenfalls ähnlicher Weise lässt sich durch Differenzbildung der Kopplungsamplituden auf die Strömungsgeschwindigkeit schließen. Schließlich lassen sich auch hier temperaturbedingte Einflüsse durch gleichzeitige Messung der Güte des zentralen Resonators eliminieren.

[0020] Es bedarf der besonderen Erwähnung, dass nach dem erfindungsgemäßen Verfahren neben der Güte als Messgröße auch weitere Resonatorgrößen, wie z.B. die Bandbreite und die Dämpfungszeitkonstante zur Auswertung benutzt werden können. Diese Größen stehen in einfachen, bekannten Zusammenhängen mit der Güte, so dass sich jederzeit eine Umrechnung vornehmen lässt. Dies kann von Bedeutung sein, wenn unterschiedliche Betriebsarten des Resonators in Betracht gezogen werden.

[0021] Grundsätzlich erlaubt die Erfindung eine Reihe unterschiedlicher zeitlicher Verläufe der akustischen Anregung. Bei quasistationärem Betrieb des Resonators wird dieser sinusförmig bei seiner Resonanzfrequenz betrieben. In dieser Betriebsart ist die Güte als Messgröße besonders nahe liegend. Bei impulsförmiger Anregung entsteht durch Reflexion an den Resonatorwänden eine Folge gleichabständiger Impulse mit abnehmender Amplitude, aus denen die Dämpfungszeitkonstante ermittelt und aus ihr auf die Strömungsgeschwindigkeit geschlossen werden kann.

Ausführungsbeispiel

[0022] Die Erfindung wird im Folgenden anhand einer Prinzipskizze in einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

[0023] die einzige [Fig. 1](#) einen schematischen Längsschnitt durch die Messtrecke.

[0024] Die in [Fig. 1](#) gezeigte Meßstrecke **1** wird in der mit 'v' gekennzeichneten Richtung vom Messmedium durchströmt. Innerhalb des akustischen Resonators **3**, der durch die Wandungen **2** begrenzt und durch den Wandler **4** angeregt wird, bildet sich ein in Bezug auf die Strömungsrichtung orthogonales Schallfeld **5** aus, das Träger der gespeicherten Schallfeldenergie mit einer auf die Längeneinheit in Strömungsrichtung bezogenen Energiedichte W' ist.

[0025] Die mit 'P' bezeichneten Pfeile geben die Richtung von Leistungsflüssen an. Darin bedeutet P_{in} die durch den Wandler **4** eingestrahlte Schalleistung, während P_{int} die interne Verlustleistung des Resonators repräsentiert. P_{left} und P_{right} sind die links- bzw. rechtsseitig aus dem offenen Resonator abgestrahlten Leistungen. P_{flow} kennzeichnet den durch die Strömung transportierten Energiefluss und damit die Leistung, die – wie weiter unten gezeigt wird – der gespeicherten Energiedichte W' und der Strömungsgeschwindigkeit v proportional ist.

[0026] Die folgenden Betrachtungen unter Zuhilfenahme bekannter formelmäßiger Zusammenhänge dienen lediglich der weiteren Erläuterung der Beziehungen zwischen der Strömungsgeschwindigkeit v einerseits und den Parametern des Resonators andererseits, wie sie der Erfindung zugrunde liegen. Ausgehend von der grundlegenden Definition der Resonatorgüte Q ,

$$[1] \quad Q = \frac{\omega W}{P_{in}},$$

in der ω die Resonanzkreisfrequenz, P_{in} die Eingangsleistung und W die im Resonator gespeicherte Energie bedeuten, führt die Leistungsbilanz unter Verwendung der weiter oben definierten Leistungen zu

$$P_{in} = P_{int} + P_{left} + P_{right} + P_{flow} \quad [2]$$

[0027] Die durch die Strömung transportierte Leistung P_{flow} entspricht der zeitlichen Änderung der im Resonator gespeicherten Energie W mit

$$[3] \quad P_{flow} = \frac{dW}{dt} \cong \frac{dW}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dW}{dx} \cdot v = W' \cdot v.$$

