

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Dezember 2020 (30.12.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/259940 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01F 1/84 (2006.01) G01F 15/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/064591

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2020 (26.05.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 117 101.6
25. Juni 2019 (25.06.2019) DE

(71) Anmelder: **ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG**
[CH/CH]; Kägenstr. 7, 4153 Reinach (CH).

(72) Erfinder: **ZHU, Hao**; Auenstr. 235, 85354 Freising (DE).
RIEDER, Alfred; Buchenstraße 9, 84032 Landshut (DE).

ANKLIN, Martin Josef; Saffretweg 3 b, 4143 Dornach (CH). **HUBER, Reinhard**; Gehrenweg 3, 79713 Bad Säckingen (DE). **LIN, Yaoying**; Auenstraße 227, 85356 Freising (DE).

(74) **Anwalt: ANDRES, Angelika**; Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, Colmarer Str. 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) **Title:** METHOD FOR ASCERTAINING A PHYSICAL PARAMETER OF A CHARGED LIQUID

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM ERMITTELN EINES PHYSIKALISCHEN PARAMETERS EINER BELADENEN FLÜSSIGKEIT

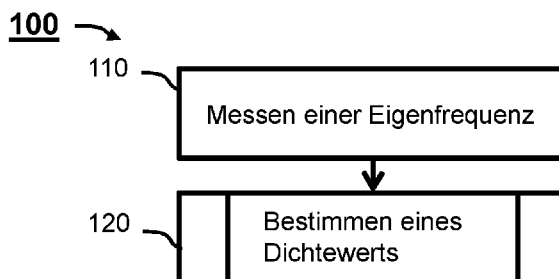


Fig. 2a

110 Measuring a natural frequency

120 Determining a density value

(57) **Abstract:** The method (100) according to the invention allows the measurement of a physical parameter of a liquid by means of a sensor having at least one measuring tube for conducting the liquid, wherein the measuring tube can be excited to vibrate in at least one flexural vibration mode, the method comprising the following steps: determining at least one current value of a vibration parameter of the flexural vibration mode (110); determining a measurement value of the physical parameter (120) according to the current value of the vibration parameter, wherein the measurement value is compensated in respect of the resonator effect according to a current value for the natural frequency of the flexural vibration mode and according to the sound velocity of the liquid conducted in the measuring tube, wherein the value for the sound velocity is provided independently of the vibrations of the measuring tube.

(57) **Zusammenfassung:** Das erfindungsgemäße Verfahren (100) dient zum Ermitteln eines Messwerts eines physikalischen Parameters einer Flüssigkeit mittels eines Messaufnehmers mit mindestens einem Messrohr zum Führen der Flüssigkeit, wobei das Messrohr zum Schwingen in mindestens einer Biegeschwingungsmode anregbar ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Ermitteln mindestens eines aktuellen Werts eines Schwingungsparameters der Biegeschwingungsmode (110); Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters (120), in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters, wobei der Messwert bezüglich

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

des Resonatoreffekts kompensiert ist in Abhängigkeit von einem aktuellen Wert für die Eigenfrequenz der Biegeschwingungsmode und von der Schallgeschwindigkeit der in dem Messrohr geführten Flüssigkeit, wobei der Wert für die Schallgeschwindigkeit unabhängig von den Schwingungen des Messrohrs bereitgestellt wird.

Verfahren zum Ermitteln eines physikalischen Parameters einer beladenen Flüssigkeit

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines physikalischen Parameters einer Flüssigkeit mittels eines Messaufnehmers mit
5 mindestens einem Messrohr zum Führen Flüssigkeit, wobei das Messrohr einen einlassseitigen Endabschnitt und einen auslassseitigen Endabschnitt aufweist, wobei der Messaufnehmer mindestens eine einlassseitige Fixiervorrichtung und eine auslassseitige Fixiervorrichtung aufweist, mit denen das Messrohr jeweils in einen der Endabschnitte fixiert ist, wobei das Messrohr zwischen den beiden Fixiervorrichtungen zu
10 Schwingungen anregbar ist, wobei aus dem Schwingungsverhalten des Messrohrs Massedurchfluss und Dichte der Flüssigkeit bestimmbar sind. Die Messwerte für Massedurchfluss und Dichte weisen jedoch Querempfindlichkeiten zur Schallgeschwindigkeit bzw. Kompressibilität der Flüssigkeit auf. Eine Kompensation dieser Querempfindlichkeiten ist daher erwünscht.

15 Die Offenlegungsschrift DE 10 2015 122 661 A1 offenbart ein Verfahren zum Ermitteln der Dichte oder der Massedurchflussrate einer mit Gas beladenen Flüssigkeit mittels eines Messaufnehmers, der ein Messrohr mit mehreren Biegeschwingungsmoden verschiedener Eigenfrequenz aufweist. Auf Basis der Eigenfrequenzen zweier Biegeschwingungsmoden werden vorläufige Dichtewerte
20 bestimmt, die unter der Annahme von Resonanzschwingungen der mit Gas beladenen Flüssigkeit gegenüber dem Messrohr die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit und daran anknüpfend die Bestimmung eines korrigierten Dichte- und Massedurchflusswertes ermöglicht.

Der obige Ansatz auf Basis der sogenannten Multifrequenztechnologie liefert
25 zufriedenstellende Ergebnisse, wenn es um Messungen an mit Gas beladenen Flüssigkeiten geht, die eine gegenüber der reinen flüssigen Phase erheblich abgesenkte Schallgeschwindigkeit aufweisen. Bei zu großen Schallgeschwindigkeiten ist die Multifrequenztechnologie nicht praktikabel.

Mit steigenden Anforderungen an die Messgenauigkeit gewinnt der
30 Resonatoreffekt auch bei Medien mit großen Schallgeschwindigkeiten an Bedeutung, auch bei reinen Flüssigkeiten ist er daher bei der Messwertbestimmung zu berücksichtigen. Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein

Messgerät bereitzustellen, dass die Auswirkung des Resonatoreffekts auch für solche Medien korrigiert.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch das Verfahren gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 und das Messgerät gemäß dem unabhängigen
5 Patentanspruch 16.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist ein Verfahren zum Ermitteln eines Messwerts eines physikalischen Parameters einer Flüssigkeit mittels eines Messaufnehmers mit mindestens einem Messrohr zum Führen der Flüssigkeit, wobei das Messrohr jeweils einen einlassseitigen Endabschnitt und einen auslassseitigen
10 Endabschnitt aufweist, wobei der Messaufnehmer mindestens eine einlassseitige Fixiervorrichtung und eine auslassseitige Fixiervorrichtung aufweist, mit denen das Messrohr jeweils an einem der Endabschnitte fixiert ist, wobei das Messrohr zwischen den beiden Fixiervorrichtungen zum Schwingen in mindestens einer Biegeschwingungs-
mode anregbar ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Ermitteln
15 mindestens eines aktuellen Werts eines Schwingungsparameters der Biegeschwingungs-
mode, Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters, in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters, wobei der Messwert bezüglich des Resonatoreffekts kompensiert ist in Abhängigkeit von einem aktuellen Wert für die Eigenfrequenz der Biegeschwingungs-
mode und von der Schallgeschwindigkeit der in
20 dem Messrohr geführten Flüssigkeit, wobei der Wert für die Schallgeschwindigkeit unabhängig von Schwingungen des Messrohrs bereitgestellt wird.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst der Schwingungsparameter die Eigenfrequenz der Biegeschwingungs-
mode, wobei der physikalische Parameter eine Dichte der im Messrohr geführten Flüssigkeit umfasst.

