



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 027 544 B4** 2007.02.01

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 027 544.0**

(22) Anmeldetag: **04.06.2004**

(43) Offenlegungstag: **29.12.2005**

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **01.02.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **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**

(74) Vertreter:  
**BOEHMERT & BOEHMERT, 24105 Kiel**

(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**

**FIEDLER, Otto: Strömungs- und  
 Durchflussmesstechnik.**

**R. Oldenbourg Verlag München, 1992;**

**KUTTRUFF, Heinrich: Physik und Technik des  
 Ultra-  
 schalls. S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1988;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit in einem akustisch gut übertragenden Medium**

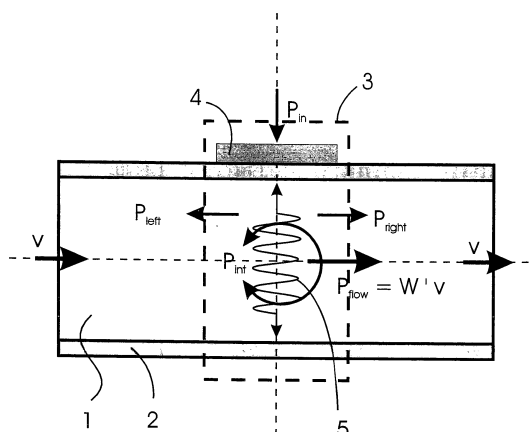
(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines in einer akustischen Resonatoranordnung durchfließenden, akustisch gut übertragenden Mediums mittels eines in der Resonatoranordnung erzeugten Schallfeldes, durch das Schallenergie im Medium gespeichert wird, gekennzeichnet durch

– Einbringen von einer dauerhafte Verschlechterung der Güte der Resonatoranordnung bewirkenden Einrichtung und/oder Wahl einer solchen Verschlechterung bewirkender geometrischer Abmessungen in einem Maße, daß die die Güte beeinflussenden Eigenschaften des Mediums im Hinblick auf die gewünschte Meßgenauigkeit vernachlässigbar sind,

– Bestimmen eines Kalibrierzusammenhangs anhand eines kennzeichnenden Parameters der so verschlechterten Resonatoranordnung bei einer vorbekannten Strömungsfließgeschwindigkeit des Mediums durch die Resonatoranordnung,

– Bestimmen des kennzeichnenden Parameterwertes der Resonatoranordnung am zu messenden Medienfluß,

– Errechnen der momentanen Fließgeschwindigkeit des Mediums aus dem momentan bestimmten kennzeichnenden Parameter.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit in einem akustisch gut übertragenden Medium 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 ist die DE 43 35 394 A1 zu nennen, die die Merkmale des Oberbegriffs des Anspruches 1 aufweist. Aus der EP 0 601 475 A1, der DE 42 41 225 A1, der US 5,877,416 A und der DE 195 21 786 A1 sind weitere Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines akustischen Resonatereinrichtung durchfließenden, akustisch gut übertragenden Mediums bekannt, die aber unzulängliche Meßergebnisse mit zu großem Aufwand liefern. Aus der WO 94/14 047 ist ein Verfahren zur Messung der Viskosität bekannt, bei dem ein Gütefaktor bestimmt wird; aus der DE 44 11 815 A1 eine Messung eines Gütefaktors, der von physikalischen Eigenschaften bestimmt wird und aus DE 196 50 112 C1 die Notwendigkeit einer Kalibrierung.

## Aufgabenstellung

**[0008]** Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Durchfluss- bzw. Strömungsmessung zu schaffen, das Messanordnungen geringstmöglicher Baulänge bei einfachem Aufbau und hoher Auflösung erlaubt, wobei die oben erwähnten Probleme umgangen werden.

**[0009]** Es wurde festgestellt, dass sich alle diese Eigenschaften in ihren komplexen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zutreffend durch ein Modell eines akustischen Resonators und durch die ihn 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. Dabei kommt der Resonatorgüte eine entscheidende Bedeutung zu.

