



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 04 630 T2** 2005.08.11

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 208 358 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G01F 1/84**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 04 630.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP01/06188**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 949 370.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/092833**

(86) PCT-Anmeldetag: **31.05.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **06.12.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.08.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.08.2005**

(30) Unionspriorität:

**PR000038 01.06.2000 IT**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**Krohne AG, Basel, CH**

(72) Erfinder:

**AMABILI, Marco, I-63039 S. Benedetto del Tronto,  
IT; GARZIERA, Rinaldo, I-22070 Appiano Gentile,  
IT**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr & Eggert,  
45128 Essen**

(54) Bezeichnung: **CORIOLISMASSENDURCHFLUSSMESSER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Massenströmungsmessinstrument, welches nach dem Coriolis-Prinzip funktioniert, mit einem Messrohr, durch welches ein Medium strömt, mindestens einem Erreger, welcher dem Messrohr zugeordnet ist und es erregt, und mindestens einem Sensor, welcher dem Messrohr zugeordnet ist, zum Aufnehmen der Coriolis-Kräfte und/oder der durch die Coriolis-Kraft hervorgerufenen Schwingungen, wobei das Messrohr eine Länge von der gleichen Größenordnung aufweist, wie der Radius des Messrohrs. Ein derartiges Massenströmungsmessinstrument ist aus der Schrift W0-A-95 33891 bekannt.

**[0002]** Im Allgemeinen basieren die herkömmlichen Coriolis-Strömungsmessinstrumente auf Schwingungen eines Messrohrs der Länge  $L$ , welche viel größer als der Radius  $R$  ist ( $L = 20$  bis  $100 R$ ); dieses Messrohr weist ein eindimensionales Dynamikverhalten auf, wie ein Strahl oder eine Saite. Tatsächlich umfasst der Schwingungsmodus, welcher für die Messung verwendet wird, eine Bewegung der Achse des Messrohrs selbst. Derartige Coriolis-Strömungsmessinstrumente gemäß dem Stand der Technik zeigen einen beträchtlichen Druckabfall, wobei der Druckabfall proportional zur Länge des Messrohrs ist. Coriolis-Strömungsmessinstrumente mit kürzeren Messrohren weisen jedoch den Nachteil einer erhöhten Steifigkeit und folglich eine höhere Eigenfrequenz auf, welche die Erregung des Messrohrs erschwert und den Messvorgang selber weniger empfindlich macht.

**[0003]** Dementsprechend ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Massenströmungsmessinstrument mit hoher Empfindlichkeit und niedrigem Druckabfall bereitzustellen.

**[0004]** Das Massenströmungsmessinstrument gemäß der Erfindung, mit welchem die oben stehende Aufgabe erzielt wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wanddicke des Messrohrs mindestens einen Faktor 50 kleiner ist als der Radius des Messrohrs. Ein derartiges Massenströmungsmessinstrument gemäß der Erfindung wird im Folgenden auch entweder als ein Schwingungsmantel-Strömungsmessinstrument oder als ein Dünnmantel-Strömungsmessinstrument bezeichnet.

**[0005]** Das Schwingungsmantel-Strömungsmessinstrument verwendet Schwingungsmodi mit mehr als einer Umfangswelle. Diese Modusformen werden durch eine Figur mit Nocken in einem Querschnitt des Mantels beschrieben. Die Mantelschwingung wird im Allgemeinen mit einem oder mehreren Erregern bereitgestellt, und die Schwingung wird durch Sensoren gemessen, welche an verschiedenen axialen Orten platziert sind. Die Phasedifferenz oder die

Zeitverschiebung zwischen (oder unter) den Signalen, welche von den Sensoren kommen, sind proportional zur Massenströmungsrate. Die Schwingungsfrequenz des Mantels steht in eindeutiger Beziehung zur Dichte der Strömung und erlaubt gleichzeitig eine unabhängige Messung der Massenströmungsrate und der Dichte der Strömung.

**[0006]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Wanddicke des Messrohrs vorzugsweise gleich oder kleiner als  $0,5$  mm und ganz besonders bevorzugt gleich oder kleiner als  $0,25$  mm. Weiterhin ist das Verhältnis der Länge des Messrohrs relativ zum Radius des Messrohrs vorzugsweise gleich oder kleiner als 6 und ganz besonders bevorzugt gleich oder kleiner als 4.

**[0007]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird mindestens eine kompakte Masse auf dem dünnen Mantel bereitgestellt. Sensor(en) oder/und Erreger, welche am dünnen Mantel befestigt sind, können als derartige kompakte Massen verwendet werden. Um jedoch beste Ergebnisse zu erzielen, ist es bevorzugt, separate kompakte Massen zu verwenden, deren Massen genau zu den Anforderungen passen.