25 In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst der Schwingungsparameter einen zum Massedurchfluss proportionalen Zeitverzug zwischen den Signalen zweier in Längsrichtung des Messrohrs versetzt zueinander angeordneter Schwingungssensoren, wobei der physikalische Parameter eine Massedurchflussrate der im Messrohr geführten Flüssigkeit umfasst.

30 In einer Weiterbildung der Erfindung wird ein aktueller Messwert für die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit durch einen externen Sensor bereitgestellt, insbesondere durch einen Ultraschallsensor.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist ein extern ermittelter Wert für die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit in einem Datenspeicher hinterlegt und wird zur Berechnung des physikalischen Parameters aus dem Datenspeicher ausgelesen.

5 In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters unter der Annahme, dass Geräteparameter, die in die Berechnung des physikalischen Parameters eingehen, valide sind, wobei die Geräteparameter insbesondere unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts ermittelt wurden.

10 In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters unter der Annahme, dass Geräteparameter, die in die Berechnung des physikalischen Parameters eingehen, unter Vernachlässigung des Resonatoreffekts ermittelt wurden, wobei eine Korrektur für die Auswirkung des Resonatoreffekts auf die Bestimmung der Geräteparameter erfolgt.

15 Der Zusammenhang eines vorläufigen Dichtewerts ρ einer Flüssigkeit auf Basis der Eigenfrequenz f_i eines f_i -Modes beschrieben werden als:

$$\rho_i = c_{0i} + c_{1i} \frac{1}{f_i^2} + c_{2i} \frac{1}{f_i^4},$$

wobei c_{0i} , c_{1i} , und c_{2i} Geräteparameter sind, hier in Form von modenabhängigen Koeffizienten.

20 Die obige Näherung berücksichtigt jedoch nicht die Einflüsse des Resonatoreffekts, also den Einfluss der schwingenden Flüssigkeit im Messrohr. Je näher die Resonanzfrequenz der schwingenden Flüssigkeit an der Eigenfrequenz eines Biegeschwingungsmodes liegt, desto stärker ist die Beeinflussung der Eigenfrequenz. Die Resonanzfrequenz der Flüssigkeit hängt von ihrer Schallgeschwindigkeit ab. In einer
25 Weiterbildung der Erfindung ist ein modenspezifischer Korrekturterm K_i für einen vorläufigen Dichtewert daher eine Funktion eines Quotienten aus der Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit und der Eigenfrequenz der Mode, mit dem der vorläufige Dichtewert ermittelt wurde.

30 In einer Weiterbildung der Erfindung weist der Korrekturterm K_i für die vorläufigen Dichtewerte ρ auf Basis des der Eigenfrequenz des f_i -Modes folgende Form auf:

$$K_i := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c}{f_i} \right)^2 - b} \right),$$

wobei

$$\rho_{corr} := \frac{\rho_i}{K_i}$$

- wobei r und g medienunabhängige Konstanten sind, f_i die Eigenfrequenz des f_i -
 5 Modes ist, ρ_{corr} die korrigierte Dichte ist, und b eine Skalierungskonstante ist, wobei insbesondere gilt: $r/b < 1$, insbesondere $r/b < 0,9$, und/oder $b = 1$. In der obigen Gleichung ist g insbesondere ein vom Durchmesser des Messrohrs abhängiger Proportionalitätsfaktor zwischen einer Resonanzfrequenz f_{res} der Flüssigkeit und der Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, wobei gilt:

10
$$f_{res} = g \cdot c$$

Beispielsweise für ein Zweirohrmessgerät mit DN 50 bzw DN 100 weist g einen Wert von etwa 21 bzw. 8,5 auf.

- Die Schallgeschwindigkeit c der Flüssigkeit kann beispielsweise als vorgegebener Wert – gegebenenfalls mit Temperaturkorrektur – in einem Datenspeicher
 15 hinterlegt sein und aus diesem ausgelesen werden, oder er kann von einem externen Sensor, beispielsweise einem Ultraschallsensor bereitgestellt werden.

In einer Weiterbildung der Erfindung gilt für einen Dichtefehler $E_{\rho i}$ eines vorläufigen Dichtewerts auf Basis der Eigenfrequenz des f_i -Modes:

$$E_{\rho i} := K_i - 1,$$

- 20 wobei ein Massedurchflussfehler E_m eines vorläufigen Massedurchflusswerts proportional zu dem Dichtefehler $E_{\rho i}$ des vorläufigen Dichtewerts auf Basis des Biegeschwingungsgrundmodes f_1 ist, also:

$$E_m := k \cdot E_{\rho 1},$$

- wobei der Proportionalitätsfaktor k nicht weniger als 1,5 und nicht mehr als 3
 25 beträgt. In einer derzeit bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt der Proportionalitätsfaktor $k = 2$.

Für einen Korrekturterm K_m für den Massedurchfluss gilt:

$$K_m := 1 + E_m,$$

also

$$K_m := \left(1 + \frac{2 \cdot r}{\left(\frac{g \cdot c}{f_1} \right)^2 - b} \right)$$

5 wobei der korrigierte Massedurchfluss $\dot{m}_{corr}$ ermittelt wird als

$$\dot{m}_{corr} := \frac{\dot{m}_v}{K_m},$$

wobei $\dot{m}_v$ der vorläufige Massedurchflusswert in bekannter Weise durch Multiplikation eines Zeitverzugs Δt zwischen den Signalen zweier Schwingungssensoren mit einem Kalibrierfaktor *calf* bestimmt wird.

