



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 21 003 B4** 2008.05.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 21 003.2**
(22) Anmeldetag: **09.05.2003**
(43) Offenlegungstag: **30.12.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G01F 1/32** (2006.01)
G01P 5/01 (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:
**ABB AG, 68309 Mannheim, DE; Universität
Freiburg, 79104 Freiburg, DE**

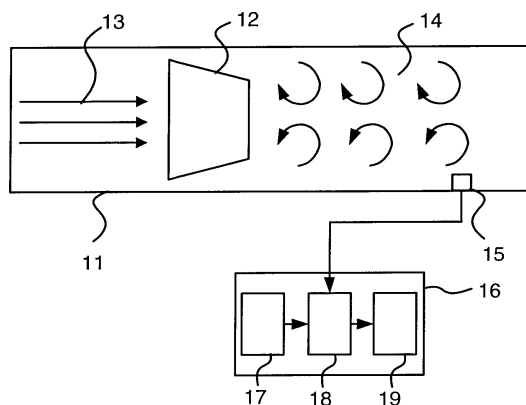
(74) Vertreter:
Schmidt, K., Dipl.-Phys., Pat.-Ass., 47447 Moers

(72) Erfinder:
**Buhl, Frank, Dipl.-Ing., 37085 Göttingen, DE;
Riegler, Peter, Dr., 37077 Göttingen, DE; Rossberg,
Axel, Dr., 79108 Freiburg, DE; Timmer, Jens,
Dr.rer.nat., 79098 Freiburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 39 16 056 A1
DE 36 08 406 A1
DE 694 11 793 T2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Messung von Durchflüssen, sowie Durchflussmesser**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betrieb einer Durchflussmessenrichtung im Wirbelzählverfahren, bei welchem ein Messsignal $S(t)$ sensorisch aufgenommen wird, welches einer Auswerteeinheit (16) zugeführt wird, die eine Speichervorrichtung (17) zur Speicherung einer Abbildung wenigstens einer vorbestimmbaren vom Messsignal $S(t)$ abhängigen Messgröße (DLM) auf die Reynoldszahl (Re) und eine Vergleichseinheit (18) aufweist, wobei die Vergleichseinheit (18) die Werte der Messgrößen (DLM) aus der Speichervorrichtung (17) mit aus dem aufgenommenen Messsignal $S(t)$ abgeleiteten aktuellen Wert der der Messgrößen (DLM) vergleicht und aus dem Vergleichsergebnis und der gespeicherten Abbildung die Reynoldszahl (Re) bestimmt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung von Durchflüssen sowie einen Durchflussmesser, insbesondere Wirbelzähler, bei dem ein Sensor zur Aufnahme eines Messsignals angeordnet ist, welches einer Auswerteeinheit zuführbar ist, gemäß Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 14.

[0002] Die Erfindung geht von Durchflussmessern und entsprechendem Betriebsverfahren aus, die als Wirbelzähler ausgebildet sind und insbesondere auf dem sogenannten Vortex Prinzip basieren. Derartige Durchflussmesser werden zur Bestimmung von Volumenfluss bzw. Flussgeschwindigkeit benutzt.

[0003] Aus der DE 694 11 793 T2 ist ein Wirbel-durchflussmesser mit zweiflügeligem Strouhalnummernkorrektor bekannt, bei welcher dies durch eine komplizierte mehrstufige Strömungskörperanordnung erfolgt. Dies ist kompliziert und aufwändig im Aufbau.

[0004] Aus der DE 36 08 406 A1 ist des weiteren ein Messverfahren bekannt mit einem eine nichtlineare Kennlinie aufweisenden Messwertaufnehmer. Dabei erfolgt eine Korrektur mit einem immer gleichen Kenngröße.

[0005] Aus der DE 39 16 056 A1 ist ein Messverfahren bekannt, bei welchem keinerlei Korrekturfunktionen eingesetzt werden.

[0006] Im Folgenden wird das Messprinzip derartiger Durchflussmesser beschrieben. Bei Durchflussmessern, die auf dem Wirbelzählprinzip beruhen, wird ein Körper von einem flüssigen oder gasförmigen Medium umströmt. An den Kanten des Körpers reißt die Strömung ab und dahinter bilden sich wechselweise und gegensinnig rotierende Wirbel, die von der Strömung mitgenommen werden. Es bildet sich eine Wirbelstraße aus. Dieser Effekt ist seit langem als „Kármánsche Wirbelstraße“ bekannt. Die Frequenz der Wirbelablösung ist ungefähr proportional zur Strömungsgeschwindigkeit. Zu den Wirbelzählern gehören sowohl Vortexzähler, bei denen beispielsweise ein trapezförmiger Wirbelkörper zur Erzeugung der Wirbel verwendet wird, als auch Swirlmeter, bei denen ein Eintrittskörper verwendet wird, der den einströmenden Messstoff zur Rotation zwingt. Die dabei auftretende Rotation setzt sich schraubenförmig fort, wobei die Frequenz der Rotation ungefähr proportional zum Durchsatz ist. Beide Arten gewährleisten sowohl bei flüssigen als auch gas- und dampfförmigen Medien eine präzise Wirbelablösung mit hoher Reproduzierbarkeit. Die sich beim Vortexzähler am Wirbelkörper wechselseitig ablösenden Wirbel erzeugen lokale Geschwindigkeits- und Druckänderungen, welche von einem Sensor, zum Beispiel mit piezoelektrischem Abgriff, erfasst