**[0008]** Das Schwingungsmantel-Strömungsmessinstrument mit einer oder mehreren zugefügten Massen verwendet auch Schwingungsmodi mit mehr als einer Umfangswelle. Diese sind jedoch deutlich durch die zugefügten kompakten Massen modifiziert, welche günstig auf dem Mantel platziert sind. Diese Modusformen werden durch eine Figur mit Nocken in einem Querschnitt des Mantels beschrieben und stellen größere Verlagerungen an den Orten der kompakten Massen dar. Wo die kompakten Massen, welche zum Mantel zugefügt werden, von dem (den) Sensor(en) oder/und dem (den) Erreger(n) gebildet werden, erlauben sie die Frequenztrennung der Schwingungsmodi des Mantels, um zu gewährleisten, dass die Mantelschwingung ausschließlich die erwartete Form aufweist, und um eine deutliche Steigerung der Empfindlichkeit des Messinstruments zu erlauben.

**[0009]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist (sind) der(die) Erreger auf dem(den) Schwingungsbauch(bäuchen) des dünnen Schwingungsmantels positioniert und arbeitet radial ein- und auswärts. Vorzugsweise werden mindestens zwei Erreger verwendet, wobei die Erreger an der gleichen axialen Länge des Mantels jedoch durch einen vordefinierten Winkel voneinander beabstandet am dünnen Mantel befestigt sind. Es ist insbesondere bevorzugt, dass der Winkel  $90^\circ$  beträgt und die Erreger in Phase betrieben werden, oder dass der Winkel  $45^\circ$  beträgt und die Erreger in Gegenphase betrieben werden.

[0010] Es kann weiterhin bei manchen Anwendungen zweckmäßig sein, ein Innenrohr innerhalb des Messrohrs einzufügen, um einen ringförmigen Strom zu erzeugen. Vorzugsweise wird das Innenrohr in der Mitte im Messrohr bereitgestellt. Mit der Verwendung eines Innenrohrs wird erreicht, dass der wirksame Querschnitt des Messrohrs vermindert wird, was wiederum die Geschwindigkeit des Strömungsmediums erhöht. Da die Empfindlichkeit des Messinstruments proportional zur Geschwindigkeit des Strömungsmediums ist, wird weiterhin die Empfindlichkeit erhöht.

[0011] Es gibt zahlreiche Wege, auf welchen das Massenströmungsmessinstrument gemäß der Erfindung konfiguriert und weiter verbessert werden kann. In diesem Zusammenhang wird auf die abhängigen Ansprüche und auf die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung in Verbindung mit den Zeichnungen verwiesen, bei welchen:

[0012] [Fig. 1](#) eine schematische Seitenansicht eines Massenströmungsmessinstruments gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist,

[0013] [Fig. 2](#) eine Querschnittsdarstellung des Schwingungsmantels ist,

[0014] [Fig. 3](#) ein Schaubild ist, welches die Beziehung zwischen dem Amplitudengang und der Frequenz für den Mantel bzw. für die kompakten Massen zeigt,

[0015] [Fig. 4](#) eine Querschnittsdarstellung eines dünnen Mantels mit einer zugefügten kompakten Masse ist,

[0016] [Fig. 5a](#) eine Querschnittsdarstellung eines dünnen Mantels mit zwei Erregern ist, welche einen Winkel von 90° relativ zueinander aufweisen,

[0017] [Fig. 5b](#) eine Querschnittsdarstellung eines dünnen Mantels mit zwei Erregern ist, welche einen Winkel von 45° relativ zueinander aufweisen,

[0018] [Fig. 6a](#) ein Längsschnitt eines Massenströmungsmessinstruments mit einem Innenrohr ist, welches in das Messrohr eingefügt ist, und

[0019] [Fig. 6b](#) eine Querschnittsdarstellung des Massenströmungsmessinstruments der [Fig. 6a](#) ist.

[0020] In [Fig. 1](#) wird ein Massenströmungsmessinstrument gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Das Massenströmungsmessinstrument umfasst ein Messrohr 1, einen Erreger 2 und zwei Sensoren 3, welche am Messrohr 1 befestigt sind. Das Messrohr 1 ist als ein dünner Mantel entworfen, welcher am Hauptrohr 4 angeschweißt ist. Bei manchen Anwendungen können konische Rohr-

verbindungen verwendet werden, um den Schwingungsmantel am Hauptrohr 4 anzuschließen. Der dünne Mantel des in [Fig. 1](#) gezeigten Messinstruments ist aus Titan gefertigt und weist einen Durchmesser von 25,4 mm, eine Wanddicke von 0,25 mm und eine Länge von 90 mm auf. Folglich liegt die Länge des dünnen Mantels in der gleichen Größenordnung wie sein Durchmesser, und das Verhältnis der Länge des dünnen Mantels relativ zu seinem Durchmesser ist kleiner als 4.