10 Die hier beschriebene Ermittlung des Korrekturterms für den Massedurchfluss knüpft noch die Vorgehensweise gemäß der Multifrequenztechnologie an, bei welcher der Massedurchflusskorrekturterm zweckmäßig über den Dichtekorrekturterm abgeschätzt wird, da letzterer ohnehin zu bestimmen ist, um den Wert für die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit zu ermitteln. Wenn der Wert über die
15 Schallgeschwindigkeit aber extern bereitgestellt wird, kann der Massedurchflusskorrekturterm K_m auch unabhängig vom Dichtekorrekturterm abgeschätzt werden als:

$$K_m := 1 + a_1 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot f_c}{c} \cdot r_t \right)^2.$$

Hierbei sind a_1 eine Konstante, f_c die Schwingungsfrequenz, bei welcher die
20 Messung durchgeführt wurde, r_t der Radius des Messrohrs bzw. der Messrohre und c die Schallgeschwindigkeit des betrachteten Mediums.

Die obigen Ausführungen zu den Korrekturtermen K_i und K_m sind nur gültig unter der Annahme, dass bei der Ermittlung der Geräteparameter c_{ji} der Resonatoreffekt des Referenzmediums berücksichtigt wurde. Falls dies nicht erfolgt ist, sind die
25 Geräteparameter c_{ji} bzw. *calf* zu niedrig bestimmt.

Dem entsprechend ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung die Wirkung des Resonatoreffekts bei der Ermittlung der Geräteparameter nachträglich zu korrigieren.

Dies kann im Idealfall unter Verwendung der Daten der bei der Ermittlung der Geräteparameter verwendeten Medien erfolgen. Der entsprechende initiale

- 5 Dichtekorrekturterm $K_{0,i}$ für den fi-Mode ist zu bestimmen als:

$$K_{0,i} := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c_0}{f_{0,i}} \right)^2 - b} \right),$$

Hierbei bezeichnen c_0 die Schallgeschwindigkeit des bei der Bestimmung der Koeffizienten zur Dichtemessung verwendeten Mediums und $f_{0,i}$ die beobachtete Eigenfrequenz des fi-Modes.

- 10 Die korrigierte Dichte ist in dem Fall zu berechnen gemäß:

$$\rho_{corr} = \rho_i \cdot \frac{K_{0,i}}{K_i}$$

Entsprechendes gilt für die Massedurchflussmessung, für die eine versäumte Berücksichtigung des Resonatoreffekts bei der Ermittlung des Kalibrierfaktors *calf* nachträglich zu korrigieren ist.

- 15 Für die Ermittlung des initialen Massedurchflusskorrekturterms $K_{0,m}$ stehen wie für die Ermittlung des aktuellen Massedurchflusskorrekturterms K_m zwei Alternativen zur Verfügung.

Erstens auf Basis des initialen Dichtekorrekturterms:

$$K_{0,m} := \left(1 + \frac{2 \cdot r}{\left(\frac{g \cdot c_0}{f_{0,i}} \right)^2 - b} \right),$$

- 20 wobei c_0 die Schallgeschwindigkeit des bei der Bestimmung der Koeffizienten zur Dichtemessung verwendeten Mediums und $f_{0,i}$ die beobachtete Eigenfrequenz des fi-Modes bezeichnen.

Zweitens auf Basis der Bedingungen bei der Ermittlung des Kalibrierfaktors *calf*:

$$K_{0,m} := 1 + a_1 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot f_{0,c}}{c_0} \cdot r_t \right)^2.$$

Hierbei sind a_1 eine Konstante, $f_{0,c}$ die Schwingungsfrequenz, bei welcher die Messung zur Bestimmung des Kalibrierfaktors *cal_f* durchgeführt wurde, r_t der Radius des Messrohrs bzw. der Messrohre und c_0 die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, das bei der Bestimmung des Kalibrierfaktors verwendet wurde.

5 Für den korrigierten Massedurchfluss gilt dann:

$$\dot{m}_{corr} = \dot{m}_v \cdot \frac{K_{0,m}}{K_m}.$$

Dabei sind: K_m der aktuelle Massedurchflusskorrekturterm, $K_{0,m}$ einer der beiden initialen Massedurchflusskorrekturtermen und $\dot{m}_v$ der vorläufige Massedurchflussmesswert.

10 Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient zum Ermitteln eines Messwerts eines physikalischen Parameters einer Flüssigkeit, insbesondere mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die Vorrichtung einen Messaufnehmer umfasst mit

mindestens einem Messrohr zum Führen der Flüssigkeit, wobei das Messrohr
15 jeweils einen einlassseitigen Endabschnitt und einen auslassseitigen Endabschnitt aufweist, wobei der Messaufnehmer mindestens eine einlassseitige Fixiervorrichtung und eine auslassseitige Fixiervorrichtung aufweist, mit denen das Messrohr jeweils in einen der Endabschnitte fixiert ist, wobei das Messrohr zwischen den beiden
Fixiervorrichtungen zum Schwingen in mindestens einem Biegeschwingungsmodus
20 anregbar ist,

mindestens einem Erreger zum Anregen von Schwingungen in mindestens einem Biegeschwingungsmodus, mindestens einen Schwingungssensor zum Erfassen von Schwingungen in mindestens einem Biegeschwingungsmodus, wobei das Messgerät weiterhin eine Betriebs- und Auswerteschaltung aufweist, die eingerichtet ist zum:
25 Treiben des Erregers; Erfassen von Signalen des mindestens einen Schwingungssensors; Ermitteln mindestens eines aktuellen Werts eines Schwingungsparameters der Biegeschwingungsmodus, auf Basis der Sensorsignale; und Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters, in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters, wobei eine Betriebs- und Auswerteschaltung, die eingerichtet ist, den
30 Messwert bezüglich des Resonatoreffekts in Abhängigkeit von einem aktuellen Wert für die Eigenfrequenz der Biegeschwingungsmodus und von der Schallgeschwindigkeit der in

dem Messrohr geführten Flüssigkeit zu kompensieren, wobei der Wert für die Schallgeschwindigkeit unabhängig von Schwingungen des Messrohrs bereitgestellt wird.