werden. In der nachgeschalteten Auswerteeinheit wird das Sensor-Signal $S(t)$ in Zählpulse umgewandelt. Beim Swirlmeter detektiert ein Sensor die lokalen Druckänderungen. Das Sensor-Signal $S(t)$ wird ebenfalls in Zählpulse umgewandelt

[0007] Die Oszillationsfrequenz des Sensor-Signals $S(t)$ der Wirbelzähler-Durchflussmesser ist in einem großen Reynoldszahlenbereich nahezu linear in Bezug auf die Durchfluss-Messgröße Q . Bei einer Änderung der Größen, die die Reynoldszahl definieren (Dichte, dynamische Viskosität, Geschwindigkeit), kann dieser Linearitätsbereich jedoch verlassen werden. Selbst innerhalb des "Linearitätsbereiches" treten kleine Messungenauigkeiten auf, weil die Linearität nur näherungsweise, aber nicht exakt gilt. Außerhalb des Linearitätsbereiches werden die Messungenauigkeiten besonders groß. Die resultierenden Messfehler können nur durch eine Kenntnis der aktuell vorherrschenden Reynoldszahl korrigiert werden, die in der Regel jedoch unbekannt ist, sodass die auftretenden Messungenauigkeiten nicht korrigiert werden können.

[0008] Dieser Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren sowie einer Einrichtung der gattungsgemäßen Art die Reynoldszahl der Strömung zu bestimmen, und dadurch solche Messungen auch außerhalb des Linearitätsbereiches der Durchfluss-Messgröße zu vermeiden beziehungsweise automatisch zu korrigieren.

[0009] Diese Aufgabe wird im Hinblick auf ein Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst.

[0010] Dazu ist insbesondere vorgesehen, dass das vom Sensor aufgenommene Messsignal $S(t)$ einer Auswerteeinheit zugeführt wird, die eine Speichervorrichtung zur Speicherung wenigstens einer vorbestimmbaren vom Messsignal abhängigen Messgröße (DLM) und eine Vergleichseinheit aufweist, wobei die Vergleichseinheit die vorbestimmten Messgrößen aus der Speichervorrichtung mit Messgrößen (DLM) vergleicht, die aus dem aufgenommenen Messsignal $S(t)$ ableitbar sind und aus dem Vergleichsergebnis die Reynoldszahl (Re) bestimmbar ist. Dies hat den Vorteil, dass nun auch außerhalb des Linearitätsbereiches eine exakte Messung ermöglicht wird und auch innerhalb des Linearitätsbereiches die Messgenauigkeit erhöht wird.

[0011] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen 2 bis 13 angegeben.

[0012] Es ist besonders bevorzugt vorgesehen, dass aus der ermittelten Reynoldszahl (Re) weitere für ein den Durchflussmesser durchströmendes Medium charakteristische Kennzahlen ermittelbar sind.

Aus der nun für alle Bereiche der Durchflussmessgröße bekannten Reynolds-Zahlen lassen sich den Anwender interessierende Werte berechnen und anzeigen. Insbesondere lässt sich aus der ermittelten Reynolds-Zahl die Strouhal-Zahl (St) ermitteln, die Grundlage für die Berechnung weiterer charakteristischer Kennzahlen für das durchströmende Medium ist. So lässt sich in einer bevorzugten Ausgestaltung aus der Strouhal-Zahl St der Durchfluss Q und/oder eine Fließgeschwindigkeit ableiten und anzeigen. Weiter kann anhand dieser Größen die kinematische Viskosität ν berechnet werden, aus der sich dann bei bekanntem Medium die Temperatur ableiten lässt.

