

(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
16. März 2023 (16.03.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/036558 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01F 1/84 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/072689

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. August 2022 (12.08.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 123 412.3
09. September 2021 (09.09.2021) DE

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

(72) Erfinder: **ZHU, Hao**; Auenstr. 235, 85354 Freising (DE).

(74) Anwalt: **HAHN, Christian**; Endress+Hauser Group Services (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, 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, 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.

(54) Title: VIBRONIC SENSING ELEMENT FOR MASS FLOW AND DENSITY MEASUREMENT

(54) Bezeichnung: VIBRONISCHER MESSAUFNEHMER ZUR MASSEDURCHFLUSS- UND DICHTEMESSUNG

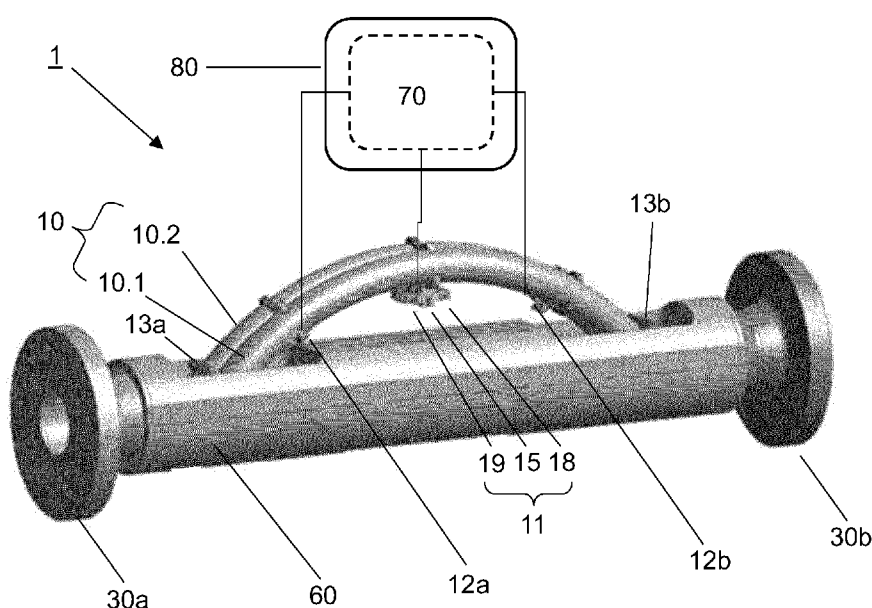


FIG. 1a

(57) Abstract: A vibronic sensing element (1) comprises: an oscillator (10) with a measuring tube (10.1, 10.2) for guiding a medium; an electrodynamic exciter arrangement (11) for exciting the oscillator (10) to bring about bending vibrations of the measuring tube (10.1, 10.2); sensor arrangements (12a, 12b) for detecting the bending vibrations of the measuring tube (10.1, 10.2); and a measuring and operating circuit (70) configured to apply exciter signals to the exciter arrangement (11), detect sensor signals of the sensor arrangements (12a, 12b), and determine a density measurement value or mass flow rate measurement value, the exciter arrangement comprising a first and a second exciter assembly (11.1, 11.2), the first exciter assembly (11.1) being fastened to the measuring tube (10.1) and having a center of gravity located in a measuring tube transverse plane (EQ), in respect of which the measuring tube (10.1, 10.2) has a mirror symmetric profile; the exciter arrangement (11) comprising a first and a second electrodynamic exciter (15, 18) and a first compensation

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(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)

mass body (19.1, 19.2), the first exciter assembly in each case comprising a first component of the first and second exciters and the first compensation mass body, with the second exciter assembly in each case comprising second components of the first and second exciters, the first exciter (18.1) being configured to exert an exciter force (FE1) on the measuring tube (10.1, 10.2), said exciter force acting symmetrically with respect to the measuring tube transverse plane between the components of the first electrodynamic exciter, the second electrodynamic exciter being configured to exert a second exciter force (FE2) on the measuring tube (10.1, 10.2), said second exciter force acting between the components of the second electrodynamic exciter and offset to the measuring tube transverse plane (EQ), with the measuring and operating circuit (70) being configured to apply a first exciter signal with the eigenfrequency of a symmetric vibration mode only to the first exciter and apply a second exciter signal with the eigenfrequency of an antisymmetric vibration mode only to the second exciter.

(57) **Zusammenfassung:** Ein vibronischer Messaufnehmer (1) umfasst: einen Oszillator (10) mit einem Messrohr (10.1, 10.2) zum Führen eines Mediums; eine elektrodynamische Erregeranordnung (11) zum Anregen des Oszillators (10) zu Biegeschwingungen des Messrohrs (10.1, 10.2); Sensoranordnungen (12a, 12b) zum Erfassen der Biegeschwingungen des Messrohrs (10.1, 10.2); und eine Mess- und Betriebsschaltung (70), welche dazu eingerichtet ist, die Erregeranordnung (11) mit Erregersignalen zu beaufschlagen, und Sensorsignale der Sensoranordnungen (12a, 12b) zu erfassen, und einen Dichtemesswert oder Massedurchflussratenmesswert zu ermitteln, wobei die Erregeranordnung eine erste, an dem Messrohr (10.1) befestigte und eine zweite Erregerbaugruppe (11.1, 11.2) aufweist, wobei die erste Erregerbaugruppe (11.1) einen Schwerpunkt aufweist, der in einer Messrohrquerebene (EQ) liegt, bezüglich welcher das Messrohr (10.1, 10.2) spiegelsymmetrisch verläuft; wobei die Erregeranordnung (11) einen ersten und einen zweiten elektrodynamischen Erreger (15, 18) und einen ersten Ausgleichsmassenkörper (19.1, 19.2) umfasst, wobei die erste Erregerbaugruppe jeweils eine erste Komponente des ersten und zweiten Erregers und den ersten Ausgleichsmassenkörper umfasst, wobei die zweite Erregerbaugruppe jeweils zweite Komponente des ersten und zweiten Erregers umfasst, wobei der erste Erreger (18.1) dazu eingerichtet ist, eine Erregerkraft (FE1) auf das Messrohr (10.1, 10.2) auszuüben, die zwischen den Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers symmetrisch zur Messrohrquerebene wirkt, wobei der zweite elektrodynamische Erreger dazu eingerichtet ist, eine zweite Erregerkraft (FE2) auf das Messrohr (10.1, 10.2) auszuüben, die zwischen den Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers und versetzt zur Messrohrquerebene (EQ) wirkt, wobei die Mess- und Betriebsschaltung (70), dazu eingerichtet ist nur den ersten Erreger mit einem ersten Erregersignal mit der Eigenfrequenz einer symmetrischen Schwingungsmode und nur den zweiten Erreger mit einem zweiten Erregersignal mit der Eigenfrequenz einer antisymmetrischen Schwingungsmode zu beaufschlagen.

Vibronischer Messaufnehmer zur Massedurchfluss- und Dichtemessung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen vibronischen Messaufnehmer zur Massedurchfluss- und Dichtemessung mit exzentrischer Anregung.

Die Dichte eines im Messrohr geführten Mediums wird mittels eines vibronischen
5 Messaufnehmers auf Basis der Eigenfrequenzen von Schwingungsmoden des Messrohrs ermittelt. Im Idealfall ist das Medium inkompressibel, sodass das Medium den Schwingungen des Messrohrs folgt. Wenn das Medium jedoch kompressibel wird, beispielweise aufgrund einer Gasbeladung des Mediums, können die Massedurchflussmessung und die Dichtemessung fehlerbehaftet sein, da das Medium beginnt, gegenüber dem Messrohr zu schwingen. Der Einfluss dieses so genannten
10 Resonatoreffekts kann durch Erfassen der Eigenfrequenzen zweier Schwingungsmoden korrigiert werden, wobei im Wesentlichen eine Schallgeschwindigkeit des Mediums ermittelt wird, für die sich aus den beiden Eigenfrequenzen übereinstimmende Dichtemesswerte für das Medium ergeben. Einzelheiten dazu sind beispielsweise in DE 10 2015 122 661 A1 offenbart. Üblicherweise werden hierzu die erste und zweite symmetrische Schwingungsmode angeregt, also die f_1 Mode und die f_3
15 Mode. Die Eigenfrequenz der zweiten symmetrischen Schwingungsmode f_3 kann aber bei manchen Messaufnehmern so hoch sein, dass sie im Bereich der Resonanzfrequenz des Mediums liegt, so dass eine stabile Anregung der zweiten symmetrischen Schwingungsmode nicht zuverlässig gewährleistet werden kann. In diesem Fall ist die erste antisymmetrische Schwingungsmode eine attraktive Alternative, da die Eigenfrequenz dieser Mode niedriger ist, und somit ein größerer
20 Abstand zur Resonanzfrequenz des Messrohrs zu erwarten ist.