[0021] Das in [Fig. 1](#) gezeigte Schwingungsmantel-Strömungsmessinstrument verwendet Schwingungsmodi des Mantels mit mehr als einer Umfangswelle; diese Modusformen werden durch eine Figur mit Ausbuchtungen in einem Querschnitt des Mantels beschrieben, wie in [Fig. 2](#) gezeigt. Modi mit mehr als einer Umfangswelle stellen keine Bewegung der Mantelachse dar. Diese Schwingungsmodi sind die niedrigsten Frequenzmodi für einen Mantel, welcher nicht zu lang ist, und können verwendet werden, um kürzere Messinstrumente im Vergleich zu herkömmlichen Coriolis-Strömungsmessinstrumenten anzufertigen. Die Tatsache, dass der Schwingungsmantel eine Länge von der gleichen Größenordnung wie der Mantelradius aufweist, erlaubt die Anwendung auf Messrohre 1 mit großem Durchmesser, wobei das Problem sehr langer (und teurer) Coriolis-Strömungsmessinstrumente auf der Grundlage der Messrohrschwingung vermieden wird. Unter Beibehaltung des gleichen Radius gilt, je kürzer die Länge des Mantels ist, desto größer ist die Anzahl von Umfangswellen, welche dem Grundmodus (welcher der Modus mit der niedrigsten Eigenfrequenz ist) des Mantels zugeordnet sind. Die Empfindlichkeit des Messinstruments, d.h. die Phasendifferenz zwischen Signalen, welche durch zwei Schwingungssensoren 3 gemessen werden, welche an verschiedenen axialen Orten platziert sind, erhöht sich mit der Anzahl von Umfangswellen.

[0022] Das in [Fig. 1](#) gezeigte Messinstrument ist aus einem radialsymmetrischen, zylindrischen Mantel zusammengesetzt, welcher mit dem Messrohr 1 verbunden ist, welches die Strömung enthält, welche gemessen werden soll. Es muss angemerkt werden, dass der radialsymmetrische, zylindrische Mantel durch Mäntel ohne radialsymmetrischen Querschnitt oder mit einer ungeraden Achse ersetzt werden kann, ohne das grundlegende mechanische Verhalten des Messinstruments zu verändern.

[0023] Der Mantel kann durch einen oder mehrere Erreger 2 in Schwingungen versetzt werden, auch wenn bei manchen Messinstrumenten durch die Strömung hervorgerufene Schwingungen des Mantels aufgrund der Strömung selbst verwendet werden könnten. Es scheint, dass es möglich ist, ein besseres Verhalten des Mantelströmungsmessinstruments zu erhalten, wenn die Schwingung des Grundmodus

(welcher der Modus mit der niedrigsten Eigenfrequenz ist) des Mantels zum Schwingen gebracht wird. Es können jedoch verschiedene Modi mit höherer Frequenz zum Schwingen gebracht werden, indem die Erregungsfrequenz verändert wird, ohne das grundlegende mechanische Verhalten des Messinstruments zu verändern.

**[0024]** Es scheint zweckmäßig, dass die Messung der Mantelschwingung durch zwei Sensoren **3** vorgenommen wird, welche auf der gleichen Erzeugungslinie (parallel zur axialen Strömung) des Mantels, wo einer der Erreger **2** (oder der einzelne Erreger **2**) platziert ist, an zwei verschiedenen axialen Orten platziert werden, welche ausreichend voneinander entfernt sind. Eine mögliche Konfiguration wird in [Fig. 1](#) gezeigt, wo die Sensoren **3** im gleichen Abstand von der Mitte des Mantels platziert sind. Es muss klargestellt werden, dass eine unterschiedliche Anzahl von Sensoren **3** zum Messen der Mantelschwingung verwendet werden kann, ohne die allgemeine Arbeitsweise des Messinstruments zu verändern; ähnliche Ergebnisse werden mit verschiedenen Positionen der Sensoren **3** erhalten; all diese Lösungen müssen als Varianten des gleichen Messinstruments betrachtet werden. Die Sensoren **3** können Beschleunigungsaufnehmer, kapazitive Annäherungssensoren, optische Sensoren (z.B. Laserinterferometer oder Triangulationsfernmessgeräte) oder jeder andere Sensortyp sein, welcher in der Lage ist, die lokale Mantelverlagerung, -Geschwindigkeit oder Beschleunigung zu messen.