[0013] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird eine vorherbestimmte Messgröße (DLM1) aus dem Verhältnis der Amplitude einer Harmonischen der Oszillation des Messsignals $S(t)$ zur Amplitude der Oszillation bei einer Grundfrequenz gebildet. Diese Messgröße wird beispielsweise durch eine Labormessung für verschiedene Re -Zahlen aufgenommen und in der Speichervorrichtung abgespeichert. Durch Verwendung von weiteren Messgrößen, DLM1a, die beispielsweise aus der Differenz der Phase der k -ten Harmonischen und der k -fachen Phase der Oszillation bei der Grundfrequenz gebildet ist ($k > 1$), DLM2, die beispielsweise aus dem Verhältnis der Fluktuation der Oszillationsamplitude zur mittleren Oszillationsamplitude des Messsignal $S(t)$ gebildet ist und DLM3, die beispielsweise aus der relativen Fluktuationsbreite der Oszillationsfrequenz gebildet ist, die beispielsweise aus dem Fourierspektrum oder der relativen Fluktuation der Dauer von einer oder mehreren Schwingungsperioden bestimmbar ist, lässt sich die Genauigkeit der Bestimmung der Reynolds-Zahl erhöhen. Diese vorherbestimmten n Messgrößen werden in einem entsprechenden n -dimensionalen Koordinatensystem aufgetragen, so dass dann die entstehenden H Punkte für verschiedene Reynolds-Zahlen auf einer eindimensionalen, durch die Reynolds-Zahl parametrisierten, Mannigfaltigkeit liegen. Jeder Punkt auf dieser Mannigfaltigkeit ist also eindeutig durch eine bestimmte Reynoldszahl definiert. Die Reynolds-Zahlen, die die Punkte auf dieser Mannigfaltigkeit charakterisieren, sind entlang der Mannigfaltigkeit sogar monoton angeordnet. Diese Abbildung der Reynolds-Zahl auf die Messgrößen (DLMn) wird in der Speichervorrichtung abgespeichert. Aus dem vom Sensor im Durchflussmesser gelieferten Messsignal $S(t)$ lassen sich diese Messgrößen berechnen. In der Auswerteeinheit werden dann die gespeicherten mit den aktuell berechneten Messgrößen verglichen und somit die aktuelle Reynolds-Zahl ermittelt.

[0014] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird außer der Reynolds-Zahl (Re) auch eine Kompressibilitätskonstante C berechnet, da Korrekturen zur Messgröße Q ebenfalls von einer die Kom-

pressibilität kennzeichnenden Größe C abhängig sind. Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Messung eines Durchflusses bei Wirbelzählerdurchflussmessern gelöst, bei dem ein Sensor ein Messsignal $S(t)$ abgibt und einer Auswerteeinheit zuführt und bei dem vom Messsignal $S(t)$ abhängige und von diesem abgeleitete Messwerte (DLM) mit einer in einem Speicher abgelegten charakteristische Kurve der Messwerte (DLM) verglichen werden und daraus die Reynoldszahl (Re) bestimmt wird.

[0015] Im Hinblick auf einen Durchflussmesser ist die gestellte Aufgabe erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruches 14 gelöst.

[0016] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den übrigen abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0017] Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert. Es zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) Prinzipaufbau eines Wirbelzählerdurchflussmessers, der auf dem Vortex-Prinzip basiert; und

[0019] [Fig. 2](#) funktionelle Abhängigkeit der Strouhal-Zahl St von der Reynoldszahl Re

[0020] [Fig. 1](#) zeigt einen Wirbelzählerdurchflussmesser, der als Vortex-Zähler ausgebildet ist. Ein strömendes Medium **13** durchströmt das Messrohr **11** und trifft auf den Störkörper **12**. Daraufhin bilden sich hinter dem Störkörper **12** Wirbel aus, die als Wirbelstrasse **14** bezeichnet werden. Ein piezoelektrischer Sensor **15** misst die periodischen piezoelektrischer Sensor **15** misst die periodischen Druckschwankungen, die durch die Wirbelablösung entstehen und erzeugt somit ein Messsignal $S(t)$, das an eine Auswerteeinheit **16** weitergeleitet wird.

[0021] Diese Auswerteeinheit umfasst eine Speichereinheit **17**, eine Vergleichseinheit **18** und eine Anzeigeeinheit **19**. Aus dem ausgelesenen aktuellen Messsignal $S(t)$ werden abgeleitete Messgrößen entsprechend einer funktionellen Abhängigkeit berechnet und mit den gespeicherten Messgrößen verglichen, um daraus die vorherrschende Reynoldszahl zu ermitteln. Anhand der ermittelten Reynoldszahl werden in der Auswerteeinheit **16** weitere Kenngrößen für das strömende Medium berechnet und mittels der Anzeigevorrichtung **19** angezeigt.

[0022] Zum besseren Verständnis werden im Folgenden die physikalischen Grundlagen der Vortex-Durchflussmessungen zusammengefasst: Die Frequenz f des Messsignals $S(t)$ hängt von der Durchflussgeschwindigkeit v des Fluides gemäß

$$f = St \, v/d \quad (1)$$

ab. Dabei bezeichnet d den Durchmesser des Strömungshindernisses und St die Strouhal-Zahl. Ihre Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re ist in [Fig. 2](#) dargestellt. Es ist ein deutlicher Linearitätsbereich bei mittleren Reynoldszahlen zu erkennen. Der oben beschriebene Linearitätsbereich ist dadurch charakterisiert, dass dort die Strouhal-Zahl St nahezu unabhängig von der Reynoldszahl Re ist, die sich aus

$$Re = d \, v/\nu$$

ergibt, wobei ν die kinematische Viskosität des Fluides ist.

[0023] Nur in diesem linearen Bereich gilt der lineare Zusammenhang zwischen gemessener Signalfrequenz und herrschendem Durchfluss.