Die noch unveröffentlichte Patentanmeldung DE 10 2020 123 999.8 offenbart eine vibronische Messanordnung mit einem einzigen, leicht exzentrisch angeordneten Erreger, der geeignet ist, neben den symmetrischen auch die antisymmetrischen Moden anzuregen. Dies erfüllt seinen Zweck, ist aber insofern problematisch, als Anregung auch der ersten symmetrischen
25 Schwingungsmode auch einen exzentrischen Anteil hat der einen insbesondere dämpfungsabhängigen Nullpunktfehler bei der Durchflussmessung bewirkt. Dieser Nullpunktfehler kann zwar ermittelt und in einer Korrektur berichtigt werden, aber das bedeutet zusätzlichen Aufwand und ggf. Kompromisse beim Betrieb des Messgerätes.

US 2003/0131669 A1 offenbart einen vibronischen Messaufnehmer mit zwei exzentrisch
30 angeordneten Erregeranordnungen, die mit großem Abstand zueinander symmetrisch bezüglich der Messrohrmitte positioniert sind. Die Auswahl der anzuregenden Moden erfolgt über die Frequenz und die Phasenbeziehung der Erregersignale, mit denen die beiden Erreger beaufschlagt werden. Abweichungen in der Phasenbeziehung bzw. ungleiche Amplituden der Erregersignale haben

zwingend die Anregung anderer, unerwünschter Moden zur Folge. Dies kann zu unerkannten Messfehlern führen.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, hier Abhilfe zu schaffen.

Der erfindungsgemäße vibronischer Messaufnehmer umfasst: einen Oszillator mit
5 mindestens einem ersten Messrohr zum Führen eines Mediums; mindestens eine elektrodynami-
sche Erregeranordnung zum Anregen des Oszillators zu Biegeschwingungen des mindestens einen
ersten Messrohrs; mindestens eine einlaufseitige Sensoranordnung zum Erfassen der Biege-
schwingungen des mindestens einen ersten Messrohrs; mindestens eine auslaufseitige
Sensoranordnung zum Erfassen der Biegeschwingungen des mindestens einen ersten Messrohrs;
10 und eine Mess- und Betriebsschaltung, welche dazu eingerichtet ist, die elektrodynamische Erreger-
anordnung mit mindestens einem Erregersignal zu beaufschlagen, und Sensorsignale der einlauf-
seitigen und auslaufseitigen Sensoranordnungen zu erfassen, und auf Basis der Sensorsignale
einen Dichtemesswert und/oder einen Massedurchflussratenmesswert zu ermitteln, wobei die
elektrodynamische Erregeranordnung eine erste Erregerbaugruppe aufweist, die an dem
15 mindestens einen ersten Messrohr befestigt ist, und eine zweite Erregerbaugruppe, bezüglich der
das mindestens eine erste Messrohr zum Schwingen anzuregen ist, wobei die erste
Erregerbaugruppe einen Schwerpunkt aufweist, der bis auf Fertigungstoleranzen in einer
Messrohrquerebene liegt, welche senkrecht zu dem mindestens einen ersten Messrohr verläuft, und
bezüglich welcher das mindestens eine erste Messrohr einen im Wesentlichen
20 spiegelsymmetrischen Verlauf aufweist; wobei die elektrodynamische Erregeranordnung einen
ersten elektrodynamischen Erreger umfasst, wobei die Erregeranordnung einen zweiten elektrody-
namischen Erreger und mindestens einen ersten Ausgleichsmassenkörper umfasst, wobei die erste
Erregerbaugruppe eine erste Komponente des ersten elektrodynamischen Erregers und eine erste
Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers und den ersten Ausgleichsmassenkörper
25 umfasst, wobei die zweite Erregerbaugruppe eine zweite Komponente des ersten elektro-
dynamischen Erregers und eine zweite Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers
umfasst, wobei der erste elektrodynamische Erreger dazu eingerichtet ist, eine Erregerkraft auf das
mindesten eine erste Messrohr auszuüben, die zwischen der ersten und der zweiten Komponente
des ersten elektrodynamischen Erregers wirkt, wobei ein effektives Zentrum der ersten Erregerkraft
30 in der Messrohrquerebene (EQ) lokalisiert ist, wobei der zweite elektrodynamische Erreger dazu
eingerichtet ist, eine zweite Erregerkraft auf das mindesten eine Messrohr auszuüben, die zwischen
der ersten und der zweiten Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers wirkt, wobei ein
effektives Zentrum der zweiten Erregerkraft außerhalb der Messrohrquerebene lokalisiert ist, wobei
die Mess- und Betriebsschaltung, dazu eingerichtet ist nur den ersten elektrodynamischen Erreger
35 mit einem ersten Erregersignal zu beaufschlagen, dessen Frequenz einer aktuellen Eigenfrequenz
einer symmetrischen Schwingungsmode des Oszillators entspricht, und wobei die Mess- und

Betriebsschaltung (70), dazu eingerichtet ist nur den zweiten elektrodynamischen Erreger mit einem zweiten Erregersignal zu beaufschlagen, dessen Frequenz einer aktuellen Eigenfrequenz einer antisymmetrischen Schwingungsmode des Oszillators entspricht.

Das effektive Zentrum der Erregerkraft liegt bei einem Erreger, der eine koaxiale Anordnung eines rotationssymmetrischen Magneten mit einer rotationssymmetrischen Spule aufweist, auf der gemeinsamen Achse der Rotationssymmetrie. Bei anderen Gestaltungen ist für einen elektromagnetischen Erreger das Zentrum der Erregerkraft als Schwerpunkt des Integrals der Kraftdichte zwischen Magnet und Spule zu ermitteln.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist die erste Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers einen ersten Schwerpunkt auf, wobei der erste Ausgleichsmassenkörper einen zweiten Schwerpunkt aufweist, wobei ein Abstand eines gemeinsamen Schwerpunkts des ersten Schwerpunkts und des zweiten Schwerpunkts von der Messrohrquerebene nicht mehr als 5%, insbesondere nicht mehr als 2% des Abstands des ersten Schwerpunkts vom zweiten Schwerpunkt beträgt.

In einer Weiterbildung der Erfindung beträgt die Gesamtmasse der ersten Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers und des ersten Ausgleichsmassenkörpers, nicht mehr als das Einfache, insbesondere nicht mehr als die Hälfte der Masse der ersten Komponente des ersten elektrodynamischen Erregers.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist das mindestens eine erste Messrohr eine freie Schwingungslänge auf, die sich zwischen einer einlaufseitigen Fixierung des Messrohrs und einer auslaufseitigen Fixierung des Messrohrs erstreckt, wobei das Zentrum der zweiten Erregerkraft FE2 nicht weniger als 1% der freien Schwingungslänge und nicht mehr als 10% der freien Schwingungslänge von der Messrohrquerebene (EQ) beabstandet ist.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist eine der Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers eine erste Erregerspule auf, wobei eine der Komponenten des zweiten elektrodynamischen Erregers eine zweite Erregerspule auf, wobei die Induktivität der ersten Erregerspule nicht weniger als das Doppelte, insbesondere nicht weniger als das Vierfache der Induktivität der zweiten Erregerspule beträgt.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist die andere der Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers einen ersten Magneten auf, wobei die andere Komponenten des zweiten elektrodynamischen Erregers einen zweiten Magneten umfasst, wobei eine orthogonale

Projektion des ersten Magneten und des zweiten Magneten auf eine Ebene die senkrecht zur Schwingungsrichtung des mindestens einen Messrohrs verläuft, jeweils mit einer orthogonalen Projektion der ersten Erregerspule bzw. der zweiten Erregerspule auf diese Ebene überlappt.