[0028] Darin ist x die Längenkoordinate in Richtung der Strömung und v die Strömungsgeschwindigkeit. W' ist die in x -Richtung genommene, längenbezogene Energiedichte des Schallfeldes im Resonator, die hier näherungsweise als konstant angenommen wird. Unter Annahme einer Ausdehnung σ des Schallfeldes in x -Richtung gilt dann

$$[4] \quad P_{flow} = \frac{W}{\sigma} v.$$

[0029] Mittels symmetrisch zur Resonatormitte stromauf- und stromabwärts angebrachter Schallempfänger lassen sich die nach links bzw. rechts fließenden Schalleistungen P_{left} bzw. $P_{right} + W'v$, wie diese in [Fig. 1](#) dargestellt sind, erfassen. Dann ist deren Differenz gegeben durch

$$\Delta P = P_{flow} = P_{right} + W' \cdot v - P_{left} = W' \cdot v \quad [5],$$

da wegen der vorausgesetzten Symmetrie für die reinen Abstrahlverluste $P_{left} = P_{right}$ gilt. Auflösung nach der Geschwindigkeit führt zu

$$[6] \quad v = \frac{\Delta P}{W'} = \frac{\Delta P}{W} \sigma = \frac{P_{flow}}{W} \sigma.$$

[0030] Wie in der einleitenden Beschreibung erwähnt, lässt sich die im Betrieb durch die Medienströmung verursachte Nichtsymmetrie des Resonators durch die Definition von ein- und austrittsseitigen Güten für die ein- bzw. austrittsseitigen Volumina im Resonatorinnern beschreiben. Dann lässt sich der Kehrwert der eintrittsseitigen (links) Güte $1/Q_L$ unter Benutzung der in [Fig. 1](#) angegebenen Leistungen definieren als

$$[7] \quad \frac{1}{Q_L} = \frac{\frac{P_{int}}{2} + P_{left} + P_{flow}}{\omega \frac{W}{2}} = \frac{1}{Q} + \frac{P_{flow}}{\omega \frac{W}{2}}$$

und entsprechend für die austrittsseitige (rechts)

$$[8] \quad \frac{1}{Q_R} = \frac{\frac{P_{int}}{2} + P_{left}}{\omega \frac{W}{2}} = \frac{1}{Q},$$

wobei von der Symmetrie der links- und rechtsseitigen Abstrahlverluste Gebrauch gemacht wurde. Darüber hinaus wurde berücksichtigt, dass die aus dem linksseitigen Volumen durch Strömung abtransportierte Energie dem rechtsseitigen Volumen zugute kommt, das jedoch seinerseits die gleiche Energie nach rechts verliert, so dass im Ergebnis die rechts- bzw. austrittsseitige Güte unverändert bleibt. Dann folgt aus diesen Gleichungen

$$[9] \quad P_{flow} = \frac{W}{\sigma} v = \frac{W}{2} \omega \left[\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_R} \right]$$

und schließlich für die Strömungsgeschwindigkeit

$$[10] \quad v = \frac{1}{2} \sigma \omega \left[\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_R} \right].$$

[0031] Diese einfache Beziehung veranschaulicht die Bedeutung der durch die Strömung verursachten Nichtsymmetrie der Resonatoreigenschaften. Interessant ist, dass keine Bezugsgröße für $v = 0$ benötigt wird. Daher spielt auch die Temperaturabhängigkeit der Ausbreitungsdämpfung und der Schallgeschwindigkeit keine Rolle.

[0032] Für die praktische Durchführung von Messungen lassen sich z.B. die Spannungsamplituden an den symmetrisch zur Resonatormitte stromauf- und stromabwärts angebrachten Schallempfängern – U_L bzw. U_R – und die Spannungsamplitude U am mit konstanter Stromamplitude gespeisten Schallsender messen. Die Quadrate der Quotienten U_L/U und U_R/U sind den Güten Q_L bzw. Q_R proportional. Die Proportionalitätskonstante K lässt sich vorab bei einer bekannten Geschwindigkeit v ermitteln. Dann nimmt die vorangegangene Gleichung die Form

$$[11] \quad v = K \frac{1}{2} \sigma \omega \left[\frac{1}{\frac{U_L^2}{U^2}} - \frac{1}{\frac{U_R^2}{U^2}} \right] = K \frac{1}{2} \sigma \omega U^2 \left[\frac{1}{U_L^2} - \frac{1}{U_R^2} \right]$$

an.

[0033] Jedoch lassen sich auch weitere die Resonatoreigenschaften beschreibende Parameter, wie z.B. die Bandbreite B und die Dämpfungszeitkonstante τ zur Auswertung nach der Strömungsgeschwindigkeit heranziehen.