[0024] Um den Durchfluss außerhalb des Linearitätsbereiches bestimmen zu können, muss man die funktionale Abhängigkeit der Strouhal-Zahl von der Reynoldszahl und die aktuell vorherrschende Reynoldszahl Re , zumindest aber die sie bestimmenden Größen d und ν kennen. Letzteres ist im Allgemeinen nicht der Fall, entweder weil die kinematische Viskosität nicht bekannt ist oder weil sie sich durch andere Prozessgrößen wie Druck und Temperatur ändert.

[0025] Bekannte Verfahren verlangen vom Anwender die Angabe der vorliegenden kinematischen Viskosität, bzw. der dynamischen Viskosität und der Dichte, um außerhalb des Linearitätsbereichs zuverlässige Durchflussmesswerte zu liefern. Aus den geschilderten Gründen ist es jedoch unwahrscheinlich, dass der Anwender den Wert von ν zu jedem Zeitpunkt kennt.

[0026] An dieser Stelle setzt die Erfindung an. Die Erfindung geht davon aus, dass die Fluidodynamik inkompressibler Medien durch die sogenannte Navier-Stokes-Gleichung beschrieben wird. D.h. die Vorgänge in einem Vortex-Durchflussmesser lassen sich mit dieser Gleichung beschreiben. Die Navier-Stokes-Gleichung hat folgende Skalierungseigenschaft:

Es beschreibe das Geschwindigkeitsfeld $v(r,t) = v_0(r,t)$ eine Lösung der Navier-Stokes-Gleichung bei kinematischer Viskosität $\nu = \nu_0$ und gegebener Rohr-Geometrie. Dann beschreibt $v(r,t) = v_1(r,t) = s \cdot v_0(r,s \, t)$ eine Lösung der Navier-Stokes-Gleichung bei kinematischer Viskosität $\nu = \nu_1 = s \cdot \nu_0$ und derselben Rohr-Geometrie. Dabei gehören beide Lösungen zur selben Reynoldszahl Re .

[0027] F ist eine Messgröße, die das Geschwindigkeitsfeld und dessen Dynamik charakterisiert. F hat

für $v_0(r,t)$ bei kinematischer Viskosität ν_0 denselben Wert wie $v_1(r,t)$ bei ν_1 , wann immer $v_0(r,t)$ und $v_1(r,t)$ in der oben dargestellten Beziehung zueinander stehen. Die Strömung des Messsystems weist keine Hystereseeffekte auf, was bei Vortex-Durchflussmessern in der Regel nicht vorkommt. So ist die Messgröße F oder für turbulente Strömungen der Erwartungswert (im Sinne von zeitlicher Mittelwert) von F , bei gegebener Rohr-Geometrie allein eine Funktion von der Reynoldszahl Re , $F = f(Re)$

[0028] Im Fall einer Hysterese ist diese Funktion $f(Re)$ mehrwertig, was aber keine wesentliche Einschränkung für die Ausführung darstellt, da ohnehin nur die Umkehrfunktion $Re = g(F)$ interessiert.

[0029] Geeignete Messgrößen F lassen sich in der Praxis am einfachsten finden, indem man aus dem durch das Geschwindigkeitsfeld gegebenen dimensionsbehafteten Messsignal $S(t)$ oder mehreren Messsignalen dimensionslose Charakterisierungen ableitet, die eine deutliche Abhängigkeit von der Reynoldszahl zeigen.

[0030] Im Folgenden werden deshalb Messgrößen, die die oben beschriebene Invarianz unter der Skalierung $v_1(r,t) = s \cdot v_0(r,s \, t)$ für Geschwindigkeitsfelder im Arbeitsbereich des Messsystems mit hinreichender Genauigkeit zeigen, der Einfachheit halber als dimensionslose Messgrößen (DLM) bezeichnet.

[0031] Eine Messgröße wird dimensionslos, indem man sie in Einheiten einer charakteristischen Größe gleicher Dimension misst. Beispielsweise wird die Fluktuation einer Geschwindigkeit (Dimension Länge/Zeit) dimensionslos, wenn man sie auf die mittlere Geschwindigkeit bezieht.

[0032] Das Sensorsignal in Vortex-Durchflussmessern zeigt, bedingt durch die periodische Wirbelablösung, eine deutliche Periodizität.

[0033] Deshalb sind geeignete DLM zum Beispiel:

- das Verhältnis der Amplituden von Harmonischen der Oszillation des Messsignals zur Amplitude der Grundfrequenz.
- die Differenz aus der Phase der k -ten Harmonischen (wobei $k > 1$) und dem k -fachen der Phase der Oszillation bei der Grundfrequenz.
- das Verhältnis der Fluktuation der Oszillationsamplitude zur mittleren Oszillationsamplitude des Messsignals.
- die relative Fluktuationsbreite der Oszillationsfrequenz. Diese lässt sich z.B. aus der Linienbreite im Fourierspektrum oder der relativen Fluktuation der Dauer von einer oder mehreren Schwingungsperioden (Jitter) bestimmen.
- der Korrelationskoeffizient zwischen momentaner Frequenz und momentaner Amplitude der Oszillation.