5 In einer Weiterbildung der Erfindung beträgt die Fläche der überlappenden orthogonalen Projektionen der Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers mindestens das Doppelte, beispielsweise mindestens das Dreifache und insbesondere mindestens das Vierfache der Fläche der überlappenden orthogonalen Projektionen der Komponenten des zweiten elektrodynamischen Erregers.

10 In einer Weiterbildung der Erfindung beträgt der Abstand des zweiten elektrodynamischen Erregers von der ihm nächsten Sensoranordnung nicht weniger als das Vierfache, insbesondere nicht weniger als das Achtfache des Abstands des zweiten elektrodynamischen Erregers von dem ersten elektrodynamischen Erreger.

In einer Weiterbildung der Erfindung verläuft eine Hauptträgheitsachse der ersten Erregerbaugruppe in der Messrohrquerebene (EQ).

15 In einer Weiterbildung der Erfindung ist die erste Erregerbaugruppe mittels einer Fügestelle an dem mindestens einen Messrohr befestigt, wobei die Messrohrquerebene (EQ), durch einen Schwerpunkt der Fügestelle verläuft.

20 In einer Weiterbildung der Erfindung weist die erste Erregerbaugruppe einen ersten Trägerkörper auf, an welchem die zweite Erregerspule und der mindestens eine erste Ausgleichsmassenkörper angeordnet sind, wobei der erste Trägerkörper symmetrisch bezüglich der Messrohrquerebene EQ ausgebildet ist.

25 In einer Weiterbildung der Erfindung weist der Oszillator weiterhin ein zweites Messrohr auf, wobei das erste Messrohr und das zweite Messrohr bezüglich einer Messaufnehmerlängsebene spiegelsymmetrisch zueinander verlaufen, wobei die Messaufnehmerlängsebene senkrecht zur Messrohrquerebene EQ verläuft.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist die zweite Erregerbaugruppe an dem zweiten Messrohr gegenüber der ersten Erregerbaugruppe befestigt, wobei der Schwerpunkt der zweiten Erregerbaugruppe bis auf Fertigungstoleranzen in der Messrohrquerebene EQ liegt.

30 In einer Weiterbildung der Erfindung verläuft eine Hauptträgheitsachse der zweiten Erregerbaugruppe in der Messrohrquerebene EQ.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist die zweite Erregerbaugruppe einen zweiten Trägerkörper auf, an welchem der zweite Magnet und ein zweiter Ausgleichsmassenkörper angeordnet sind, wobei der zweite Trägerkörper symmetrisch bezüglich der Messrohrquerebene EQ ausgebildet ist.

5 Wenn der Messaufnehmer nur ein einziges Messrohr umfasst, ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung die Erregerbaugruppe, welche die Magneten trägt, an dem Messrohr angeordnet, während die Erregerbaugruppe, welche die Spulen, trägt an einem vergleichsweise steifen Trägerrohr bzw. Rahmen des Messaufnehmers fixiert ist. Das Messrohr ist mit dieser Anordnung bezüglich des Trägerrohrs bzw. Rahmens zum Schwingen anzuregen. Auf diese Weise entfällt die
10 Verkabelung entlang des Messrohrs. Entsprechendes gilt für die Anordnung der Sensoren.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Mess- und Betriebsschaltung dazu eingerichtet, die erste symmetrische Schwingungsmode und die erste antisymmetrische Schwingungsmode anzuregen, die Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen Schwingungsmode und der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode auf Basis der Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen
15 Schwingungsmode und der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode einen Dichtemesswert oder Massedurchflussmesswert für ein in dem Messrohr geführtes Medium zu ermitteln, wobei der Dichtemesswert bzw. der Massedurchflussmesswert hinsichtlich eines Resonatoreffekts, aufgrund einer Gasbeladung des Mediums korrigiert ist.

Die Erfindung wird nun anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele
20 näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1a: eine Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen
Messaufnehmers;

Fig. 1b: eine schematische Seitenansicht einer ersten Erregerbaugruppe des
25 Messaufnehmers aus Fig. 1a aus Richtung der zweiten Erregerbaugruppe betrachtet;

Fig. 1c: eine schematische Seitenansicht einer zweiten Erregerbaugruppe des
Messaufnehmers aus Fig. 1a aus Richtung der ersten Erregerbaugruppe betrachtet;

Fig. 2: ein Diagramm zu den Schwingungsmoden eines Messaufnehmers; und

Fig. 3: ein Flussdiagramm zur Bestimmung der Dichte und des Massendurchflusses eines
30 kompressiblen Mediums mit dem erfindungsgemäßen Messaufnehmer.

Der in Fig. 1a dargestellte Messaufnehmer 1 zum Messen von Massedurchfluss und Dichte umfasst einen Oszillator 10 mit zwei im Wesentlichen parallel verlaufenden, gebogenen Messrohren 10.1, 10.2 sowie eine Erregeranordnung 11, die zwischen den Messrohren 10 wirkt, um diese zu Biegeschwingungen gegeneinander anzuregen. Weiterhin weist der Messaufnehmer 1 zwei

5 Sensoranordnungen 12a, 12b auf, welche symmetrisch, zur Messrohrquerebene angeordnet sind, um die Messrohrschwingungen als Relativbewegung der gegeneinander schwingenden Messrohre 10.1, 10.2 zu erfassen. Die Messrohre 10.1, 10.2 erstrecken sich zwischen zwei (nicht dargestellten) Strömungsteilern, welche die Messrohre 10.1, 10.2 strömungstechnisch zusammenfassen und jeweils mit einem Flansch 30a, 30b verbunden sind, der zum Einbau des Messaufnehmers 1 in eine

10 Rohrleitung dient. Die Messrohre 10.1, 10.2 sind zudem einlaufseitig und auslaufseitig mit jeweils mindestens einer Koppelplatte 13a, 13b miteinander verbunden, wobei durch die Koppelplatten die 13a, 13b die freie Schwingungslänge l der Messrohre 10.1, 10.2 definiert ist. Zwischen den Strömungsteilern erstreckt sich ein starres Trägerrohr 60, welches die Strömungsteiler miteinander verbindet, um Schwingungen der Strömungsteiler gegeneinander im Frequenzbereich der Biege-

15 schwingungsmoden des Oszillators 10 gegeneinander zu unterdrücken. Das Trägerrohr 60 trägt weiterhin ein hier nur schematisch dargestelltes Elektronikgehäuse 80, in welchem ein Mess- und Betriebsschaltung 70 enthalten ist, welche dazu eingerichtet ist den Messaufnehmer zu betreiben und das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

Die Erregeranordnung 11 ist so an den Messrohren 10.1, 10.2 angeordnet, dass der

20 Masseschwerpunkt der Erregerbaugruppe insgesamt in einer Messrohrquerebene EQ liegt, welche die Messrohre senkrecht schneidet, und bezüglich welcher jedes der Messrohre einen spiegel-symmetrischen Verlauf aufweist. Die Erregeranordnung umfasst einen ersten elektrodynamischen Erreger 15, dessen Erregerkraft symmetrisch zur Messrohrquerebene zwischen den Messrohren wirkt, um symmetrische Biegeschwingungsmoden der Messrohre 10.1, 10.2 anzuregen. Weiterhin

25 umfasst die Erregeranordnung einen zweiten elektrodynamischen Erreger 18, dessen Erregerkraft parallel zur Messrohrquerebene und etwa 5% in Längsrichtung der Messrohre versetzt zur Messrohrquerebene zwischen den Messrohren wirkt, um antisymmetrische Biege-

schwingungsmoden der Messrohre 10.1, 10.2 anzuregen. Zudem weist die Erregeranordnung eine Ausgleichsmasse 19, zum Ausgleich der Masse des zweiten elektrodynamischen Erregers 18, um

30 den Masseschwerpunkt der Erregeranordnung in der Messrohrquerebene zu halten.