**[0025]** Das Schwingungsmantel-Strömungsmessinstrument gemäß der Erfindung basiert auf der Tatsache, dass Schwingungsmodusformen eines radial-symmetrischen, zylindrischen Mantels (oder eines Mantels mit einer verschiedenen Gestalt, wie zuvor erläutert) durch eine interne (oder externe) Strömung modifiziert werden. Für einen axialsymmetrischen Mantel ohne zugefügte Massen weist der Grundmodus eine symmetrische Form hinsichtlich eines Mittelquerschnitts des Mantels auf, und er ist ein Eigenmodus, das bedeutet, dass alle Punkte der Manteloberfläche eine Schwingung in Phase aufweisen. Die Gegenwart einer axialen Strömung verändert die Form des Grundmodus, welcher die Symmetrie hinsichtlich der Mitte des Mantels verliert und den Schwingungen der Punkte mit verschiedener axialer Position auf dem Mantel eine Phasendifferenz verleiht. Diese Phasendifferenz unter Punkten mit verschiedener axialer Position ergibt einen komplexen Modus und ist für gyroskopische Systeme kennzeichnend. Die Phasendifferenz oder die Zeitverschiebung, welche nötig ist, eine bestimmte Konfiguration (beispielsweise die maximale Schwingungsamplitude) an einer festen axialen Position zu erreichen, kann zum Messen der Massenströmungsrate verwendet werden. Sowohl die Phasendifferenz als auch die Zeitverschiebung erhöhen sich praktisch linear mit der Strö-

mungsgeschwindigkeit, wenn die Messung der Strömungsgeschwindigkeiten weit genug von der kritischen Geschwindigkeit des Mantels entfernt vorgenommen wird.

**[0026]** Die Phasendifferenz wird zwischen (oder unter) den Signalen berechnet, welche von den Sensoren **3** kommen, welche die Mantelschwingung messen. Die Zeitverschiebung wird zwischen (oder unter) den Signalen berechnet, welche von den Sensoren **3** kommen, beispielsweise unter Verwendung einer Kreuzkorrelation zwischen den Signalen. Die Messung der Zeitverschiebung ist linear mit der Massenströmungsrate und ist unabhängig von der Flüssigkeitsdichte; sie ist deshalb geeignet, die Massenströmungsrate unmittelbar zu messen.

**[0027]** Die Messung der Dichte der Flüssigkeit kann unter Verwendung des Schwingungsmantels vorgenommen werden. Tatsächlich sind die Eigenfrequenzen des Mantels Funktionen der Dichte der ruhenden Flüssigkeit; die Flüssigkeitgeschwindigkeit im Anwendungsbereich des vorliegenden Strömungsmessinstruments, verändert diese Frequenz praktisch nicht. Deshalb ist die Messung unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit. Es wird eine lineare Beziehung zwischen der Dichte und dem Kehrwert der quadratischen Frequenz des erregten Modus erhalten. Deshalb wird mit dem gleichen Schwingungsmantel eine unabhängige Messung der Massenströmungsrate und der Dichte erhalten.

**[0028]** Die richtige Arbeitsweise des Schwingungsmantel-Messinstruments wird erhalten, wenn die Schwingungsform des Mantels genau bekannt ist. Die Erreger können nützlich sein, um die Schwingung mit der erwarteten Modusform zu erhalten. Die Erreger **2** (oder der einzelne Erreger **2**) können frequenzgesteuert sein, um die Schwingung des erwarteten Modus für jede Dichte der strömenden Flüssigkeit hervorzurufen; tatsächlich ergeben verschiedene Dichten verschiedene Eigenfrequenzen des Mantels, wie zuvor besprochen.

**[0029]** Um zu vermeiden, dass verschiedene Modi, und nicht nur der eine erwartete, an der Mantelschwingung teilnehmen, ist es wichtig, eine ausreichende Frequenztrennung zwischen dem erwarteten Modus und den Modi mit in der Nähe liegender Eigenfrequenz zu haben. Eine gute Frequenztrennung zwischen dem Grundmodus und den folgenden Modi wird durch einen guten Entwurf des Mantels erhalten. Diese Arbeitsweise wird durch Zufügen entsprechender kompakter Massen **5** zum Mantel deutlich verbessert, wie aus [Fig. 4](#) ersichtlich ist. In [Fig. 4](#) wird eine separat zugefügte kompakte Masse **5** gezeigt. Diese kompakten Massen **5** können jedoch auch durch die Sensoren **3** und die Erreger **2** verursacht werden, wenn Kontaktsensoren **3** und -Erreger **2** am Schwingungsmantel angewendet werden.