[0034] Die Bandbreite B , angegeben als Kreisfrequenz, steht mit der Güte in der folgenden Beziehung

$$[12] \quad B = \frac{\omega}{Q},$$

so dass sich die obige Gleichung [10] für v umformen lässt in

$$[13] \quad v = \frac{1}{2} \sigma [B_L - B_R].$$

[0035] Diese Gleichung ist ebenso wie Gleichung [10] auf den quasistationären Betrieb zugeschnitten.

[0036] Für impuls- bzw. burstförmigen Betrieb lassen sich die obigen Beziehungen mittels der Zusammenhänge

$$[14] \quad Q = \frac{\omega}{2\alpha},$$

worin α die Dämpfungskonstante des Resonators ist, und

$$[15] \quad \alpha = \frac{1}{2\tau},$$

worin τ die Zeitkonstante des Resonators kennzeichnet, in die Beziehungen

$$v = \sigma [\alpha_L - \alpha_R] \tag{16}$$

bzw.

$$[17] \quad v = \frac{1}{2} \sigma \cdot \left[\frac{1}{\tau_L} - \frac{1}{\tau_R} \right]$$

umformen, wobei die Indizes 'L' bzw. 'R' entsprechend der oben getroffenen Konvention gelten.

[0037] Zusammenfassend sei festgehalten, dass die Erfindung die Überwachung des Schallfeldes in einer Resonatoranordnung lehrt, welches per Konstruktion bei ruhendem Medium bezüglich der Schalleinstrahlachse symmetrisch ausgebildet ist. Die Strömung des Mediums bedingt Abweichungen von dieser Symmetrie, die sich anhand geeigneter Observablen messtechnisch erfassen lassen und direkt – im Zuge einer einmaligen Kalibration – mit der Strömungsgeschwindigkeit in Zusammenhang zu bringen sind. Die differentielle Güte der Resonatoranordnung ist eine, aber keinesfalls die einzige, Möglichkeit zur Definition einer günstigen Observablen. Mit Ausnahme der in Bezug auf die Strömung orthogonalen Ausrichtung werden keine weiteren Bedingungen an die Art und Form des Schallfeldes gestellt.

[0038] Das Verfahren bildet eine allgemeine Grundlage für eine Vielfalt von Anordnungen (sowohl apparativ als auch bezüglich der gewählten Messgrößen) zur Messung der Fließgeschwindigkeit flüssiger und gasförmiger Medien. Die hier im Einzelnen präsentierten Varianten (z.B. Integration in ein Messrohr, differentielle Resonatorgüte, Kopplungen mehrerer Resonatoren) sind dabei bevorzugte, aber nur beispielhafte, Ausführungsmöglichkeiten.

[0039] Allgemein lassen sich die Vorrichtungen als eine zwei Volumina aufweisende akustische Resonatoranordnung im Durchflußbereich des hindurchfließenden Mediums mit einem Schallerzeuger bezeichnen, wobei eine Recheneinheit zur Speicherung eines Kalibrierzusammenhangs einer beliebigen Meßgröße jedes definierten Volumens der Resonatoranordnung dient, und eine Vergleichereinheit für zwei die Resonatoreigenschaften charakterisierenden in unterschiedlichen mit der Schallenergie des Schallerzeugers beaufschlagten Volumina gemessenen Größen vorhanden ist, deren Ergebnisse nach Interpretation die Fließgeschwindigkeit angeben, wobei zwischen den Volumina aufgrund deren Anordnung durch den Fluß des Mediums Schallenergie transportiert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines durch Volumina einer akustischen Resonatoranordnung hindurchfließenden Mediums mittels eines in der Resonatoranordnung erzeugten Schallfeldes, welches die Schallenergie im Medium speichert, gekennzeichnet durch

- Bestimmen eines Kalibrierzusammenhangs einer beliebigen meßbaren Größe je eines definierten Volumens eines Resonators anhand einer vorbekannten Strömungsgeschwindigkeit,
- Vergleich der Resonatoreigenschaften hinsichtlich der kalibrierten Größen zweier unterschiedlichen, mit Schallenergie beaufschlagter Volumina, zwischen denen durch den Fluß des Mediums Schallenergie transportiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Resonatorgüten zweier symmetrisch angeordneter Volumina nach der Formel

$$[10] \quad v = \frac{1}{2} \sigma \omega \left[\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_R} \right]$$

zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit genutzt werden.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit einer zwei Volumina aufweisenden akustischen Resonatoranordnung im Durchflußbereich des hindurchfließenden Mediums mit einem Schallerzeuger, gekennzeichnet durch eine Recheneinheit zur Speicherung eines Kalibrierzusammenhangs einer beliebigen Meßgröße jedes definierten Volumens der Resonatoranordnung, und eine Vergleichereinheit für zwei die Resonatoreigenschaften charakterisierenden in unterschiedlichen mit der Schallenergie des Schallerzeugers beaufschlagten Volumina gemessenen Größen, wobei zwischen den Volumina aufgrund deren Anordnung durch den Fluß des Mediums Schallenergie transportiert wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