**[0010]** Das erfindungsgemäße Verfahren und die entsprechende Vorrichtung nach den unabhängigen Ansprüchen ermöglicht dies. Vorteilhafte Ausführungen sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

**[0011]** Die Erfindung geht von einem offenen, akustischen Resonator aus, in den ein Schallgeber Schallwellen einstrahlt und der senkrecht zur Einstrahlrichtung von einem Medium durchströmt wird. Bevorzugt sind Schallgeber und Resonatorreflektoren integrale Bestandteile eines Messrohres, in dem das Medium ungehindert fließen kann. Das strömende Medium bewirkt den Abtransport der im erregten Resonator gespeicherten Schallfeldenergie, wie bereits oben dargelegt wurde.

**[0012]** Neben dem gewünschten, durch die Strömung hervorgerufenen Energietransport treten aber 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 abhängigen Abstrahlungsverluste sowie die an den Resonatorwänden auftretenden Verluste andererseits.

**[0013]** Es reicht zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit deshalb nicht aus, die Energieverluste – etwa durch Kompensation – zu messen, da diese, soweit sie von Eigenschaften des Mediums herrühren, nicht im Zuge einer einfachen Kalibration ein für allemal zu ermitteln sind.

**[0014]** Erfindungsgemäß soll daher die dem Fachmann bekannte Güte des Resonators als Messgröße vorgeschlagen werden. Üblicherweise wird die Resonatorgüte  $Q$  vom Fachmann nicht als eine kontinuierlich zu messende Observable angesehen.

**[0015]** Die Messung der Resonatorgüte und ihrer Änderung ist auf verschiedene Weise möglich. Im einfachsten Falle wird der Resonator im quasistationären Betrieb sinusförmig erregt, indem z.B. ein in den Resonator integrierter bevorzugter piezoelektrischer Schallwandler mit konstanter Stromamplitude gespeist wird. Die sich dabei am Wandler einstellende Spannungsamplitude ist ein Maß für die Güte. In diesem Falle übernimmt ein einziger Schallwandler zugleich die Aufgaben der Anregung und der Gütemessung. Es ist offensichtlich, dass diese Aufgaben auch von getrennten Wandlern wahrgenommen werden können.

**[0016]** In Bezug auf die Güte lassen sich die geometrieabhängigen Abstrahlungsverluste und die Wandverluste einfach im Wege einer einmaligen Kalibration berücksichtigen. Allerdings führen die stark von der Temperatur abhängigen Ausbreitungsverluste immer noch zu einer unerwünschten Temperaturabhängigkeit der Güte, so dass eine genaue Bestimmung der Fließgeschwindigkeit des Mediums aus einer Güteänderung nicht ohne weiteres gelingen wird.

**[0017]** Der Kerngedanke der Erfindung besteht deshalb darin, diese Temperaturabhängigkeit zu unterdrücken, indem z.B. durch Wahl einer geeigneten Resonatorgeometrie die Abstrahlungsverluste die Ausbreitungsverluste im Medium dominieren. Der Resonator wird durch diese Maßnahme eine zwar verringerte, jedoch gegenüber Temperaturänderungen unempfindliche Güte aufweisen. Ein analoger Effekt bezüglich der Wandungsverluste lässt sich durch schalldämpfende Beläge an den inneren Resonatorwandungen erzielen. Die auf diese Weise durch das strömende Medium verursachten Güteänderungen erlauben dann eine ebenfalls temperaturunabhängige Auswertung nach seiner Geschwindigkeit. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Abstand zwischen der rein medienabhängigen Güte, die sich bei Annahme eines geschlossenen, verlustlosen Resonators einstellt, und der durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen verringerten Güte ausreichend groß ist.

**[0018]** Eine nähere Untersuchung zeigt, dass diese Voraussetzung z.B. für das in der Praxis wichtige Medium Wasser gut erfüllbar ist. Wie weiter unten noch ausführlich gezeigt wird, liegt die rein medienabhängige Güte

bei Wahl einer Frequenz von z.B.  $f = 100 \text{ kHz}$  bei einem Wert von  $Q \approx 10^6$ , so dass ausreichend Spielraum zur Einstellung einer gedämpften Güte von z.B.  $Q = 10^4$  mit den geschilderten Maßnahmen besteht. Grundsätzlich besteht in der Fachwelt jedoch das Vorurteil, dass die Wahl einer möglichst hohen Güte im Interesse möglichst hoher Auflösung anzustreben sei. Die willkürliche Verschlechterung der Güte ist daher dem Fachmann nicht nahe gelegt.