Die Erfindung wird nun anhand des in den Zeichnungen beschriebenen Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

5 Fig. 1: eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Messgerätes;

 Fig. 2a: ein Flussdiagramm eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Dichtemessung;

 Fig. 2b: ein Flussdiagramm mit Teilschritten des ersten Ausführungsbeispiels des
10 erfindungsgemäßen Verfahrens;

 Fig. 3a: ein Flussdiagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Massedurchflussmessung; und

 Fig. 3b: ein Flussdiagramm mit Teilschritten des zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

15

 Das in Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Messgeräts 1 umfasst einen Oszillator 10 der ein Paar von parallel geführten schwingfähigen Messrohren 14 umfasst, die sich zwischen einem einlassseitigen Flansch 11 und einem auslassseitigen Flansch 12 erstrecken, wobei die Flansche jeweils einen Strömungsteiler
20 bzw. Sammler umfassen, in den die Messrohre 14 münden. Die Strömungsteiler sind durch ein starres Gehäuse 15 miteinander verbunden, so dass Schwingungen der die Messrohre aufnehmenden Strömungsteiler im Bereich von Schwingungsfrequenzen von Biegeschwingungsnutzmoden des Oszillators wirksam unterdrückt sind. Die Messrohre 10 sind mit einer einlassseitigen Knotenplatte 20 und einer auslassseitigen Knotenplatte
25 21 starr verbunden, wobei die Knotenplatten Schwingungsknoten des durch die beiden der Messrohre 14 gebildeten Oszillators 10 definieren, und damit die Frequenzen der Biegeschwingungsnutzmoden bis auf die Dichteabhängigkeit weitgehend festlegen. Der Oszillator 10 wird mit einem zwischen den beiden Messrohren 14 wirkenden elektrodynamischen Erregers 17 zum Schwingen angeregt, wobei die Schwingungen mittels
30 zweier Relativbewegungen der Messrohre 14 zueinander erfassender Schwingungssensoren 18, 19 detektiert werden. Der Erreger 17 wird von einer Betriebs- und Auswerteschaltung 30 betrieben, wobei letztere auch die Signale der Schwingungssensoren erfasst und auswertet, um einen bezüglich des Resonatoreffekts korrigierten Dichte bzw. Massedurchflussmesswert zu ermitteln.

Die Auswirkung des Resonatoreffekts wird nun anhand der Dichtemessung für zwei Medien, nämlich Wasser und Tetrachlorkohlenstoff näher erläutert.

Der Zusammenhang eines vorläufigen Dichtewerts ρ_i einer Flüssigkeit auf Basis der Eigenfrequenz f_i eines f_i -Modes beschrieben werden als:

5

$$\rho_i = c_{0i} + c_{1i} \frac{1}{f_i^2} + c_{2i} \frac{1}{f_i^4},$$

wobei c_{0i} , c_{1i} , und c_{2i} gerätespezifischen modenabhängigen Koeffizienten sind.

Die obigen Koeffizienten werden gewöhnlich initial unmittelbar anschließend an die Herstellung der Messgeräte ermittelt, wobei für Medien bekannter Dichte die Schwingfrequenzen der Biegeschwingungsmoden, insbesondere für den f_1 -Mode
10 ermittelt werden. Als Medien werden häufig Luft bei Normaldruck und 20° C und Wasser bei 20° C verwendet.

Tabelle 1 zeigt für diese Medien sowie für Tetrachlorkohlenstoff die beobachteten Frequenzen des f_1 -Modes eines exemplarischen Messgerätes.

Medium	Dichte	f ₁	C	f ₀	f ₁ scheinbare Dichte	Resonator- effekt	Dichte- fehler
	[kg/m ³]	[Hz]	[m/s]	[Hz]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Luft @20°C	1,2	300	340	1994	1,22	0,02	0,00
Wasser @20°C	1000	250	1482	8689	1000,69	0,69	0,00
C CL ₄ @20°C	1590	230,057	926	5429	1592,39	2,39	1,30

Tabelle 1

Weiterhin sind in Tabelle 1 die Dichte, die Schallgeschwindigkeit c sowie die daraus folgende Resonanzfrequenz für das gegen das Messrohr schwingende Medium angegeben. In der Spalte „f₁ scheinbare Dichte“ ist ein scheinbarer Dichtewert angegeben, der sich aufgrund der f₁-Frequenz bei einem Messgerät ergeben würde, für das bei der initialen Ermittlung der Koeffizienten der Resonatoreffekt berücksichtigt wurde, wenn man bei der aktuellen Dichtemessung den Resonatoreffekt vernachlässigt. Der Beitrag des Resonatoreffekts zur scheinbaren Dichte ist in der Spalte „Resonator-effekt“ angegeben.

Die Spalte „Dichtefehler“ fasst die Situation des Stands der Technik zusammen, wonach sowohl bei der initialen Ermittlung der Koeffizienten c_{0i}, c_{1i}, und c_{2i} als auch bei der Dichtemessung der Resonatoreffekt vernachlässigt wird. Vielmehr werden die Koeffizienten so gewählt, dass sich für Luft die Solldichte von 1,2 kg/m³ und für Wasser die Solldichte von 1000 kg/m³ ergibt. Damit ist der Messfehler für diese beiden Medien Null, während er für Tetrachlorkohlenstoff 1,3 kg/m³ beträgt.

Tabelle 2 zeigt die Koeffizienten c_{0i} bis c_{2i} zur Bestimmung der Dichte, die auf Basis der Eigenfrequenz des ersten Biegeschwingungsmodes ohne Berücksichtigung des Resonatoreffekts gewonnen wurden, wobei der Zusammenhang eines vorläufigen Dichtewerts ρ einer Flüssigkeit auf Basis der Eigenfrequenz f_i eines f_i-Modes hier gegeben ist als:

$$\rho_i = c_{0i} + c_{1i} \frac{1}{f_i^2} + c_{2i} \frac{1}{f_i^4}$$

Insofern als bei der Kalibrierung die Dichtewerte von Luft und Wasser als Referenzdichten vorgegeben wurden, stimmen für diese beiden Medien die Werte einer gemessenen scheinbaren bzw. vorläufigen Dichte mit dem Sollwert für die Dichte überein. Für Tetrachlorkohlenstoff ergibt sich jedoch eine Abweichung von 1,3 kg/m³. Wenn der Einfluss des Resonatoreffekts auf die initiale Kalibrierung berücksichtigt und zur nachträglichen Korrektur mittels eines initialen Dichtekorrekturterms K_{0i} verwendet

wird und zudem in die Korrektur der aktuellen Dichtemessung mittels eines Dichtekorrekturterms K_i eingeht, kann eine korrekte Mediendichte ermittelt werden, wie in der letzten Spalte von Tabelle 2 angegeben ist.