Einzelheiten zur Erregeranordnung 11 werden nun anhand der Fign. 1b und 1c erläutert.

Der Erregeranordnung 11 und die Sensoranordnungen 12a, 12b weisen wie üblich elektrodynamische Wandler auf, wobei für die Wandler an einem der Messrohre jeweils ein Magnet angeordnet ist und an dem anderen eine Spule. Dies Prinzip ist an sich bekannt und braucht hier

35 nicht näher erläutert zu werden. Die Besonderheit des erfindungsgemäßen Messaufnehmers liegt

darin, dass die Erregeranordnung 11 neben der Anregung symmetrischer Biegeschwingungsmoden auch eine Anregung antisymmetrischer Biegeschwingungsmoden des Oszillators bzw. seiner Messrohre ermöglicht und dennoch hinsichtlich ihrer Masseverteilung ausbalanciert ist. Die Erregeranordnung 11 umfasst dazu eine erste Erregerbaugruppe 11.1 an einem ersten Messrohr 10.1, wie in Fig. 1b dargestellt ist, und eine zweite Erregerbaugruppe 11.2, die der ersten Erregerbaugruppe 11.1 gegenüberliegend an einem zweiten Messrohr 10.2 angeordnet ist, wie Fig. 1c zeigt.

Die in Fig. 1b dargestellte erste Erregerbaugruppe 11.1 umfasst ein erstes Ringsegment 14.1 welches das erste Messrohr 10.1 symmetrisch zur Messrohrquerebene teilweise umgreift und mit dem ersten Messrohr 10.1 stoffschlüssig gefügt ist, beispielsweise durch Hartlöten. Das erste Ringsegment 14.1 hält einen insbesondere planaren ersten Trägerkörper 16.1, der im Wesentlichen senkrecht zur Messrohrquerebene verläuft, und symmetrisch zur Messrohrquerebene gestaltet ist. Der erste Trägerkörper 16.1 weist einen geschlitzten ersten Erregerkomponententräger 16.1.1 und einen geschlitzten ersten Ausgleichsmassenträger 16.1.2 auf und trägt in seinem Zentrum eine erste Erregerspule 15.1 des ersten Elektrodynamischen Erregers 15. Der erste Erregerkomponententräger 16.1.1 trägt eine zweite Erregerspule 18.1 des zweiten elektrodynamischen Erregers 18, die mittels eines Zapfens, der in einem Schlitz des ersten Erregerkomponententrägers 16.1.1 eingreift, positioniert und beispielsweise durch Löten, Kleben oder Schrauben an letzterem fixiert ist. Der erste Ausgleichsmassenträger 16.1.2 trägt einen ersten Ausgleichsmassenkörper 19.1, der mittels eines Zapfens, der in einem Schlitz des ersten Ausgleichsmassenträgers 16.1.2 eingreift, positioniert und beispielsweise durch Löten, Kleben oder Schrauben an letzterem fixiert ist. Der erste Ausgleichsmassenkörper 19.1 ist so auf die Masse der zweiten Erregerspule 18.1 abgestimmt, dass der gemeinsame Schwerpunkt in der Messrohrquerebene liegt. Insbesondere weisen der erste Ausgleichsmassenkörper 19.1 und die zweite Erregerspule 18.1 die gleiche Masse auf. Eine Hauptträgheitsachse der ersten Erregerbaugruppe 11.1 verläuft in der Messrohrquerebene EQ.

Die in Fig. 1c dargestellte zweite Erregerbaugruppe 11.2 umfasst ein zweites Ringsegment 14.2 welches das zweite Messrohr 10.2 symmetrisch zur Messrohrquerebene teilweise umgreift und mit dem zweiten Messrohr 10.2 stoffschlüssig gefügt ist, beispielsweise durch Hartlöten. Das zweite Ringsegment 14.2 hält einen insbesondere planaren zweiten Trägerkörper 16.2, der im Wesentlichen senkrecht zur Messrohrquerebene verläuft, und symmetrisch zur Messrohrquerebene gestaltet ist. Der zweite Trägerkörper 16.2 weist einen geschlitzten zweiten Erregerkomponententräger 16.2.1 und einen geschlitzten zweiten Ausgleichsmassenträger 16.2.2 auf und trägt in seinem Zentrum einen ersten Erregermagneten 15.2 des ersten Elektrodynamischen Erregers 15. Der zweite Erregerkomponententräger 16.2.1 trägt einen zweiten Erregermagneten 18.2 des zweiten elektrodynamischen Erregers 18, der mittels eines Zapfens, der in einem Schlitz des zweiten Erregerkomponententrägers 16.2.1 eingreift, positioniert und beispielsweise durch Löten, Kleben oder Schrauben an letzterem fixiert ist. Der zweite Ausgleichsmassenträger 16.2.2

trägt einen zweiten Ausgleichsmassenkörper 19.2, der mittels eines Zapfens, der in einem Schlitz des zweiten Ausgleichsmassenträgers 16.2.2 eingreift, positioniert und beispielsweise durch Löten, Kleben oder Schrauben an letzterem fixiert ist. Der zweite Ausgleichsmassenkörper 19.2 ist so auf die Masse des zweiten Erregermagneten 18.2 abgestimmt, dass der gemeinsame Schwerpunkt in der Messrohrquerebene EQ liegt. Insbesondere weisen der zweite Ausgleichsmassenkörper 19.2 und der zweite Erregermagnet 18.2 die gleiche Masse auf. Eine Hauptträgheitsachse der zweiten Erregerbaugruppe 11.2 verläuft in der Messrohrquerebene EQ.

Das zweite Ringsegment 14.2 ist insbesondere baugleich mit dem ersten Ringsegment 14.1 und der zweite Trägerkörper 16.2 ist insbesondere baugleich mit dem ersten Trägerkörper 16.1.

Die Hauptträgheitsachsen der ersten Erregerbaugruppe 11.1 und der zweiten Erregerbaugruppe 11.2 in der Messrohrquerebene verlaufen parallel zueinander und insbesondere spiegelsymmetrisch zueinander bezüglich einer Messaufnehmerlängsebene die zwischen den beiden Messrohren 10.1, 10.2 verläuft, wobei die beiden Messrohre bezüglich der Messaufnehmerlängsebene zueinander spiegelsymmetrisch angeordnet sind.

Die erste Erregerspule 15.1 und die zweite Erregerspule 18.1 sind jeweils dazu eingerichtet, von der Mess- und Betriebsschaltung 70 mit einem für die Erregerspule spezifischen Wechselstromsignal gespeist zu werden, dessen Frequenz der momentanen Eigenfrequenz einer anzuregenden Biegeschwingungsmoden entspricht. Für die erste Erregerspule 15.1 sind dies die Frequenzen der symmetrischen Biegeschwingungsmoden und für zweite Erregerspule 18.1 sind dies die Frequenzen der antisymmetrischen Biegeschwingungsmoden. Selbstverständlich können auch Wechselstromsignale verschiedener Frequenzen der jeweiligen Symmetrieklasse überlagert werden, beispielsweise mit den momentanen Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen und der zweiten symmetrischen Biegeschwingungsmoden für die erste Erregerspule 15.1 und mit den momentanen Eigenfrequenzen der ersten antisymmetrischen Biegeschwingungsmoden und der zweiten antisymmetrischen Biegeschwingungsmoden für die zweite Erregerspule 18.1. Die resultierenden Magnetfelder bewirken alternierende anziehende und abstoßende Kräfte auf jeweils den Erregermagnetent 15.2 18.2, welcher der felderzeugenden Erregerspule gegenüberliegt, wodurch die beiden Messrohre 10.1, 10.2 des Oszillators gegeneinander in Schwingungen versetzt werden, in den selektierten Biegeschwingungsmoden.