[0034] Für die Berechenbarkeit der DLMS ist es günstig, wenn die Übertragungskurve der Messelektronik im Messbereich linear ist.

[0035] Eine weitere einfache Möglichkeit zur Ermittlung einer DLM besteht darin, dass man durch Multiplikation, Division, Ableitung, Integration, und andere Rechenoperationen aus der Zeitreihe des Messsignals $S(t)$ eine Maßzahl bildet, wobei man beachten muss, dass in der Formel für die Maßzahl keine dimensionsbehafteten Konstanten vorkommen, und keine Größen mit unterschiedlicher Dimension addiert werden. Dann wird diese Maßzahl dimensionslos, indem man sie durch geeignete Potenzen der mittleren Signalamplitude und der mittleren Frequenz dividiert.

[0036] Zur Bestimmung der Re-Zahl, jedoch auch zur Erhöhung der Genauigkeit der Re-Zahl Messung bestimmt man vorzugsweise mehrere, z.B. n viele, DLMS. Trägt man diese n Zahlen in einem entsprechenden n -dimensionalen Koordinatensystem auf, dann liegen die entstehenden Punkte für verschiedene Re-Zahlen auf einer eindimensionalen Mannigfaltigkeit. Unter Mannigfaltigkeit wird hier ein im Allgemeinen nichtlinearer Unterraum (z.B. eine Kurve, eine Fläche, ein Volumen oder höherdimensionale Objekte) in dem von den DLMS aufgespannten Raum bezeichnet.

[0037] Jeder Punkt auf dieser Mannigfaltigkeit ist also eindeutig durch eine bestimmte Reynoldszahl Re definiert.

[0038] Zur Bestimmung der Re-Zahl bestimmt man einmal die Lage dieser Mannigfaltigkeit und ihre Parametrisierung durch die Re-Zahl (z.B. durch Labor-messung) und legt diese in der Speichervorrichtung **17** ab. Im Betrieb werden aus den aktuellen Messsignalen $S(t)$ die dimensionslosen Messgrößen (DLM) errechnet und in der Vergleichseinheit **18** daraus der vorliegende Punkt auf der Mannigfaltigkeit identifiziert. Der Punkt ist umkehrbar eindeutig durch die vorherrschende Re-Zahl charakterisiert. Damit ist die Re-Zahl bestimmt und zwar ohne Kenntnis der dynamischen Viskosität oder anderer die Reynoldszahl bestimmenden Größen. Liegt der durch die dimensionslose Messgrößen festgelegte Punkt nicht auf oder nicht hinreichend nahe bei der Mannigfaltigkeit, kann auf ein fehlerhaftes Betreiben des Vortex-Durchflussmessers geschlossen werden.

[0039] Die in der Re-Zahl eindeutige Mannigfaltigkeit existiert nur in einem Raum, in dem dimensionslose Messgrößen aufgetragen sind. Sie existiert jedoch in jedem Raum mit dieser Eigenschaft.

[0040] Bei einer ungünstigen Wahl der dimensionslosen Messgrößen (DLMS) kann es jedoch passieren, dass die Auflösung der Abbildung $DLMS \rightarrow Re$

nicht ausreichend ist. Je mehr DLMS zur Bestimmung der Re-Zahl jedoch herangezogen werden, desto genauer wird die Bestimmung der Re-Zahl sein.

[0041] Für die geeignete Auswahl und Anzahl der dimensionslosen Messgrößen gilt:

- die Abbildung $Re \rightarrow$ (Vektor der Messgrößen) muss invertierbar sein.
- durch geeignete Wahl einer höheren Anzahl von Messgrößen lässt sich die Genauigkeit des Verfahrens verbessern.

[0042] Nachdem die Re-Zahl in der Auswerteeinheit **16** bestimmt worden ist, kann die Strouhal-Zahl St bei bekannter und hinterlegter $St(Re)$ -Kurve aus [Fig. 2](#) bestimmt werden. Aus der gemessenen Signalfrequenz f wird dann mittels Gl. (1) die Fluidgeschwindigkeit und daraus der Durchfluss berechnet.

[0043] In einer alternativen Ausgestaltung wird diese Berechnung nicht nach Gleichung (1) vorgenommen, sondern über eine äquivalente Gleichung

$$Q = f/K$$

wobei Q den Durchfluss darstellt und der K -Faktor in bekannter Weise von der Reynoldszahl abhängt.

[0044] In der Auswerteeinheit werden die aktuellen Werte der DLMS aus dem aktuellen Messsignal $S(t)$ berechnet, daraus wird die Reynoldszahl aus der abgelegten Abbildung $DLMS \rightarrow Re$ bestimmt, wodurch sich dann die Strouhal-Zahl aus der abgelegten Abbildung $Re \rightarrow St$ ([Fig. 2](#)) und aus der Frequenz des Messsignals $S(t)$ und der Strouhal-Zahl der Durchfluss bestimmen lässt.