Medium	c01	c11	c21	Gemes- sene scheinbare Dichte	Nachträg- liche Korrektur
				[kg/m3]	[kg/m3]
Luft @20°C	-2268,8	2,06E+08	-87156,2	1,2	
Wasser @20°C				1000	
Tetrachlor- kohlenstoff @20°C				1591,3036	1590,013265

5

Tabelle 2

Der Dichtekorrekturterm K_i für die vorläufigen bzw. scheinbaren Dichtewerte ρ_i auf Basis des der Eigenfrequenz des f_i -Modes weist folgende Form auf:

$$K_i := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c}{f_i} \right)^2 - b} \right),$$

wobei r und g medienunabhängige Konstanten sind, f_i die Eigenfrequenz des f_i -
 10 Modes ist, ρ_{corr} die korrigierte Dichte ist, und b eine Skalierungskonstante ist, wobei insbesondere gilt: $r/b < 1$, insbesondere $r/b < 0,9$, und/oder $b = 1$. In der obigen Gleichung ist g ein insbesondere vom Durchmesser des Messrohrs abhängiger Proportionalitätsfaktor zwischen einer Resonanzfrequenz f_{res} der Flüssigkeit und der Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, wobei gilt:

15

$$f_{res} = g \cdot c$$

Die Schallgeschwindigkeit c der Flüssigkeit kann beispielsweise als vorgegebener Wert – gegebenenfalls mit Temperaturkorrektur – in einem Datenspeicher hinterlegt sein und aus diesem ausgelesen werden.

Der entsprechende initiale Dichtekorrekturterm $K_{0,i}$ für den f_i -Mode ist zu
 20 bestimmen als:

$$K_{0,i} := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c_0}{f_{0,i}} \right)^2 - b} \right),$$

Hierbei bezeichnen c_0 die Schallgeschwindigkeit des bei der Bestimmung der Koeffizienten zur Dichtemessung verwendeten Mediums und $f_{0,i}$ die beobachtete Eigenfrequenz des f_i -Modes.

- 5 Die nachträglich korrigierte Dichte ist in dem Fall zu berechnen gemäß:

$$\rho_{corr} = \rho_i \cdot \frac{K_{0,i}}{K_i}$$

Tabelle 3 zeigt schließlich die Koeffizienten c_{01_sos} bis c_{21_sos} zur Bestimmung der Dichte, die auf Basis der Eigenfrequenz des ersten Biegeschwingungsmodes unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts gewonnen wurden.

- 10 In dem Fall führt eine Vernachlässigung des Resonatoreffekts im Messbetrieb zu beachtlichen Fehlern bei der vorläufigen Dichte ρ_i .

Medium	c01_sos	C11_sos	C21_sos	Vorläufige Dichte	Korrigierte Dichte
				[kg/m3]	[kg/m3]
Luft @20°C	-2270,3	2,06E+08	-87214,7	1,2232734	1,200
Wasser @20°C				1000,6934	1000,000
Tetrachlor-kohlenstoff @20°C				1592,3937	1590,000

Tabelle 3

Die korrigierte Dichte ρ_{corr} ist in diesem Fall zu ermitteln gemäß:

$$\rho_{corr} := \frac{\rho_i}{K_i}$$

- 15 wobei der Dichtekorrekturterm K_i wie zuvor gegeben ist als:

$$K_i := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c}{f_i} \right)^2 - b} \right).$$

Die Übereinstimmung zwischen den korrigierten Dichtewerten und den Literaturwerten ist sehr gut.

Ein erstes Ausführungsbeispiel 100 des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand der Flussdiagramme in Fign. 2a und 2b erläutert, wobei das Ausführungsbeispiel 100 zur Dichtemessung dient.

In einem ersten Schritt 110 erfolgt, wie in Fig 2a dargestellt das Ermitteln eines
5 aktuellen Werts der Eigenfrequenz der Biegeschwingungsgrundmode bzw. f₁-Mode.

In einem zweiten Schritt 120 erfolgt das Ermitteln eines Dichtemesswerts, in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert der Eigenfrequenz Schwingungsparameters.

Der zweite Schritt 120 umfasst die in Fig 2b dargestellten Teilschritte.

Zunächst wird in einem ersten Teilschritt 122 anhand des aktuellen Werts der
10 Eigenfrequenz f₁ ein vorläufiger Dichtemesswert ρ_1 bestimmt.

Bei dem in diesem Ausführungsbeispiel verwendeten Gerät sind die Koeffizienten c_{01_sos} bis c_{21_sos} unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts gewonnen worden. Im Messbetrieb ist daher nur für den Resonatoreffekt bei der aktuellen Messung zu korrigieren. Dazu wird in einem zweiten Teilschritt 124 ein Wert für die
15 Schallgeschwindigkeit der aktuell im Messrohr geführten Flüssigkeit bereitgestellt, beispielsweise aus einem Datenspeicher.

In einem dritten Teilschritt 126 wird anhand des Werts für die Eigenfrequenz f₁ und der Schallgeschwindigkeit c der Flüssigkeit der Dichtekorrekturterm K₁ bestimmt.

Schließlich wird in einem vierten Teilschritt 128 ein korrigierter Dichtemesswert
20 ρ_{corr} berechnet, indem der vorläufige Dichtemesswert ρ_1 durch K₁ geteilt wird.

Sollten die Koeffizienten c₀₁, c₁₁, c₂₁ nicht unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts ermittelt worden sein. So ist noch mit einem initialen Dichtekorrekturterm K_{0,1} zu multiplizieren, um diesen Fehler nachträglich auszugleichen.

Ein zweites Ausführungsbeispiel 200 des erfindungsgemäßen Verfahrens wird
25 anhand der Flussdiagramme in Fign. 3a und 3b erläutert, wobei das Ausführungsbeispiel 200 zur Massedurchflussmessung dient.

In einem ersten Schritt 210 erfolgt, wie in Fig 3a dargestellt das Ermitteln eines aktuellen Werts des zum Massedurchfluss proportionalen Zeitverzugs Δt zwischen den Ruhelagedurchgängen zweier Schwingungssensoren am Messrohr.

In einem zweiten Schritt 220 erfolgt das Ermitteln des Massedurchflussmesswerts, in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Zeitverzugs.

Der zweite Schritt 220 umfasst die in Fig 3b dargestellten Teilschritte.

5 Zunächst wird in einem ersten Teilschritt 222 anhand des aktuellen Werts des Zeitverzugs Δt ein vorläufiger Massedurchflusswert $\dot{m}_v$ durch Multiplikation mit einem Kalibrierfaktor calf bestimmt. Bei dem in diesem Ausführungsbeispiel verwendeten Gerät ist der Kalibrierkoeffizient calf unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts gewonnen worden.

10 Daher ist im Messbetrieb nur für den Resonatoreffekt bei der Aktuellen Messung zu korrigieren.

Dazu wird in einem zweiten Teilschritt 224 ein Wert für die Schallgeschwindigkeit c der aktuell im Messrohr geführten Flüssigkeit bereitgestellt, beispielsweise aus einem Datenspeicher.