Die Erregermagneten 15.2, 18.2 und die Erregerspulen 15.1, 18.1 sowie die beiden Ausgleichsmassenkörper 19.1, 19.2 sind vorzugsweise rotationssymmetrisch gestaltet, wobei die Rotationsachse im Wesentlichen in Richtung der Schwingungen der Messrohre verläuft. Insbesondere weisen die Erregermagneten 15.2, 18.2, die Erregerspulen 15.1, 18.1, sowie die beiden Ausgleichsmassenkörper 19.1, 19.2 zumindest abschnittsweise ein Zylindersymmetrie auf.

Die modenabhängige Auslenkung eines Messrohrs ist in Fig. 2 schematisch dargestellt. Hierbei zeigt die Kurve $a(f_1)$ die Biegelinie eines Messrohrs für die erste symmetrische Schwingungsmode, die auch Antriebsmode oder f_1 -Mode genannt wird. Die Kurve $a(f_2)$ zeigt die Biegelinie des Messrohrs für die erste antisymmetrische Schwingungsmode, in der das Messrohr durch die Corioliskräfte ausgelenkt wird, wenn durch das mit der ersten symmetrischen Schwingungsmode schwingende Messrohr ein Massestrom fließt. Die erste antisymmetrische Schwingungsmode weist in Längsrichtung des Messrohrs in der Rohrmitte bei $z=0$ einen Schwingungsknoten auf. Ein Erreger an dieser Position wäre nicht in der Lage eine Schwingung der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode anzuregen. Daher ist der zweite elektrodynamische Erreger 18 hier so positioniert, dass seine Erregerkraft F_{E2} um etwa um 2,5% der Messrohrlänge also etwa 5% der halben Messrohrlänge gegenüber der Messrohrquerebene versetzt zwischen den Messrohren wirkt. Die Messrohrlänge ist hierbei die Länge einer dem gebogenen Verlauf eines Messrohrs folgenden Messrohrmitte zwischen den in Fig. 1a dargestellten Koppelplatten 13a, 13b. In der versetzten Position kann der zweite elektrodynamische Erreger 18 die erste antisymmetrische Schwingungsmode anregen, wenn er eine Erregerkraft F_{E2} mit der Resonanzfrequenz der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode aufprägt.

Die erste antisymmetrische Schwingungsmode muss nur so weit angeregt werden, dass der Wert ihrer Eigenfrequenz ermittelt werden kann, was bereits bei einer minimalen Schwingungsamplitude möglich ist. Daher kann der zweite elektrodynamische Erreger 18 viel kleiner und leichter dimensioniert sein als der erste elektrodynamische Erreger 15, mit welchem die erste symmetrische Biegeschwingungsmode, also die so genannte Biegeschwingungsnutzmode anzuregen ist.

Die Positionen der Sensoranordnungen 12a, 12b sind in Längsrichtung z symmetrisch zur Messrohrmitte der Messrohre so gewählt, dass Auslenkungen der Schwingungssensoren sowohl bei Schwingungen in der Antriebsmode als auch der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode ein ausreichendes Messsignal bewirken.

Die Mess- und Betriebsschaltung ist dazu eingerichtet, die erste symmetrische Schwingungsmode und die erste antisymmetrische Schwingungsmode durch speisen der jeweils zugehörigen Erregerpule mit einem Erregerstrom anzuregen, die Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen Schwingungsmode und der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode auf Basis der Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen Schwingungsmode und der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode einen Dichtemesswert oder Massedurchflussmesswert für ein in dem Messrohr geführtes Medium zu ermitteln, wobei der Dichtemesswert bzw. der Massedurchflussmesswert hinsichtlich eines Resonatoreffekts, aufgrund einer Gasbeladung des Mediums korrigiert ist. Der Einfluss dieses so genannten Resonatoreffekts kann durch Erfassen der

Eigenfrequenzen zweier Schwingungsmoden korrigiert werden, wobei im Wesentlichen eine Schallgeschwindigkeit des Mediums ermittelt wird, für die sich aus den beiden Eigenfrequenzen übereinstimmende Dichtemesswerte für das Medium ergeben. Einzelheiten dazu sind beispielsweise in DE 10 2015 122 661 A1 offenbart, wobei nach der dort beschriebenen Lehre die erste und zweite symmetrische Schwingungsmoden auszuwerten sind. Anhand von Fig. 3 wird nun das Verfahren 100 erläutert, zu dessen Durchführung die Mess- und Betriebsschaltung eingerichtet ist. In einem ersten Schritt 110 werden die erste symmetrische und die erste antisymmetrische Schwingungsmoden angeregt, also die f_1 Mode und die f_2 Mode. In einem zweiten Schritt 120 wird auf Basis der Eigenfrequenzen der angeregten Moden jeweils ein vorläufiger Dichtemesswert ρ_1, ρ_2 , ermittelt. Bei inkompressiblen Medien stimmen die beiden Dichtemesswerte im Wesentlichen überein. Wenn Abweichungen gegeben sind, wird im nächsten Schritt 130 ein Korrekturfaktor bestimmt, der von der Schallgeschwindigkeit des kompressiblen Mediums abhängt. Dem entsprechend wird, wie in DE 10 2015 122 661 A1 offenbart, zunächst die Schallgeschwindigkeit ermittelt, die zu dem beobachteten Verhältnis der vorläufigen Dichtemesswerte führt. Auf Basis der Schallgeschwindigkeit, und einer der Eigenfrequenzen kann dann ein Dichtefehler und ein Korrekturfaktor ermittelt werden, mit dem dann im nächsten Schritt 140 ein korrigierter Dichtemesswert ρ_{kor} bestimmt wird.

Zur Bereitstellung eines korrekten Massedurchflussratenmesswerts wird zunächst ein vorläufiger Massedurchflussratenmesswert bestimmt 150. In einem nächsten Schritt 160 wird auf Basis des Dichtefehlers bzw. Dichtekorrekturfaktors ein Durchflusskorrekturfaktor ermittelt, wie ebenfalls in DE 10 2015 122 661 A1 offenbart ist. In einem letzten Schritt 170 wird ein korrekter Massedurchflussratenmesswert ermittelt, in dem der vorläufige Massedurchflussratenmesswert mit dem Korrekturfaktor korrigiert wird.

Patentansprüche

1. Vibronischer Messaufnehmer (1), umfassend:

einen Oszillator (10) mit mindestens einem ersten Messrohr (10.1, 10,2) zum Führen eines Mediums;

5 mindestens eine elektrodynamische Erregeranordnung (11) zum Anregen des Oszillators (10) zu Biegeschwingungen des mindestens einen ersten Messrohrs (10.1, 10,2);

mindestens eine einlaufseitige Sensoranordnung (12a) zum Erfassen der Biegeschwingungen des mindestens einen ersten Messrohrs (10.1, 10,2);

10 mindestens eine auslaufseitige Sensoranordnung (12b) zum Erfassen der Biegeschwingungen des mindestens einen ersten Messrohrs (10.1, 10,2); und

eine Mess- und Betriebsschaltung (70), welche dazu eingerichtet ist, die elektrodynamische Erregeranordnung (11) mit mindestens einem Erregersignal zu beaufschlagen, und Sensorsignale der einlaufseitigen und auslaufseitigen Sensoranordnungen (12a, 12b) zu erfassen, und auf Basis der Sensorsignale einen Dichtemesswert und/oder einen Massedurchflussratenmesswert zu
15 ermitteln,

wobei die elektrodynamische Erregeranordnung eine erste Erregerbaugruppe (11.1, 11.2) aufweist, die an dem mindestens einen ersten Messrohr (10.1, 10.2) befestigt ist, und eine zweite Erregerbaugruppe (11.2), bezüglich der das mindestens eine erste Messrohr zum Schwingen anzuregen ist, wobei die erste Erregerbaugruppe (11.1, 11.2) einen Schwerpunkt aufweist, der bis
20 auf Fertigungstoleranzen in einer Messrohrquerebene (EQ) liegt, welche senkrecht zu dem mindestens einen ersten Messrohr (10.1, 10.2) verläuft, und bezüglich welcher das mindestens eine erste Messrohr (10.1, 10.2) einen im Wesentlichen spiegelsymmetrischen Verlauf aufweist;

wobei die elektrodynamische Erregeranordnung (11) einen ersten elektrodynamischen Erreger (15) umfasst,