**[0030]** Vorteilhafte Positionen dieser kompakten Massen **5** liegen auf Schwingungsbäuchen des Treibermodus, in dem Fall auf der gleichen Erzeugungslinie des Mantels, wo die Sensoren **3** platziert sind. Die Wirkung einer zugefügten Masse **5** ist die, dass sich die Eigenfrequenzen des Mantels zu kleineren Werten hinbewegen; diese Verminderung der Eigenfrequenz ist für den Grundmodus viel größer als im Vergleich zu den nachfolgenden Modi; Diese Erscheinung kann auch aus [Fig. 3](#) ersehen werden, wo Amplitudengänge (Schwingungsamplitude/Kraft) des Mantels (s) und einer kompakten Masse (m) gezeigt werden. Die Schnittpunkte zwischen den Amplitudengängen des Mantels und der kompakten Masse **5** ergeben die Eigenfrequenzen des Mantels mit der zugefügten kompakten Masse **5**; die ursprünglichen Eigenfrequenzen des Mantels sind die vertikalen Asymptoten im Amplitudengang des Mantels.

**[0031]** Ein anderer Vorteil, welcher durch kompakte Massen **5** verursacht wird, welche zum Schwingungsmantel zugefügt werden, ist die Möglichkeit eine Erhöhung der Empfindlichkeit des Messinstruments zu erhalten. Beispielsweise können zugefügte Massen auf der gleichen Erzeugungslinie (eines radialsymmetrischen, zylindrischen Mantels) der Sensoren **3**, welche die Mantelschwingung messen, eine deutliche Erhöhung der Phasendifferenz (d.h. der Empfindlichkeit) ergeben. Auch die axiale Position der kompakten Massen **5** ist wichtig. Beispielsweise können kompakte Massen **5**, welche entsprechend der Punkte platziert werden, wo die Mantelschwingung gemessen wird, die Empfindlichkeit des Messinstruments deutlich erhöhen.

**[0032]** Wie oben stehend schon bemerkt, wird in [Fig. 4](#) eine Querschnittsdarstellung eines dünnen Mantels mit einer kompakten Masse **5** gezeigt. Es kann ersehen werden, dass die Schwingungsmechanik eines Mantels mit zugefügten Massen **5** sehr verschieden im Vergleich zu derjenigen des Mantels ohne zugefügte Massen ist (man vergleiche [Fig. 2](#) und [Fig. 4](#)). Tatsächlich sind die Modusformen des Mantels durch eine Verbindung mit kompakten Massen **5** deutlich modifiziert, so dass sie im Vergleich mit Modusformen des Mantels ohne Massen verschieden werden. Überdies geht die Symmetrie verloren, wenn nur eine oder eine ungerade Anzahl von kompakten Massen verwendet wird.

**[0033]** [Fig. 5a](#) und [Fig. b](#) zeigen Querschnittsdarstellungen eines dünnen Mantels mit zwei Erregern **2**, welche am Mantel an der gleichen axialen Länge, aber mit einem vordefinierten Winkel relativ zueinander befestigt sind. In beiden Fällen sind die Erreger **2** auf Schwingungsbäuchen des Treibermodus befestigt. Gemäß der in [Fig. 5a](#) gezeigten Ausführungsform sind die Erreger **2** mit einem Winkel von 90° relativ zueinander am dünnen Mantel befestigt, und gemäß der in [Fig. 5b](#) gezeigten Ausführungsform sind

die Erreger **2** mit einem Winkel von 45° relativ zueinander am dünnen Mantel befestigt. Folglich werden die Erreger **2** gemäß der ersten Anordnung in Phase betrieben, während die Erreger **2** gemäß der zweiten Anordnung in Gegenphase betrieben werden.

**[0034]** Aus [Fig. 6a](#) und [Fig. b](#) kann ein Massenströmungsmessinstrument gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in einer Längs- bzw. in einer Querschnittsdarstellung ersehen werden, welches ein Innenrohr **6** umfasst, welches in das Messrohr **1** eingefügt ist. Folglich ist der wirksame Querschnitt für das strömende Medium (durch Pfeile links bezeichnet) vermindert, wobei die Empfindlichkeit des Messinstruments, wie oben stehend weiter erklärt, erhöht wird.

**[0035]** Die Messinstrumente mit Schwingungsmantel, Aufgabe der vorliegenden Erfindung, können auch in eine ringförmige oder unbegrenzte Strömung eingefügt werden und sind nicht nur geeignet, eine interne Strömung aufzunehmen. Das Verhalten des Messinstruments ist im Wesentlichen unverändert. Bei Anwendungen, bei welchen das Messinstrument in die Strömung eintaucht, werden die Sensoren und die Erreger an der gegenüberliegenden Seite der Mantelhaut hinsichtlich der Oberfläche im Kontakt mit der Strömung platziert.