15 In einem dritten Teilschritt 226 wird anhand des Werts für die Eigenfrequenz f_c , bei der die Durchflussmessung erfolgt und der Schallgeschwindigkeit c der Flüssigkeit der Massedurchflusskorrekturterm K_m bestimmt gemäß:

$$K_m := 1 + a_1 \cdot \left(\frac{4\pi f_c}{c} \cdot r_t \right)^2,$$

wobei a_1 eine Konstante und r_t der Radius des Messrohrs bzw. der Messrohre sind.

20 Schließlich wird in einem vierten Teilschritt 228 ein korrigierter Massedurchflusswert $\dot{m}_{\text{corr}}$ berechnet, indem der vorläufige Massedurchflusswert $\dot{m}_v$ durch K_m geteilt wird, also:

$$\dot{m}_{\text{corr}} := \frac{\dot{m}_v}{K_m}.$$

25 Sollte der Kalibrierfaktor calf nicht unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts ermittelt worden sein, so ist noch mit einem initialen Massedurchflusskorrekturterm $K_{0,m}$ zu multiplizieren, um diesen Fehler nachträglich auszugleichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Messwerts eines physikalischen Parameters einer Flüssigkeit mittels eines Messaufnehmers mit mindestens einem Messrohr zum Führen der Flüssigkeit, wobei das Messrohr zum Schwingen in
5 mindestens einer Biegeschwingungsmode anregbar ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Ermitteln mindestens eines aktuellen Werts eines Schwingungsparameters der Biegeschwingungsmode;

10 Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters, in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters,

wobei der Messwert bezüglich des Resonatoreffekts kompensiert ist in Abhängigkeit von einem aktuellen Wert für die Eigenfrequenz der Biegeschwingungsmode und von der Schallgeschwindigkeit der in dem Messrohr geführten Flüssigkeit,

15 wobei der Wert für die Schallgeschwindigkeit unabhängig von den Schwingungen des Messrohrs bereitgestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der physikalische Parameter eine Dichte oder einen Massedurchflusswert der im Messrohr geführten Flüssigkeit umfasst,
20 wobei der zugehörige Schwingungsparameter eine Schwingungsfrequenz bzw. einen zum Massedurchfluss proportionalen Zeitverzug zwischen den Signalen zweier in Längsrichtung des Messrohrs versetzt zueinander angeordneter Schwingungssensoren umfasst.

25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei

ein aktueller Messwert für die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit durch einen externen Sensor bereitgestellt wird, insbesondere durch einen Ultraschallsensor, oder

ein extern ermittelter Wert für die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit in einem Datenspeicher hinterlegt ist, der zur Berechnung des physikalischen Parameters aus dem Datenspeicher ausgelesen wird.

- 5 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Dichtekorrekturterm K_i für einen vorläufigen Dichtewert ρ_i auf Basis des der Eigenfrequenz des f_i -Modes folgende Form aufweist:

$$K_i := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c}{f_i} \right)^2 - b} \right),$$

- 10 wobei r und g medienunabhängige Konstanten sind, f_i die Eigenfrequenz des f_i -Modes ist, und b eine Skalierungskonstante ist, wobei insbesondere gilt: $r/b < 1$, insbesondere $r/b < 0,9$, und/oder $b = 1$. In der obigen Gleichung ist g insbesondere ein vom Durchmesser des Messrohrs abhängiger Proportionalitätsfaktor zwischen einer Resonanzfrequenz f_{res} der Flüssigkeit und der Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, wobei gilt: $f_{res} = g \cdot c$.

15

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für einen Dichtefehler $E_{\rho i}$ eines vorläufigen Dichtewerts auf Basis der Eigenfrequenz des f_i -Modes gilt:

$$E_{\rho i} := K_i - 1,$$

- 20 wobei ein Massedurchflussfehler E_m eines vorläufigen Massedurchflusswerts proportional zu dem Dichtefehler $E_{\rho 1}$ des vorläufigen Dichtewerts auf Basis des Biegeschwingungsgrundmodes f_1 ist, also:

$$E_m := k \cdot E_{\rho 1},$$

- 25 wobei der Proportionalitätsfaktor k nicht weniger als 1,5 und nicht mehr als 3 beträgt. In einer derzeit bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt der Proportionalitätsfaktor $k = 2$,

wobei ein Massedurchflusskorrekturterm K_m ermittelt wird als:

$$K_m := 1 + E_m.$$

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei ein Massedurchflusskorrekturterm K_m abgeschätzt wird als:

$$K_m := 1 + a_1 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot f_c}{c} \cdot r_t \right)^2,$$

wobei a_1 eine Konstante, f_c die Schwingungsfrequenz, bei welcher die Durchflussmessung durchgeführt wurde, r_t der Radius des Messrohrs bzw. der Messrohre und ein Wert für die Schallgeschwindigkeit c der im Messrohr enthaltenen Flüssigkeit sind.

10

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters unter der Annahme erfolgt, dass Geräteparameter, die in die Berechnung des physikalischen Parameters eingehen, unter Berücksichtigung des Resonatoreffekts ermittelt wurden.

15

8. Verfahren nach Anspruch 4, wobei ein korrigierter Dichtewert ρ_{corr} ermittelt wird als:

$$\rho_{corr} = \frac{\rho_i}{K_i},$$

20

9. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei ein korrigierter Massedurchflusswert $\dot{m}_{corr}$ ermittelt wird als

$$\dot{m}_{corr} := \frac{\dot{m}_v}{K_m},$$

25

wobei ein vorläufige Massedurchflusswert $\dot{m}_v$ durch Multiplikation eines durchflussproportionalen Zeitverzugs Δt zwischen den Signalen zweier Schwingungssensoren mit einem Kalibrierfaktor cal_f bestimmt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des

Schwingungsparameters unter der Annahme erfolgt, dass Geräteparameter, die in die Berechnung des physikalischen Parameters eingehen, unter Vernachlässigung des Resonatoreffekts ermittelt wurden, wobei eine Korrektur für die Auswirkung des Resonatoreffekts auf die Bestimmung der Geräteparameter erfolgt.

5

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein initialer Dichtekorrekturterm $K_{0,i}$ für den fi-Mode ist zu bestimmen als:

$$K_{0,i} := \left(1 + \frac{r}{\left(\frac{g \cdot c_0}{f_{0,i}} \right)^2 - b} \right),$$

10 wobei c_0 die Schallgeschwindigkeit des bei der Bestimmung der Koeffizienten zur Dichtemessung verwendeten Mediums und $f_{0,i}$ die beobachtete Eigenfrequenz des fi-Modes bezeichnen.