25 wobei die Erregeranordnung (11) einen zweiten elektrodynamischen Erreger (18) und mindestens einen ersten Ausgleichsmassenkörper (19.1, 19.2) umfasst,

wobei die erste Erregerbaugruppe eine erste Komponente des ersten elektrodynamischen Erregers und eine erste Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers und den ersten Ausgleichsmassenkörper umfasst,

wobei die zweite Erregerbaugruppe eine zweite Komponente des ersten elektrodynamischen Erregers und eine zweite Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers umfasst,

wobei der erste elektrodynamische Erreger (18) dazu eingerichtet ist, eine Erregerkraft (FE1) auf das mindesten eine erste Messrohr (10.1, 10.2) auszuüben, die zwischen der ersten und der zweiten Komponente des ersten elektrodynamischen Erregers wirkt, wobei ein effektives Zentrum der ersten Erregerkraft (FE1) in der Messrohrquerebene (EQ) lokalisiert ist,

wobei der zweite elektrodynamische Erreger dazu eingerichtet ist, eine zweite Erregerkraft (FE2) auf das mindesten eine Messrohr (10.1, 10.2) auszuüben, die zwischen der ersten und der zweiten Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers wirkt, wobei ein effektives Zentrum der zweiten Erregerkraft (FE2) außerhalb der Messrohrquerebene (EQ) lokalisiert ist,

wobei die Mess- und Betriebsschaltung (70), dazu eingerichtet ist nur den ersten elektrodynamischen Erreger mit einem ersten Erregersignal zu beaufschlagen, dessen Frequenz einer aktuellen Eigenfrequenz einer symmetrischen Schwingungsmode des Oszillators entspricht, und

wobei die Mess- und Betriebsschaltung (70), dazu eingerichtet ist nur den zweiten elektrodynamischen Erreger mit einem zweiten Erregersignal zu beaufschlagen, dessen Frequenz einer aktuellen Eigenfrequenz einer antisymmetrischen Schwingungsmode des Oszillators entspricht.

2. Messaufnehmer (1) nach Anspruch 1, wobei die erste Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers einen ersten Schwerpunkt aufweist, wobei der erste Ausgleichsmassenkörper einen zweiten Schwerpunkt aufweist, wobei ein Abstand eines gemeinsamen Schwerpunkts des ersten Schwerpunkts und des zweiten Schwerpunkts von der Messrohrquerebene nicht mehr als 5%, insbesondere nicht mehr als 2% des Abstands des ersten Schwerpunkts vom zweiten Schwerpunkt beträgt.

3. Messaufnehmer (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die gemeinsame Masse der ersten Komponente des zweiten elektrodynamischen Erregers und des ersten Ausgleichsmassenkörpers, nicht mehr als das Einfache, insbesondere nicht mehr als die Hälfte der Masse der ersten Komponente des ersten elektrodynamischen Erregers bezogen auf die Symmetrieachse der antisymmetrischen Schwingungsmode beträgt.

4. Messaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das mindestens eine erste Messrohr (10.1, 10.2) eine freie Schwingungslänge aufweist, die sich zwischen einer einlaufseitigen Fixierung des Messrohrs und einer auslaufseitigen Fixierung des Messrohrs (10.1, 10.2) erstreckt, wobei das Zentrum der zweiten Erregerkraft FE2 nicht weniger als 1% der freien Schwingungslänge und nicht mehr als 10% der freien Schwingungslänge von der Messrohrquerebene (EQ) beabstandet ist.

5. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine der Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers (15) eine erste Erregerspule (15.1) aufweist, und wobei eine der Komponenten des zweiten elektrodynamischen Erregers (18) eine zweite Erregerspule (18.1) aufweist, wobei die Induktivität der ersten Erregerspule (15.1) nicht weniger als das Doppelte, insbesondere nicht weniger als das Vierfache der Induktivität der zweiten Erregerspule (18.1) beträgt.

6. Messaufnehmer (1) nach Anspruch 3, wobei die andere der Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers (15) einen ersten Magneten (15.2) aufweist, und wobei die andere Komponenten des zweiten elektrodynamischen Erregers (18) einen zweiten Magneten (18.2) umfasst, wobei eine orthogonale Projektion des ersten Magneten (15.2) und des zweiten Magneten (18.2) auf eine Ebene die senkrecht zur Schwingungsrichtung des mindestens einen Messrohrs verläuft, jeweils mit einer orthogonalen Projektion der ersten Erregerspule (15.1) bzw. der zweiten Erregerspule (18.1) auf diese Ebene überlappt.

7. Messaufnehmer (1) nach Anspruch 4, wobei die Fläche der überlappenden orthogonalen Projektionen der Komponenten des ersten elektrodynamischen Erregers mindestens das Doppelte, beispielsweise mindestens das Dreifache und insbesondere mindestens das Vierfache der Fläche der überlappenden orthogonalen Projektionen der Komponenten des zweiten elektrodynamischen Erregers beträgt.

8. Messaufnehmer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand des zweiten elektrodynamischen Erregers von der ihm nächsten Sensoranordnung nicht weniger als das Vierfache, insbesondere nicht weniger als das Achtfache des Abstands des zweiten elektrodynamischen Erregers von dem ersten elektrodynamischen Erreger beträgt.

9. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Hauptträgheitsachse der ersten Erregerbaugruppe (11.1) in der Messrohrquerebene (EQ) verläuft.

5 10. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die erste Erregerbaugruppe (11.1) mittels einer Fügestelle an dem mindestens einen Messrohr (10.1) befestigt ist, wobei die Messrohrquerebene (EQ), durch einen Schwerpunkt der Fügestelle verläuft.

10 11. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Erregerbaugruppe (11.1) einen ersten Trägerkörper (16.1) aufweist, an welchem die zweite Erregerpule (18.1) und der mindestens eine erste Ausgleichsmassenkörper (19.1) angeordnet sind, wobei der erste Trägerkörper (16.1) symmetrisch bezüglich der Messrohrquerebene (EQ) ausgebildet ist.

15 12. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Oszillator (10) weiterhin ein zweites Messrohr (10.2) aufweist, wobei das erste Messrohr (10.1) und das zweite Messrohr (10.2) bezüglich einer Messaufnehmerlängsebene spiegelsymmetrisch zueinander verlaufen, wobei die Messaufnehmerlängsebene senkrecht zur Messrohrquerebene (EQ) verläuft.

20

13. Messaufnehmer (1) nach Anspruch 12, wobei die zweite Erregerbaugruppe (11.2) an dem zweiten Messrohr (10.2) gegenüber der ersten Erregerbaugruppe (11.1) befestigt ist, wobei der Schwerpunkt der zweiten Erregerbaugruppe (11.2) bis auf Fertigungstoleranzen in der Messrohrquerebene (EQ) liegt.

25

14. Messaufnehmer (1) nach Anspruch 12 oder 13, wobei eine Hauptträgheitsachse der zweiten Erregerbaugruppe (11.2) in der Messrohrquerebene (EQ) verläuft.

15. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Erregerbaugruppe (11.2) einen zweiten Trägerkörper (16.2) aufweist, an welchem der zweite Magnet (18.2) und ein zweiter Ausgleichsmassenkörper (19.2) angeordnet sind, wobei der zweite Trägerkörper (16.2) symmetrisch bezüglich der Messrohrquerebene (EQ) ausgebildet ist.