[0045] Die geeignete Wahl der DLM hängt dabei im Wesentlichen von den numerischen Eigenschaften der Umkehrung der Abbildung $Re \rightarrow DLMS$ ab. Es ist prinzipiell denkbar, dass es numerisch weniger geeignete DLMS gibt, so dass die daraus bestimmte Re-Zahl besonders unsicher wird. Dieser Unsicherheit wird dadurch entgegengetreten, dass einerseits die oben aufgeführten gut geeigneten DLMS zur Bestimmung der Reynoldszahl verwendet werden, andererseits wird durch eine größere Anzahl von DLMS, die in der Speichervorrichtung **17** gespeichert sind, die Genauigkeit der Bestimmung der Reynoldszahl erhöht.

[0046] In einer weiteren Ausführungsform können die Punkte auf der Mannigfaltigkeit statt mit der Re-Zahl direkt mit der Strouhal-Zahl St oder dem K -Faktor oder jeder anderen umkehrbar eindeutige Funktion der Reynoldszahl verknüpft werden. Dadurch entfällt die Umrechnung von Re in St bzw. K .

[0047] Über die Anzeigeeinheit **19** kann die Reynoldszahl an Nutzer übermittelt werden. Dies kann

auch drahtlos oder auf Basis des Feldbusses zu einem entfernten Display vorgenommen werden.

[0048] Aus der Kenntnis der Reynoldszahl und des Durchflusses kann darüber hinaus die kinematische Viskosität bestimmt werden und daraus entweder die Dichte bei bekannter dynamischer Viskosität oder die dynamische Viskosität bei bekannter Dichte oder auch die Temperatur bei bekanntem Medium, da Dichte, Viskosität und Temperatur miteinander verknüpft sind.

[0049] In der bisherigen Beschreibung des Verfahrens wurde von inkompressiblen Fluiden ausgegangen. Das Verfahren kann man jedoch mit unwesentlichen Modifikationen auch für kompressible Fluide durchführen. Bei kompressiblen Medien muss die Navier-Stokes-Gleichung um einen Term ergänzt werden. Schreibt man diese Gleichung in dimensionsloser Form, dann wird sie neben der Reynoldszahl noch von einer weiteren charakteristischen Zahl C abhängen, die ein Maß für die dimensionslose Kompressibilität des Fluides ist. Die dimensionslosen Messgrößen werden dann auf einer zweidimensionalen Mannigfaltigkeit liegen, die durch Re und C eindeutig parametrisiert wird. Die eindimensionale Untermannigfaltigkeit für $C = 0$ entspricht dabei gerade der für inkompressible Fluide, für das oben beschriebene erste Ausführungsbeispiel.

[0050] Das Verfahren zur Bestimmung der Re -Zahl läuft dann wie folgt ab: Voraussetzungen: Im Speicher **17** sind die Abbildungen der DLMs $\rightarrow (Re, C)$ abgelegt. Außerdem ist in der Auswerteeinheit **16** die Abbildung $St(Re, C)$ verfügbar.

Ablauf des Verfahrens:

1. Berechnung der aktuellen Werte der DLMs aus dem aktuellen Messsignal $S(t)$
2. Bestimmung von Reynoldszahl und C aus der abgelegten Abbildung DLMs $\rightarrow (Re, C)$
3. Bestimmung der Strouhal-Zahl St aus der abgelegten Abbildung $(Re, C) \rightarrow St$
4. Bestimmung des Durchflusses aus der Frequenz des Messsignals $S(t)$ und der Strouhal-Zahl

[0051] In einer alternativen Ausgestaltung kann der Sensor **15**, der das Messsignal $S(t)$ liefert, auch mehrere Messsignale $S_1(t)$ und $S_2(t)$ liefern. Außerdem können in der Wirbelstraße **14** auch mehrere Sensoren **15** angeordnet sein, die Messsignale $S_n(t)$ erzeugen, die der Auswerteeinheit **16** zugeführt werden.

Bezugszeichenliste

11	Messrohr
12	Störkörper
13	Strömendes Medium
14	karmansche Wirbelstrasse
15	Piezosensor
16	Auswerteeinheit
17	Speichervorrichtung
18	Vergleichseinheit
19	Anzeigeeinheit
DLM	dimensionslose Messgröße
St	Strouhal-Zahl
S(t)	aktuelles Messsignal
Re	Reynoldszahl
nu	kinematische Viskosität
v	Durchflusgeschwindigkeit
d	Durchmesser des Störkörpers
Q	Durchfluss
K	K-Faktor
C	Kompressibilitätskonstante
f	Frequenz des Messsignals $S(t)$