**[0019]** 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.

**[0020]** 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 auf die Strömungsgeschwindigkeit geschlossen werden kann. Mit Ausnahme der in Bezug auf die Strömung orthogonalen Ausrichtung werden keinerlei Bedingungen an die Art und Form des Schallfeldes gestellt.

**[0021]** Die Erfindung gestattet die praktische Realisierung von Messanordnungen mit geringstmöglichen Abmessungen in Strömungsrichtung. Dies führt zu geringen Einbaulängen bei in Rohrleitungssystemen verwendeten Durchflussmessgeräten. Darüber hinaus gewährleistet die Nutzung des Messrohres selbst als akustischer Resonator einen extrem einfachen Aufbau der gesamten Anordnung ohne Behinderungen des Durchflusses. Bei Verwendung als offener Strömungssensor sind geringe Baulängen und einfacher Gesamtaufbau im Interesse möglichst geringer Störungen des Strömungsfeldes ebenfalls von Vorteil.

#### Ausführungsbeispiel

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

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

**[0024]** Die in [Fig. 1](#) gezeigte Meßstecke **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 transversales 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 Definition der Resonatorgüte  $Q$ ,

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

in der  $\omega$  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  $\sigma$  des Schallfeldes in  $x$ -Richtung gilt dann

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

**[0029]** Dann wird der Kehrwert der Güte unter Benutzung der vorangehenden Gleichungen

$$[5] \quad \frac{1}{Q_{v \neq 0}} = \frac{P_{in}}{\omega W} = \frac{P_{int} + P_{left} + P_{right} + \frac{W}{\sigma} v}{\omega W} = \frac{1}{Q_{v=0}} + \frac{1}{\omega \sigma} v,$$

wobei zwischen der Güte ohne Vorhandensein einer Strömung  $Q_{v=0}$  und in Gegenwart einer Strömung  $Q_{v \neq 0}$  unterschieden wird. Auflösung nach der Geschwindigkeit  $v$  liefert

$$[6] \quad v = \omega \cdot \sigma \cdot \left[ \frac{1}{Q_{v \neq 0}} - \frac{1}{Q_{v=0}} \right].$$

**[0030]** Diese Gleichung lässt sich gut für die Auswertung der Messergebnisse im quasistationären Betrieb heranziehen, indem die Güte  $Q_{v \neq 0}$  gemessen wird und der Wert  $Q_{v=0}$  aus einer einmaligen Messung bei  $v = 0$  bekannt ist. Dieses Vorgehen setzt jedoch – wie weiter oben bereits beschrieben – voraus, dass Temperatureinflüsse der medienabhängigen Ausbreitungsdämpfung zu vernachlässigen sind.

**[0031]** Durch gezielte Verschlechterung der Resonatorgüte wird der temperatur- und medienabhängige Einfluss der Ausbreitungsdämpfung vernachlässigbar gering gehalten. Dann lässt sich diese gezielt reduzierte Güte  $Q_{red, v=0}$  an Stelle der Güte  $Q_{v=0}$  ein für allemal unabhängig von der Temperatur bei nicht vorhandener Strömung bei  $v = 0$  bestimmen, so dass Gleichung [6] die Form

$$[7] \quad v = \omega \cdot \sigma \cdot \left[ \frac{1}{Q_{red, v \neq 0}} - \frac{1}{Q_{red, v=0}} \right]$$

annimmt, die als der grundlegende Zusammenhang des erfindungsgemäßen Verfahrens anzusehen ist. Darin bedeutet  $Q_{red, v \neq 0}$  den bei endlicher Strömungsgeschwindigkeit zu messenden Wert der willkürlich reduzierten Güte.