12. Verfahren nach Ansprüchen 4 und 11 wobei die korrigierte Dichte berechnet wird gemäß:

15
$$\rho_{corr} = \rho_i \cdot \frac{K_{0,i}}{K_i}$$

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein initialer Massedurchflusskorrekturterm $K_{0,m}$ berechnet wird gemäß:

$$K_{0,m} := \left(1 + \frac{2 \cdot r}{\left(\frac{g \cdot c_0}{f_{0,i}} \right)^2 - b} \right),$$

20 wobei c_0 die Schallgeschwindigkeit des bei der Bestimmung der Koeffizienten zur Dichtemessung verwendeten Mediums und $f_{0,i}$ die beobachtete Eigenfrequenz des fi-Modes bezeichnen.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein initialer Massedurchflusskorrekturterm $K_{0,m}$ berechnet wird gemäß:

$$K_{0,m} := 1 + a_1 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot f_{0,c}}{c_0} \cdot r_t \right)^2,$$

- 5 wobei a_1 eine Konstante, $f_{0,c}$ die Schwingungsfrequenz, bei welcher die Messung zur Bestimmung des Kalibrierfaktors *cal/f* durchgeführt wurde, r_t der Radius des Messrohrs bzw. der Messrohre und c_0 die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, das bei der Bestimmung des Kalibrierfaktors verwendet wurde, sind.

- 10 15. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6 und nach Anspruch 13 oder 14, wobei ein korrigierten Massedurchflussmesswert berechnet wird gemäß:

$$\dot{m}_{corr} = \dot{m}_v \cdot \frac{K_{0,m}}{K_m},$$

wobei K_m ein aktueller Massedurchflusskorrekturterm, $K_{0,m}$ ein initialer Massedurchflusskorrekturterm und $\dot{m}_v$ ein vorläufiger Massedurchflussmesswert sind.

- 15 16. Messgerät zum Ermitteln eines Messwerts eines physikalischen Parameters einer Flüssigkeit, insbesondere mittels des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

wobei das Messgerät einen Messaufnehmer aufweist mit:

- 20 mindestens einem Messrohr zum Führen der Flüssigkeit, wobei das Messrohr jeweils einen einlassseitigen Endabschnitt und einen auslassseitigen Endabschnitt aufweist,

- 25 mindestens einer einlassseitigen Fixiervorrichtung und einer auslassseitigen Fixiervorrichtung, mit denen das Messrohr jeweils in einen der Endabschnitte fixiert ist, wobei das Messrohr zwischen den beiden Fixiervorrichtungen zum Schwingen in mindestens einem Biegeschwingungs-mode anregbar ist,

mindestens einem Erreger zum Anregen von Schwingungen in mindestens einem Biegeschwingungsmode,

mindestens einen Schwingungssensor zum Erfassen von Schwingungen in mindestens einem Biegeschwingungsmoden; und

wobei das Messgerät weiterhin eine Betriebs- und Auswerteschaltung aufweist, die eingerichtet ist zum:

5 Treiben des Erregers;

Erfassen von Signalen des mindestens einen Schwingungssensors;

Ermitteln mindestens eines aktuellen Werts eines Schwingungsparameters der Biegeschwingungsmoden, auf Basis der Sensorsignale; und

10 Ermitteln eines Messwerts des physikalischen Parameters, in Abhängigkeit von dem aktuellen Wert des Schwingungsparameters,

15 wobei eine Betriebs- und Auswerteschaltung, die eingerichtet ist, den Messwert bezüglich des Resonatoreffekts in Abhängigkeit von einem aktuellen Wert für die Eigenfrequenz der Biegeschwingungsmoden und von der Schallgeschwindigkeit der in dem Messrohr geführten Flüssigkeit zu kompensieren, wobei der Wert für die Schallgeschwindigkeit unabhängig von Schwingungen des Messrohrs bereitgestellt wird.