5

16. Messaufnehmer (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Mess- und Betriebsschaltung (70) dazu eingerichtet ist, die erste symmetrische Schwingungsmode und die erste antisymmetrische Schwingungsmode anzuregen, die Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen Schwingungsmode und der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode auf Basis
10 der Eigenfrequenzen der ersten symmetrischen Schwingungsmode und der ersten antisymmetrischen Schwingungsmode einen Dichtemesswert oder Massedurchflussmesswert für ein in dem Messrohr geführtes Medium zu ermitteln, wobei der Dichtemesswert bzw. der Massedurchflussmesswert hinsichtlich eines Resonatoreffekts, aufgrund einer Gasbeladung des Mediums korrigiert ist.

15

1/2

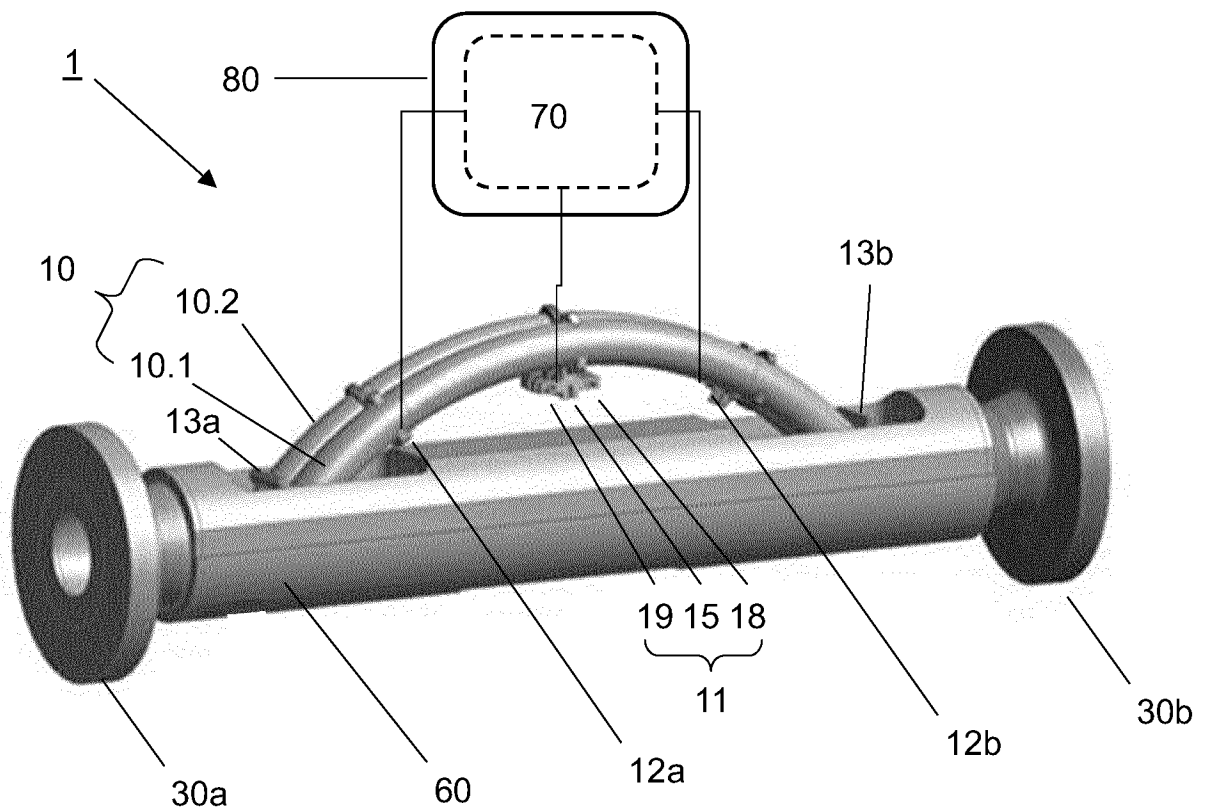


FIG. 1a

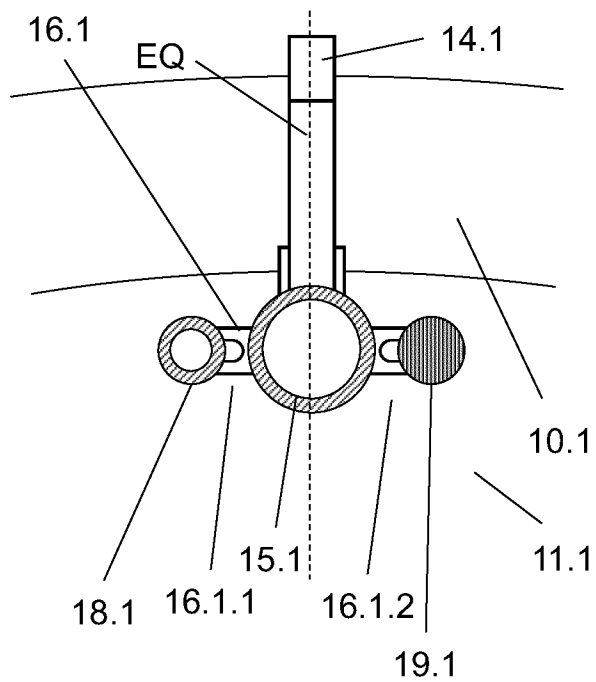


FIG. 1b

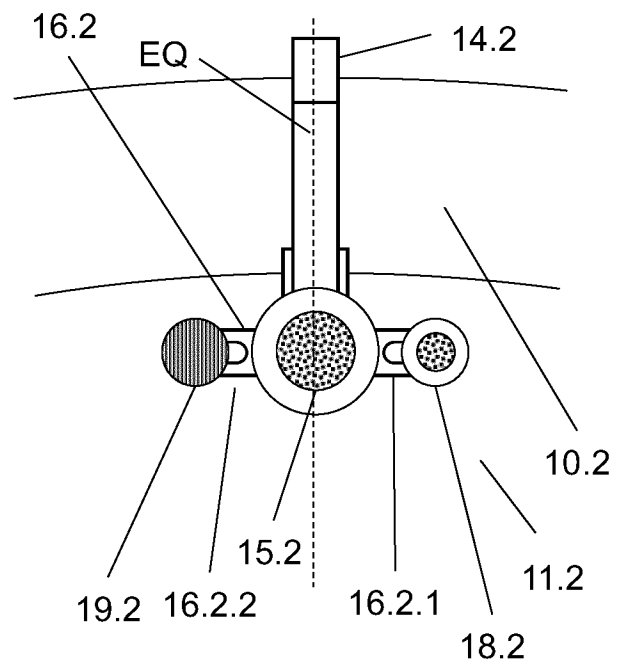
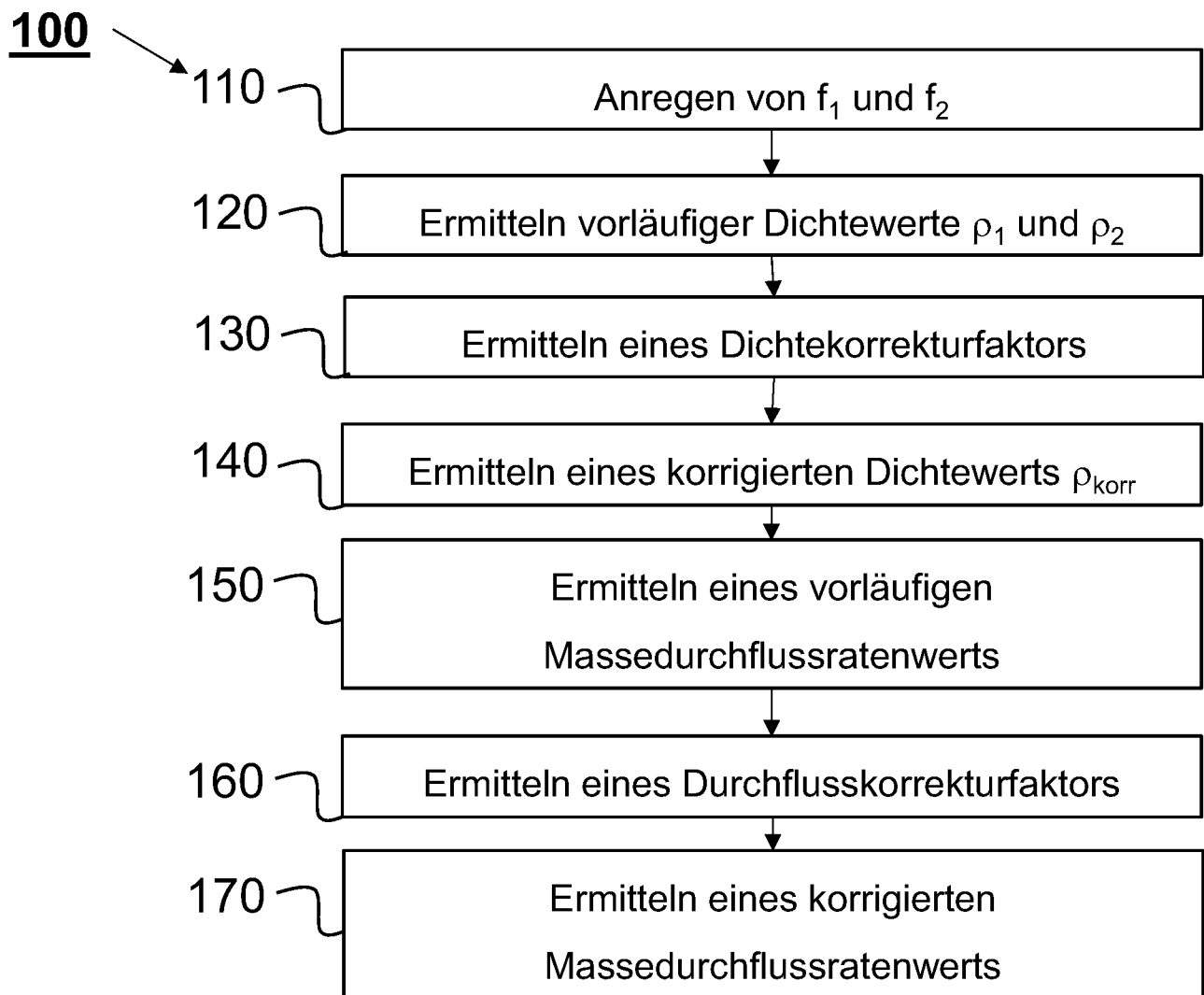
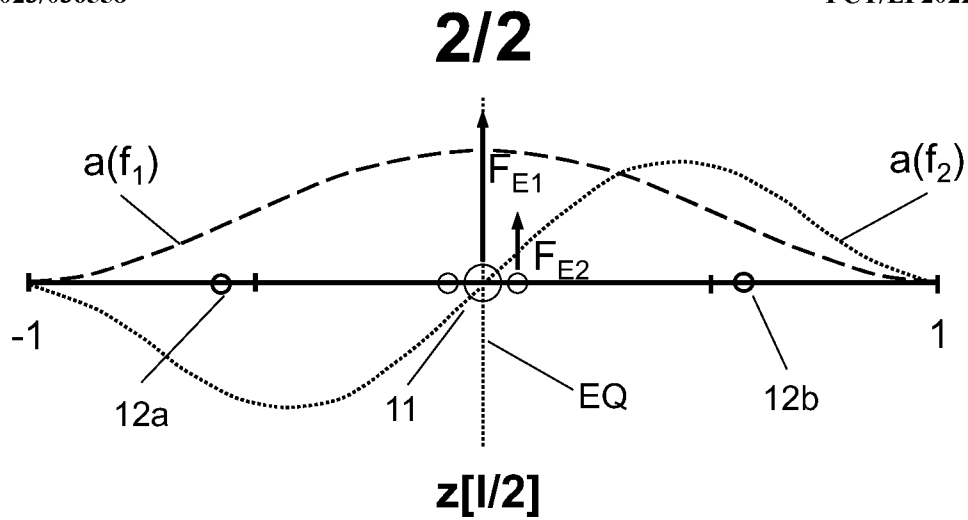


FIG. 1c



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/072689

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01F 1/84**(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.
A	US 2015377673 A1 (SEELEY CHARLES ERKLIN [US] ET AL) 31 December 2015 (2015-12-31) figure 1 paragraph [0001] - paragraph [0003] paragraph [0015]	1-16
A	EP 0919793 A2 (FOXBORO CO [US]) 02 June 1999 (1999-06-02) figure 2a paragraph [0091]	1-16
A	DE 102015221350 A1 (INVENSYS SYS INC [US]) 04 May 2016 (2016-05-04) figure 1 paragraph [0033]	1-16
A	DE 102017012058 A1 (FLOWTEC AG [CH]) 04 July 2019 (2019-07-04) figure 1 paragraph [0008]	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

14 November 2022

Date of mailing of the international search report

30 November 2022

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

Nierhaus, Thomas

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/072689

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2015377673	A1	31 December 2015	NONE	
EP	0919793	A2	02 June 1999	DE 98309694 T1	30 September 2004
				EP 0919793 A2	02 June 1999
				JP 2000018995 A	21 January 2000
				JP 2007248479 A	27 September 2007
				US 6311136 B1	30 October 2001
				US 2002019710 A1	14 February 2002