**[0032]** Wie bereits weiter oben erwähnt, lassen sich außer der Güte weitere die Resonatoreigenschaften kennzeichnende Parameter – wie z.B. die Bandbreite, die Dämpfungskonstante und die Dämpfungszeitkonstante – zur Auswertung nach der Strömungsgeschwindigkeit heranziehen.

**[0033]** Die Bandbreite  $B$ , angegeben als Kreisfrequenz, steht mit der Güte in der folgenden Beziehung

$$[8] \quad B = \frac{\omega}{Q},$$

so dass sich unter Beibehaltung der für die Indizes getroffenen Konventionen die obige Gleichung für  $v$  umformen lässt in

$$v = \sigma \cdot [B_{red, v \neq 0} - B_{red, v=0}]. \quad [9]$$

**[0034]** Diese Gleichung ist ebenfalls für den quasistationären Betrieb mit sinusförmiger Anregung geeignet.

**[0035]** Für impuls- bzw. burstförmigen Betrieb lassen sich die obigen Beziehungen mittels der Zusammenhänge

$$[10] \quad Q = \frac{\omega}{2\alpha},$$

worin  $\alpha$  die Dämpfungskonstante des Resonators ist, und

$$[11] \quad \alpha = \frac{1}{2\tau},$$

worin  $\tau$  die Zeitkonstante des Resonators kennzeichnet, in die Beziehungen

$$v = 2 \cdot \sigma \cdot [\alpha_{\text{red}, v \neq 0} - \alpha_{\text{red}, v=0}] \quad [12]$$

bzw.

$$[13] \quad v = \sigma \cdot \left[ \frac{1}{\tau_{\text{red } v \neq 0}} - \frac{1}{\tau_{\text{red } v=0}} \right]$$

umformen, wobei die Indizes entsprechend der oben getroffenen Konvention gelten.

**[0036]** Im Folgenden soll zum Zwecke der Abschätzung der erforderlichen bzw. erreichbaren Werte lediglich beispielhaft die Güte als Messgröße mit Wasser als Medium herangezogen werden. Legt man die Ausbreitungsdämpfung  $\beta$  von Wasser als prinzipielle Begrenzung für die erreichbaren Güten bei Ultraschall zugrunde, so gilt (siehe Heinrich Kuttruff Physik und Technik des Ultraschalls, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1988, Tabelle III.2, S. 201)

$$[13] \quad \frac{\beta}{f^2} = 24 \cdot 10^{-15} \text{ s}^2 \text{ m}^{-1}.$$

**[0037]** Bei Wahl einer Frequenz von  $f = 100 \text{ kHz}$  (abhängig von den Abmessungen des Resonators, die mindestens eine halbe Wellenlänge betragen müssen), ergibt sich bei einer Schallgeschwindigkeit von  $c = 1480 \text{ m/s}$  für die Dämpfungskonstante ein Wert von

$$\alpha = \beta c = 0.36 \quad [14]$$

und aus dem oben angegebenen Zusammenhang zwischen  $Q$  und  $\alpha$  der theoretisch erreichbare Höchstwert der Güte von

$$[15] \quad Q = \frac{\omega}{2\alpha} \cong 0.9 \cdot 10^6,$$

wenn keinerlei geometriebedingte Abstrahlungsverluste auftreten.

**[0038]** Da es sich um einen offenen Resonator handelt, dominieren die geometriebedingten Verluste jene durch Ausbreitungsdämpfung. In der Praxis lässt sich daher, wie oben beschrieben, durch entsprechende Wahl der Resonatorgeometrie und/oder durch Verwendung dämpfender Beläge in den Resonatorwänden eine reduzierte Güte  $Q_{\text{red}}$  einstellen, die erheblich unter dem theoretisch erreichbaren Wert liegt. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass die Güte allein durch die Geometrie bestimmt wird und die temperaturabhängigen Ausbreitungsverluste keine Rolle spielen. Dann kann tatsächlich, wie weiter oben vorausgesetzt, die Güte für  $v = 0$  ein für allemal durch eine Vorwegmessung bestimmt und als Kalibrationskonstante berücksichtigt werden. Stellt man durch Wahl der Resonatorgeometrie eine Güte von z.B.  $Q_{\text{red } v=0} = 10000$  ein, so ergibt sich bei Annahme einer Schallfeldausdehnung von z.B.  $\sigma = 10 \text{ mm}$  aus der oben angegebenen Gleichung [7] bei einer unteren Geschwindigkeit von  $0.01 \text{ m/s}$  eine erforderliche Auflösung von