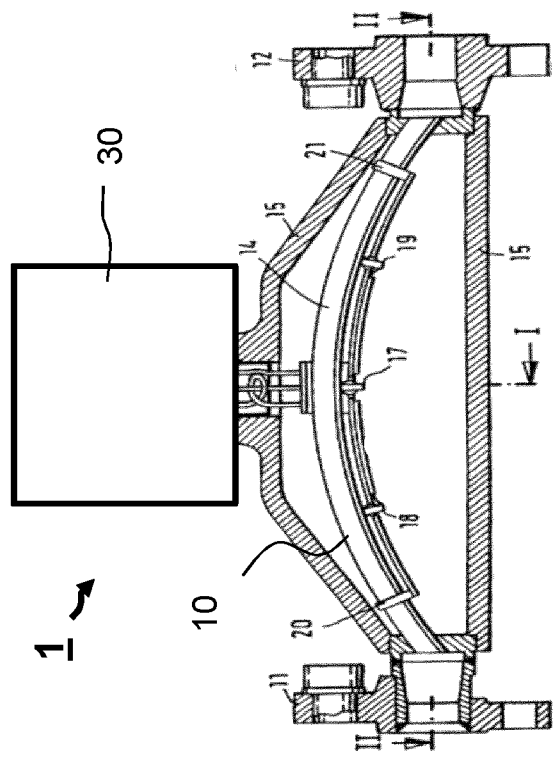


Fig. 1

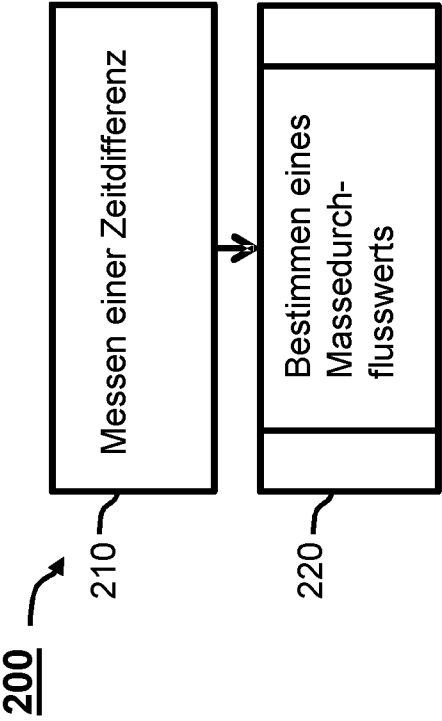


Fig. 3a

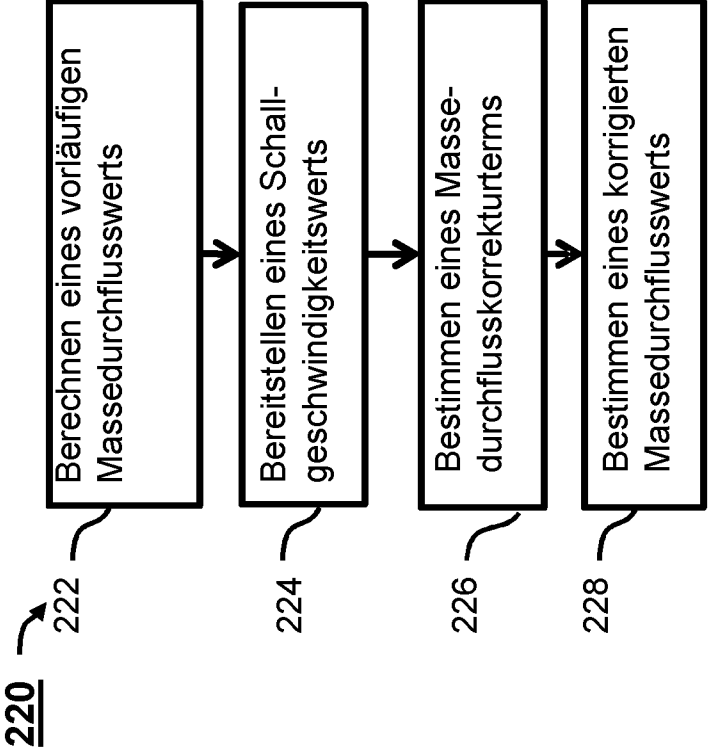


Fig. 3b

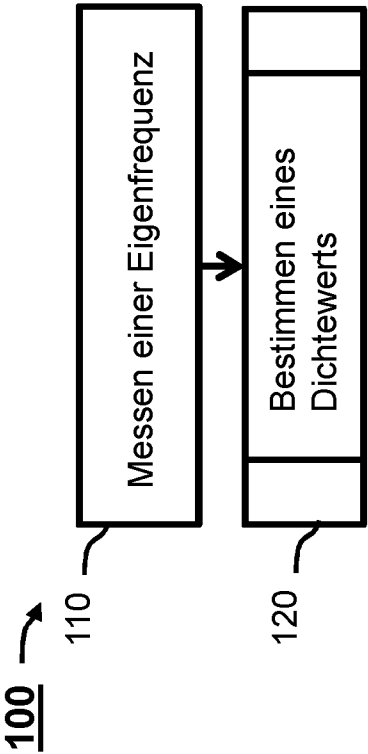


Fig. 2a

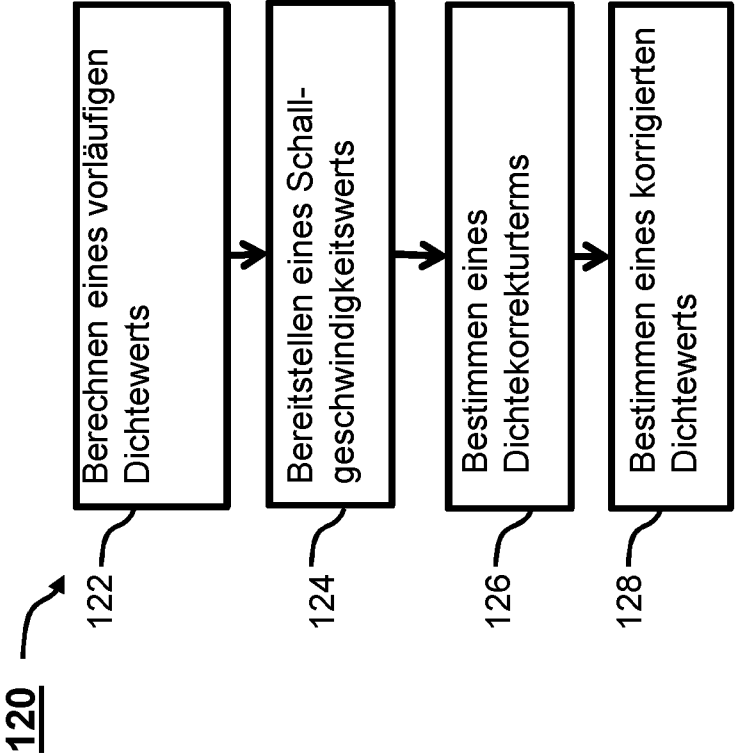


Fig. 2b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/064591**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G01F 1/84**(2006.01)i; **G01F 15/02**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102016007905 A1 (ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG [CH]) 04 January 2018 (2018-01-04)	1-4,7-11,16
Y	paragraphs [0023], [0024], [0025], [0027], [0031], [0032], [0040], [0041], [0044], [0046], [0057], [0059]; figures 2, 3b	5,6,12-15
Y	DE 102015122661 A1 (ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG [CH]) 29 June 2017 (2017-06-29) cited in the application paragraphs [0001], [0041], [0042], [0044]	5,6,12-15
A	US 2006272428 A1 (RIEDER ALFRED [DE] ET AL) 07 December 2006 (2006-12-07) page 15	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 July 2020

Date of mailing of the international search report

06 August 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Decaix, François

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/064591

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102016007905	A1	04 January 2018	DE	102016007905	A1	04 January 2018
				US	2019154486	A1	23 May 2019
				WO	2018001635	A1	04 January 2018
DE	102015122661	A1	29 June 2017	CN	108603777	A	28 September 2018
				DE	102015122661	A1	29 June 2017
				EP	3394575	A1	31 October 2018
				WO	2017108283	A1	29 June 2017
US	2006272428	A1	07 December 2006	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01F1/84 G01F15/02

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2016 007905 A1 (ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG [CH]) 4. Januar 2018 (2018-01-04)	1-4, 7-11, 16
Y	Absätze [0023], [0024], [0025], [0027], [0031], [0032], [0040], [0041], [0044], [0046], [0057], [0059]; Abbildungen 2, 3b	5, 6, 12-15
Y	DE 10 2015 122661 A1 (ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG [CH]) 29. Juni 2017 (2017-06-29) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0001], [0041], [0042], [0044]	5, 6, 12-15
A	US 2006/272428 A1 (RIEDER ALFRED [DE] ET AL) 7. Dezember 2006 (2006-12-07) Seite 15	1-16



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Juli 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/08/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Dcaix, François

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/064591

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016007905 A1	04-01-2018	DE 102016007905 A1	04-01-2018
		US 2019154486 A1	23-05-2019
		WO 2018001635 A1	04-01-2018

DE 102015122661 A1	29-06-2017	CN 108603777 A	28-09-2018
		DE 102015122661 A1	29-06-2017
		EP 3394575 A1	31-10-2018
		WO 2017108283 A1	29-06-2017

US 2006272428 A1	07-12-2006	KEINE	