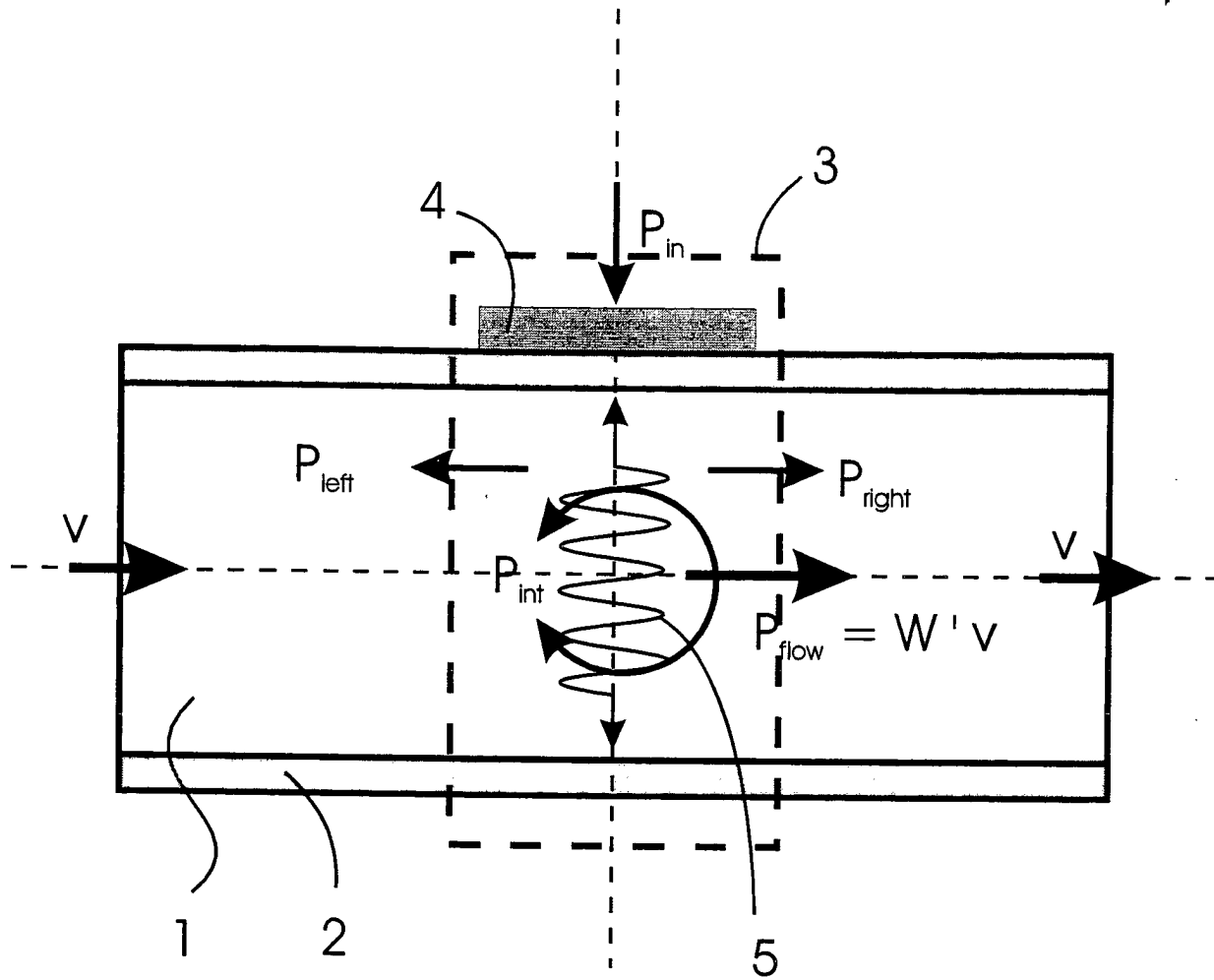


FIG. 1