### Patentansprüche

1. Massenströmungsmessinstrument, welches nach dem Coriolis-Prinzip funktioniert, mit einem Messrohr (**1**), durch welches ein Medium strömt, mindestens einem Erreger (**2**), welcher dem Messrohr (**1**) zugeordnet ist und es erregt, und mindestens einem Sensor (**3**), welcher dem Messrohr (**1**) zugeordnet ist, zum Aufnehmen der Coriolis-Kräfte und/oder der durch die Coriolis-Kraft hervorgerufenen Schwingungen, wobei das Messrohr (**1**) eine Länge von der gleichen Größenordnung aufweist, wie der Radius des Messrohrs (**1**), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wanddicke des Messrohrs (**1**) mindestens um einen Faktor 50 kleiner ist als der Radius des Messrohrs (**1**).

2. Massenströmungsmessinstrument nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wanddicke des Messrohrs (**1**) gleich oder kleiner als 0,5 mm und vorzugsweise gleich oder kleiner als 0,25 mm ist

3. Massenströmungsmessinstrument nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Länge des Messrohrs (**1**) relativ zum Radius des Messrohrs gleich oder kleiner als 6 und vorzugsweise gleich oder kleiner als 4 ist.

4. Massenströmungsmessinstrument nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine zugefügte kompakte Masse

(5) auf dem Messrohr (1) platziert ist.

5. Massenströmungsmessinstrument nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die kompakte Masse (5) auf einem Schwingungsbauch des Treibermodus bereitgestellt ist.

6. Massenströmungsmessinstrument nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Erreger (2) verwendet werden, wobei die Erreger (2) an der gleichen axialen Länge, aber durch einen vordefinierten Winkel voneinander beabstandet am Messrohr (1) befestigt sind.

7. Massenströmungsmessinstrument nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel  $90^\circ$  beträgt und die Erreger (2) in Phase betrieben werden.

8. Massenströmungsmessinstrument nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel  $45^\circ$  beträgt und die Erreger (2) in Gegenphase betrieben werden.

9. Massenströmungsmessinstrument nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein Innenrohr (6) innerhalb des Messrohrs (1) bereitgestellt wird, um eine ringförmige Strömung hervorzurufen.

10. Massenströmungsmessinstrument nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Innenrohr (6) in der Mitte im Messrohr (1) bereitgestellt wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