$$[16] \quad \frac{\Delta Q_{\text{red}}}{Q_{\text{red } v=0}} = 1.6\%.$$

**[0039]** Für die messtechnische Umsetzung der Bestimmung der Gütenänderung gibt es mehrere Möglichkeiten. Im einfachsten Falle reicht dazu bei quasistationärem Betrieb die Änderung der Spannungsamplitude bei Speisung mit konstanter Stromamplitude aus.

**[0040]** Je nach Art der Anregung und der Messgröße sind ähnliche Anforderungen an die Auflösung der jeweils benutzten Messgröße, z.B. der Bandbreite  $B$  oder der Zeitkonstante  $\tau$ , zu stellen. Die Benutzung der Zeitkonstante  $\tau$  als Messgröße bei impulsförmiger Anregung kann durchaus von Vorteil gegenüber der Güte als Messgröße sein, wenn die Güte des anregenden Wandlers geringer ist als die Güte des akustischen Resonators, weil in diesem Falle die Gesamtgüte durch den geringsten Wert der Güten der beteiligten Komponenten bestimmt wird.

**[0041]** Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst bei einer Frequenz von  $f = 1$  MHz in Wasser als Medium die theoretische, rein ausbreitungsbedingte Güte bei ca.  $10^5$  liegt, so dass auch hier von den Vorteilen einer geometriebestimmten Güte Gebrauch gemacht werden kann. Höhere Frequenzen sind insofern vorteilhaft, als sich das Schallfeld in seiner Ausdehnung  $\sigma$  verringert. Dies ist auf den mit steigender Frequenz zunehmenden Bündelungseffekt flächenhafter Strahler zurückzuführen.

**[0042]** Es sollte hier betont werden, dass das erfindungsgemäße Verfahren eine große Vielfalt möglicher Auswertemethoden erlaubt, von denen nur einige lediglich beispielhaft durch die vorangegangene formelmäßige Beschreibung vorgestellt und erläutert worden sind.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines in einer akustischen Resonatoranordnung durchfließenden, akustisch gut übertragenden Mediums mittels eines in der Resonatoranordnung erzeugten Schallfeldes, durch das Schallenergie im Medium gespeichert wird, gekennzeichnet durch

- Einbringen von einer dauerhaften Verschlechterung der Güte der Resonatoranordnung bewirkenden Einrichtung und/oder Wahl einer solchen Verschlechterung bewirkender geometrischer Abmessungen in einem Maße, daß die die Güte beeinflussenden Eigenschaften des Mediums im Hinblick auf die gewünschte Meßgenauigkeit vernachlässigbar sind,
- Bestimmen eines Kalibrierzusammenhangs anhand eines kennzeichnenden Parameters der so verschlechterten Resonatoranordnung bei einer vorbekannten Strömungsfließgeschwindigkeit des Mediums durch die Resonatoranordnung,
- Bestimmen des kennzeichnenden Parameterwertes der Resonatoranordnung am zu messenden Medienfluß,
- Errechnen der momentanen Fließgeschwindigkeit des Mediums aus dem momentan bestimmten kennzeichnenden Parameter.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kennzeichnende Parameter die Güte ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kennzeichnende Parameter die Bandbreite ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kennzeichnende Parameter die Dämpfungskonstante ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kennzeichnende Parameter die Dämpfungszeitkonstante ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschlechterung der Güte des Resonators durch die Wahl einer Resonatorgeometrie erfolgt, bei der die Abstrahlungsverluste größer als die Ausbreitungsverluste im Medium sind.