				US 2002038186 A1	28 March 2002
				US 2004031328 A1	19 February 2004
				US 2005209794 A1	22 September 2005
				US 2007124090 A1	31 May 2007
				US 2010107778 A1	06 May 2010
DE	102015221350	A1	04 May 2016	CN 105698903 A	22 June 2016
				DE 102015221350 A1	04 May 2016
				US 2016123792 A1	05 May 2016
				US 2017248461 A1	31 August 2017
DE	102017012058	A1	04 July 2019	CN 111492210 A	04 August 2020
				DE 102017012058 A1	04 July 2019
				EP 3732448 A1	04 November 2020
				US 2020340841 A1	29 October 2020
				WO 2019129522 A1	04 July 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**INV. G01F1/84****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.
A	US 2015/377673 A1 (SEELEY CHARLES ERKLIN [US] ET AL) 31. Dezember 2015 (2015-12-31) Abbildung 1 Absatz [0001] – Absatz [0003] Absatz [0015] -----	1-16
A	EP 0 919 793 A2 (FOXBORO CO [US]) 2. Juni 1999 (1999-06-02) Abbildung 2a Absatz [0091] -----	1-16
A	DE 10 2015 221350 A1 (INVENSYS SYS INC [US]) 4. Mai 2016 (2016-05-04) Abbildung 1 Absatz [0033] ----- -/-	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

14. November 2022

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/11/2022

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

Nierhaus, Thomas

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2017 012058 A1 (FLOWTEC AG [CH]) 4. Juli 2019 (2019-07-04) Abbildung 1 Absatz [0008] -----	1-16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/072689

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015377673 A1	31-12-2015	KEINE	
EP 0919793 A2	02-06-1999	DE 98309694 T1	30-09-2004
		EP 0919793 A2	02-06-1999
		JP 2000018995 A	21-01-2000
		JP 2007248479 A	27-09-2007
		US 6311136 B1	30-10-2001
		US 2002019710 A1	14-02-2002
		US 2002038186 A1	28-03-2002
		US 2004031328 A1	19-02-2004
		US 2005209794 A1	22-09-2005
		US 2007124090 A1	31-05-2007
		US 2010107778 A1	06-05-2010
DE 102015221350 A1	04-05-2016	CN 105698903 A	22-06-2016
		DE 102015221350 A1	04-05-2016
		US 2016123792 A1	05-05-2016
		US 2017248461 A1	31-08-2017
DE 102017012058 A1	04-07-2019	CN 111492210 A	04-08-2020
		DE 102017012058 A1	04-07-2019
		EP 3732448 A1	04-11-2020
		US 2020340841 A1	29-10-2020
		WO 2019129522 A1	04-07-2019