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Durchflussmess-einrichtung im Wirbelzählverfahren, bei welchem ein Messsignal $S(t)$ sensorisch aufgenommen wird, welches einer Auswerteeinheit (**16**) zugeführt wird, die eine Speichervorrichtung (**17**) zur Speicherung einer Abbildung wenigstens einer vorbestimmbaren vom Messsignal $S(t)$ abhängigen Messgröße (DLM) auf die Reynoldszahl (Re) und eine Vergleichseinheit (**18**) aufweist, wobei die Vergleichseinheit (**18**) die Werte der Messgrößen (DLM) aus der Speichervorrichtung (**17**) mit aus dem aufgenommenen Messsignal $S(t)$ abgeleiteten aktuellen Wert der der Messgrößen (DLM) vergleicht und aus dem Vergleichsergebnis und der gespeicherten Abbildung die Reynoldszahl (Re) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strouhal-Zahl (St) aus der Reynoldszahl (Re) ermittelt wird und daraus ein Durchfluss Q und/oder eine Fließgeschwindigkeit abgeleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus Reynoldszahl (Re) und Durchfluss (Q) eine kinematische Viskosität (ν) bestimmt wird und aus der kinematischen Viskosität (ν) die Dichte des Mediums und daraus die Temperatur bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messgröße (DLM1) aus dem Verhältnis der Amplituden einer oder mehrerer Harmonischen der Oszillation des Messsignals $S(t)$ zur Amplitude der Oszillation bei einer Grundfrequenz gebildet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messgröße (DLM1a) aus der Differenz der Phase der n-ten Harmonischen für ganzzahliges $n > 1$ und dem n-fachen der Phase der Oszillation bei einer Grundfrequenz gebildet ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Messgröße (DLM2) aus dem Verhältnis der Fluktuation der Oszillationsamplitude zur mittleren Oszillationsamplitude des Messsignals $S(t)$ gebildet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Messgröße (DLM3) aus der relativen Fluktuationsbreite der Oszillationsfrequenz gebildet ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße (DLM3) aus dem Fourierspektrum oder der relativen Fluktuation der Dauer von einer oder mehreren Schwingungsperioden bestimmt ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße (DLM4) als Korrelationskoeffizient zwischen momentaner Frequenz und momentaner Amplitude der Oszillation bestimmt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch Speicherung einer entsprechenden Abbildung und Auswertung der Messsignale außer der Reynolds-Zahl (Re) auch eine Kompressibilitätskonstante C bestimmt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Anzeigenvorrichtung zur Anzeige der ermittelten Werte und Messsignale angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Kommunikationsvorrichtung zur Übermittlung und Weitergabe der ermittelten Werte und Messsignale angeordnet ist.

13. Wirbelzähler-Durchflussmesser, bei dem ein Sensor (15) zur Aufnahme eines Messsignals $S(t)$ angeordnet ist, welches einer Auswerteeinheit (16) zuführbar ist, die eine Speichervorrichtung (17) zur Speicherung einer Abbildung wenigstens einer vorbestimmbaren vom Messsignal $S(t)$ abhängigen Messgröße (DLM) auf die Reynoldszahl (Re) und eine Vergleichseinheit (18) aufweist, wobei die Vergleichseinheit (18) die Werte der Messgrößen (DLM) aus der Speichervorrichtung (17) mit aus dem aufgenommenen Messsignal $S(t)$ abgeleiteten aktuellen Werten der Messgrößen (DLM) vergleicht und aus dem Vergleichsergebnis und der gespeicherten Abbildung die Reynoldszahl (Re) bestimmbar ist.

14. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Auswerteeinheit (16) die Strouhal-Zahl (St) aus der Reynolds-Zahl (Re) ermittelbar ist und daraus ein Durchfluss Q und/oder eine Fließgeschwindigkeit ableitbar ist.

15. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Auswerteeinheit (16) aus Reynoldszahl (Re) und Durchfluss (Q) eine kinematische Viskosität (ν) bestimmbar ist und aus der kinematischen Viskosität (ν) die Dichte des Mediums und daraus die Temperatur bestimmbar ist.

16. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messgröße (DLM1) aus dem Verhältnis der Amplituden einer oder mehrerer Harmonischen der Oszillation des Messsignals $S(t)$ zur Amplitude der Oszillation bei einer Grundfrequenz gebildet ist.

17. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messgröße (DLM1a), aus der Differenz der Phase der n-ten Harmonischen für ganzzahliges $n > 1$ und dem n-fachen der Phase der Oszillation bei einer Grundfrequenz gebildet ist.

18. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Messgröße (DLM2) aus dem Verhältnis der Fluktuation der Oszillationsamplitude zur mittleren Oszillationsamplitude des Messsignals $S(t)$ gebildet ist.

19. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Messgröße (DLM3) aus der relativen Fluktuationsbreite der Oszillationsfrequenz gebildet ist.

20. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße (DLM3) aus dem Fourierspektrum oder der relativen Fluktuation der Dauer von einer oder mehreren Schwingungsperioden bestimmt ist.

21. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße (DLM4) als Korrelationskoeffizient zwischen momentaner Frequenz und momentaner Amplitude der Oszillation bestimmt wird.

22. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass durch Speicherung einer entsprechenden Abbildung in der Auswerteeinheit (16) außer der Reynolds-Zahl (Re) auch eine Kompressibilitätskonstante C ableitbar ist.

23. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 22, bei dem

eine Anzeigenvorrichtung zur Anzeige der ermittelten Werte und Messsignale angeordnet ist.

24. Wirbelzähler-Durchflussmesser nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 23, bei dem eine Kommunikationsvorrichtung zur Übermittlung und Weitergabe der ermittelten Werte und Messsignale angeordnet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

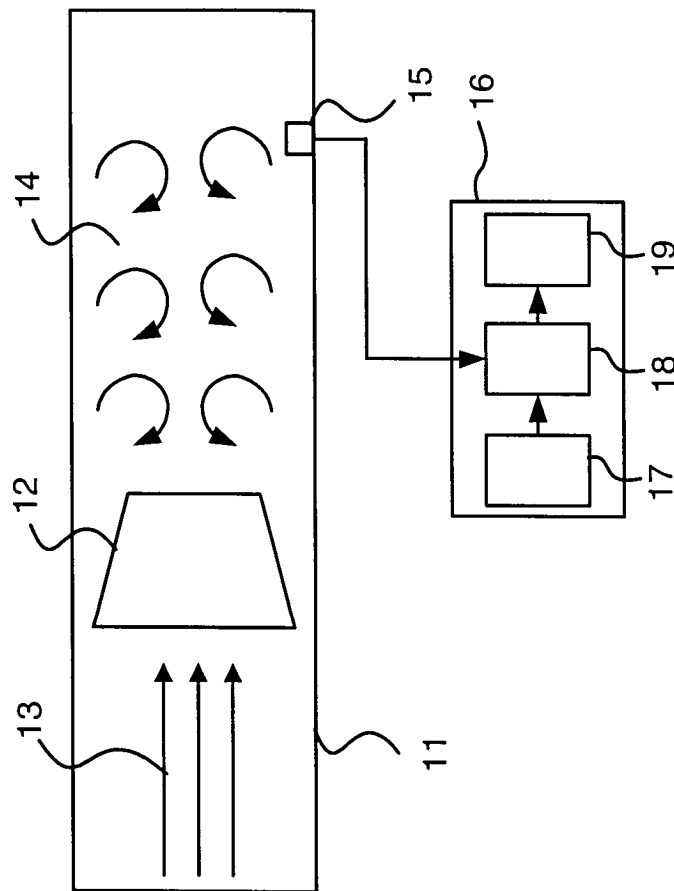


FIG. 1

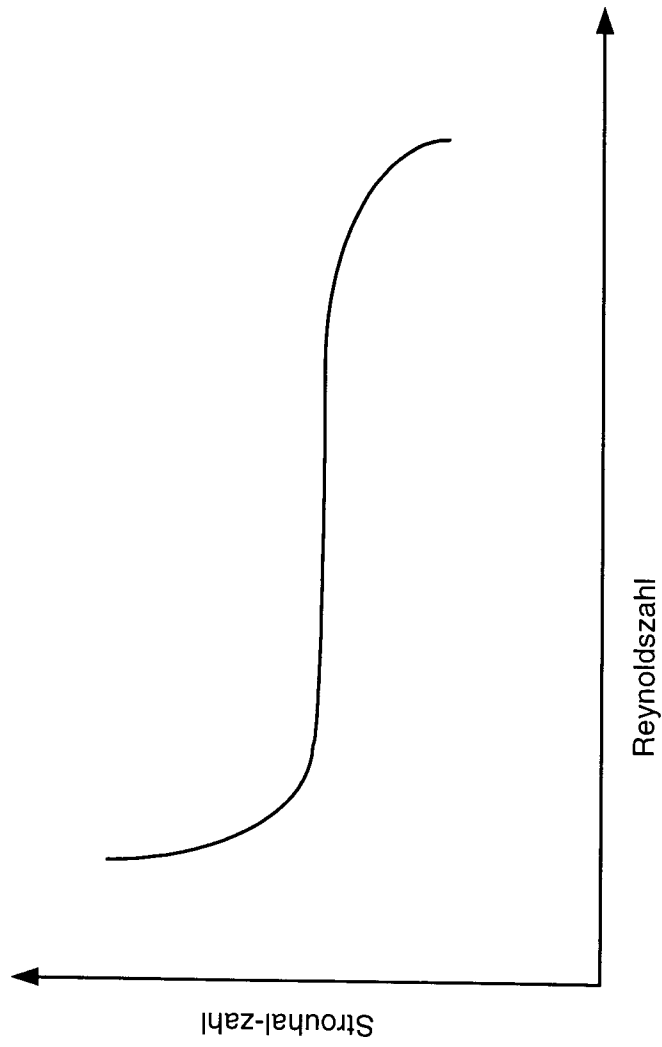


FIG. 2