7. Vorrichtung zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines in einer akustischen Resonatoranordnung durchfließenden, akustisch gut übertragenden Mediums mittels eines in der Resonatoranordnung erzeugten Schallfeldes, durch das Schallenergie im Medium gespeichert wird, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine Resonatorgeometrie mit einer Güte, bei der die Abstrahlungsverluste größer als die Ausbreitungsverluste im Medium sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch die Güte des Resonators verschlechternde schalldämpfende Beläge an den inneren Wänden der Resonatoranordnung.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

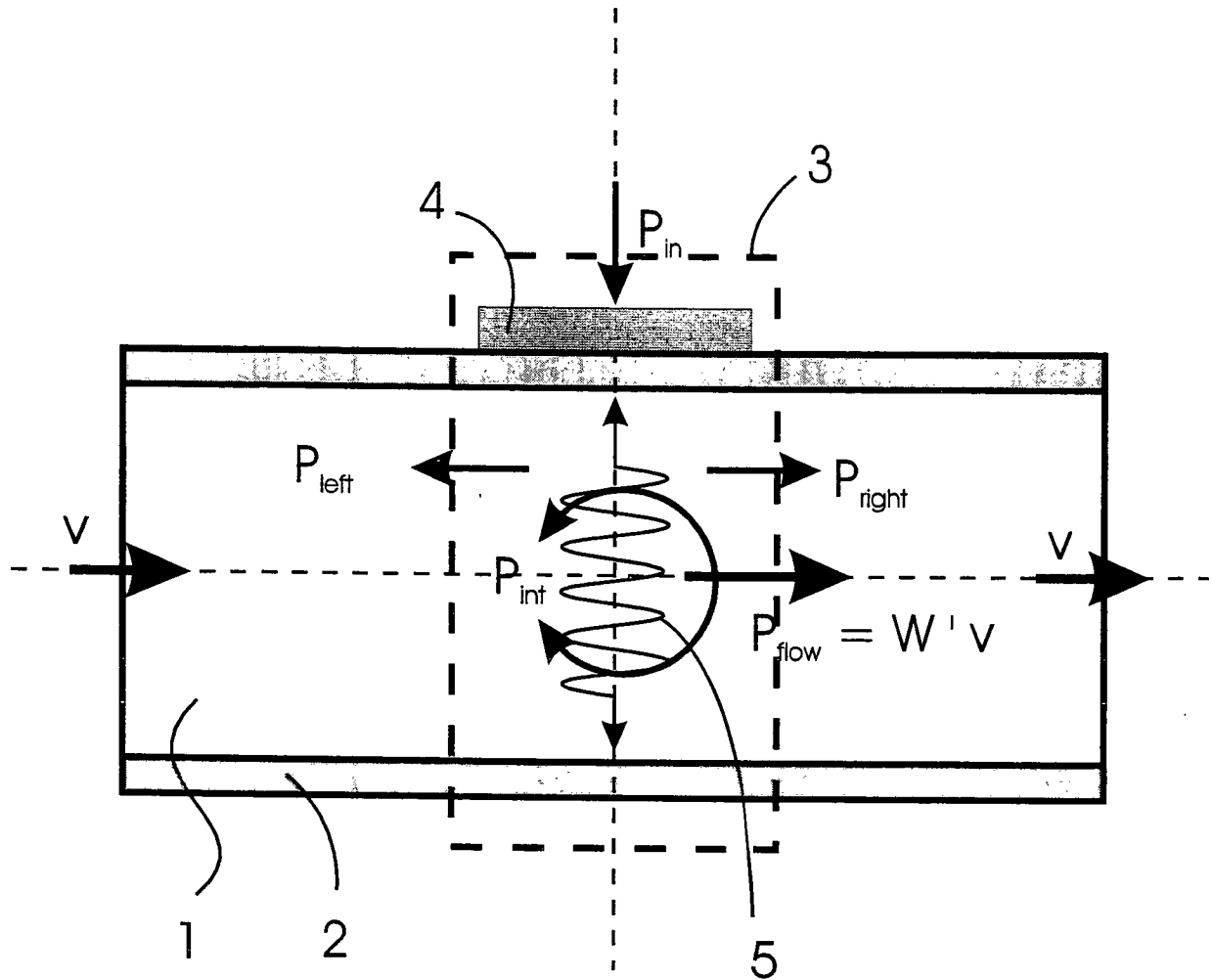


FIG. 1