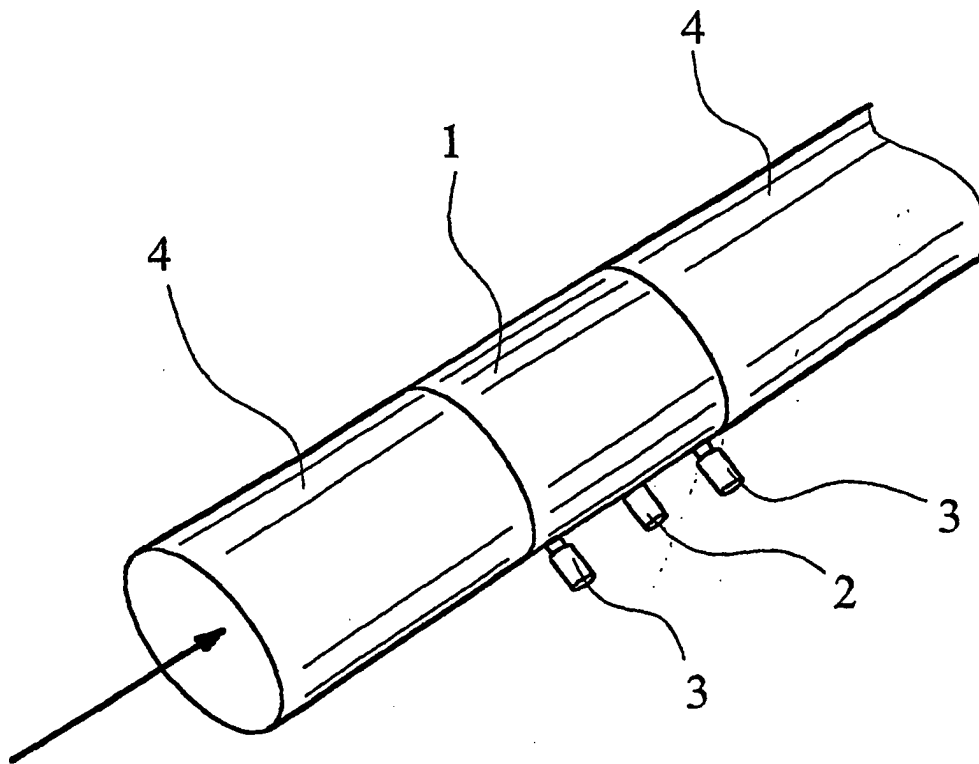


Fig. 1

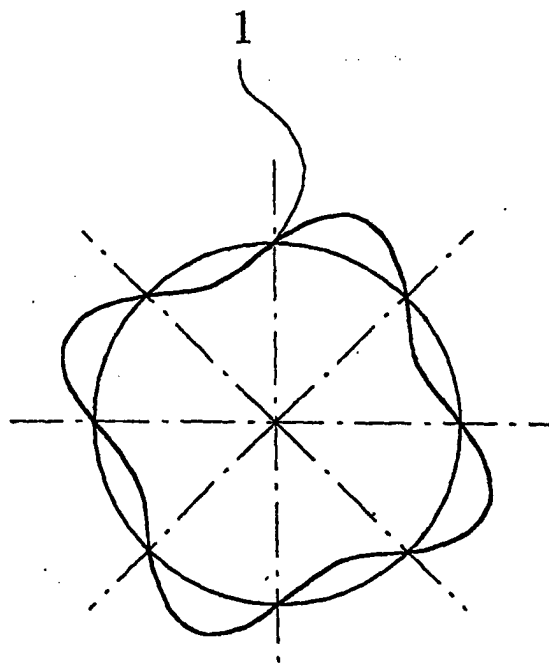


Fig. 2

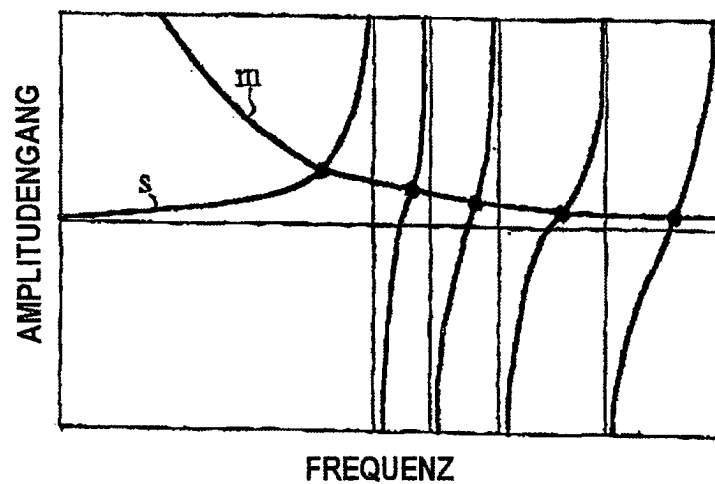


Fig. 3

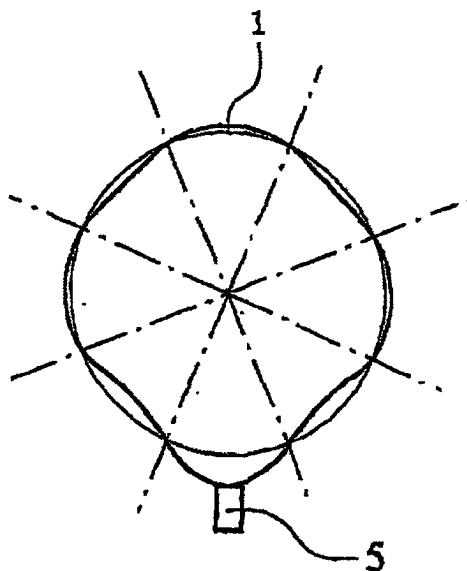


Fig. 4



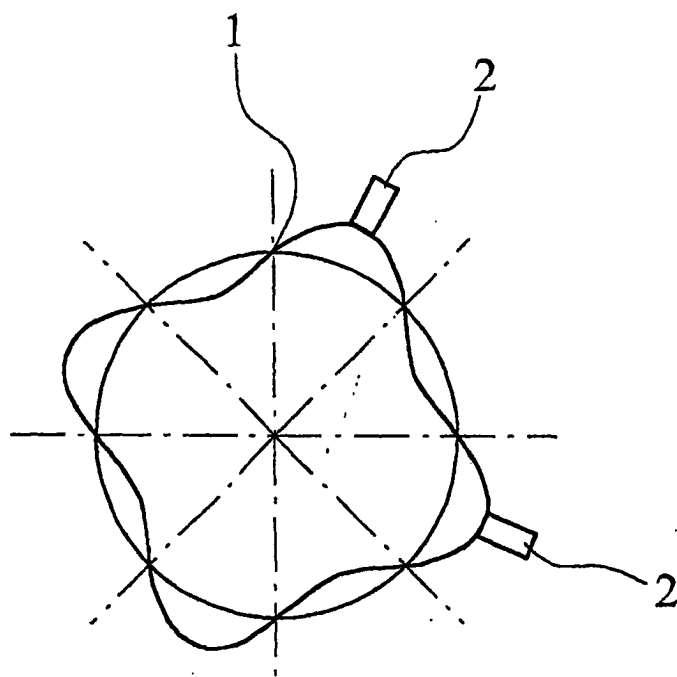


Fig. 5a

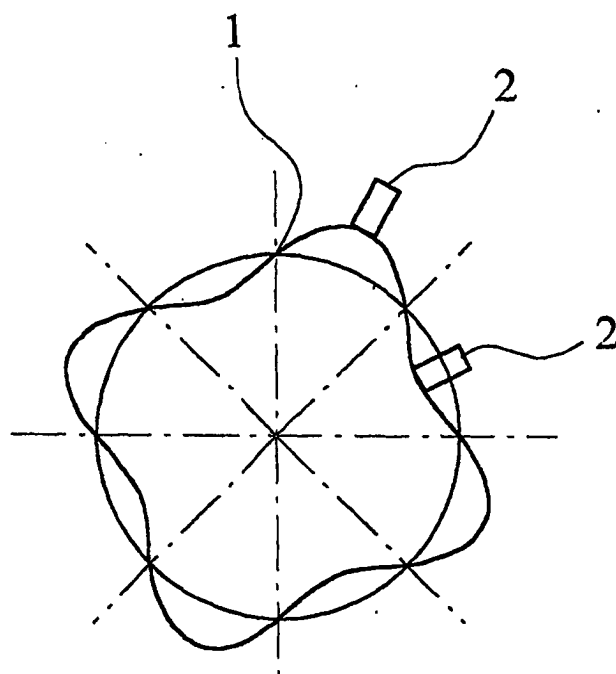


Fig. 5b

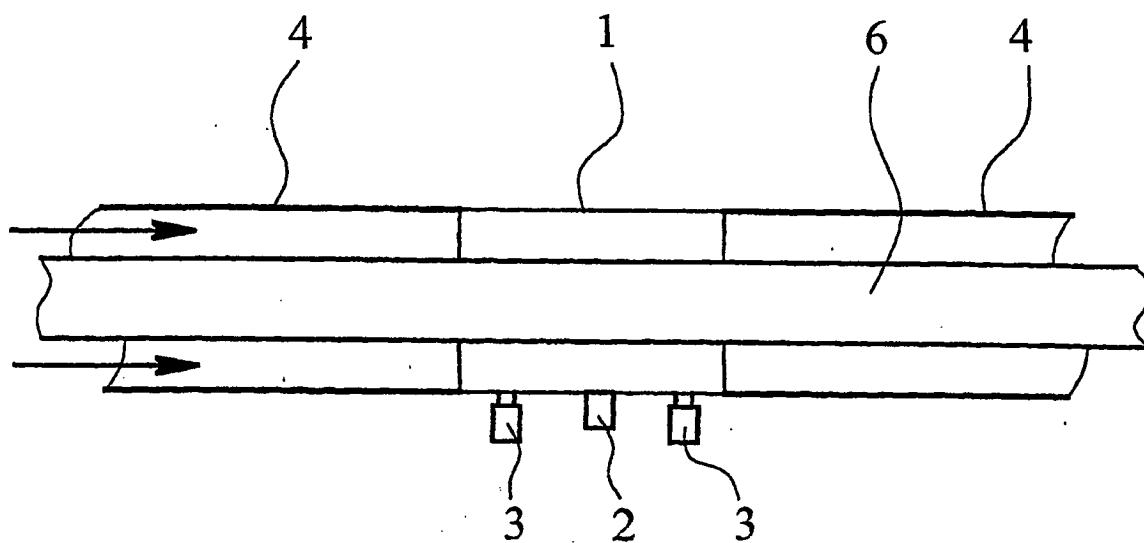


Fig. 6a

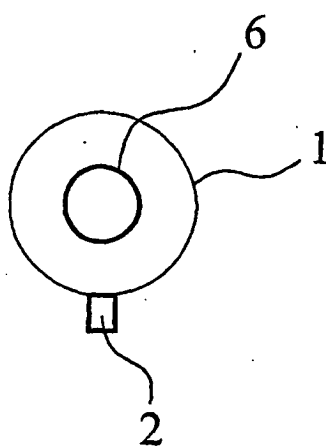


Fig. 6b