

(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
26. Januar 2017 (26.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/012811 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01F 1/32 (2006.01) *G01F 1/40* (2006.01)
G01F 1/36 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/064372
- (22) Internationales Anmeldedatum:
22. Juni 2016 (22.06.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 111 642.1 17. Juli 2015 (17.07.2015) DE
- (71) Anmelder: **ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG** [CH/CH]; Kägenstr. 7, 4153 Reinach (CH).
- (72) Erfinder: **KUMAR, Vivek**; Spitzwaldstr. 42, 4123 Allschwil (CH). **HOLLMACH, Marc**; Lothringer Strasse 31, 4056 Basel (CH).
- (74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; Colmarer Str. 6, Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FLOWMETER BASED ON THE VORTEX FLOW MEASUREMENT PRINCIPLE

(54) Bezeichnung : DURCHFLUSSMESSGERÄT NACH DEM WIRBELZÄHLERPRINZIP

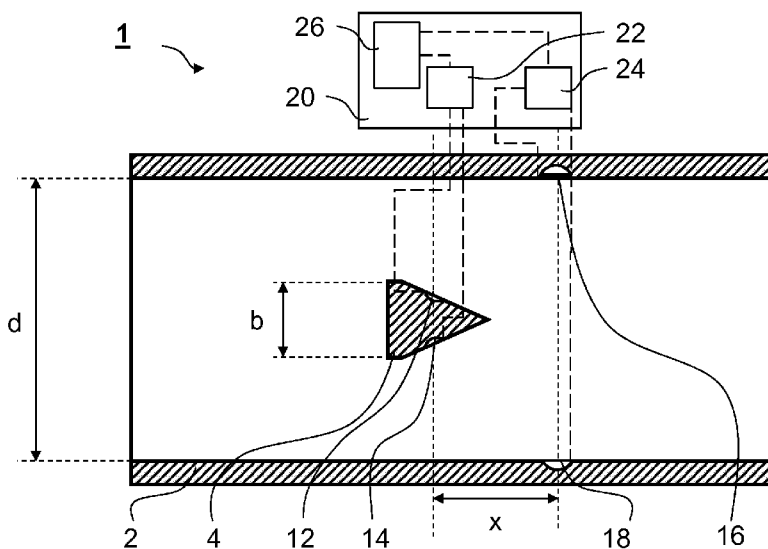


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a flowmeter (1) based on the vortex flow measurement principle, comprising: a measuring tube (2); a bluff body (4) in the measuring tube (2) for generating a Karman vortex sheet with a flow-dependent vortex frequency; a first pressure fluctuation measuring arrangement (12, 14) for detecting and signaling vortex-related pressure fluctuations and for providing pressure fluctuation-dependent signals; a second pressure fluctuation measuring arrangement (16, 18) for detecting and signaling vortex-related pressure fluctuations and for providing pressure fluctuation-dependent signals, wherein the first pressure fluctuation measuring arrangement (12, 14) is arranged at a distance from the second pressure fluctuation measuring arrangement (16, 18) in the longitudinal direction of the measuring tube; and an analyzing unit (20) for determining a vortex frequency and a flow measurement value based on the vortex frequency. The analyzing unit (20) is additionally designed to determine the current Reynolds number and/or the

kinematic viscosity of the medium flowing in the measuring tube using the ratio of the amplitudes of the signals of the first pressure fluctuation measuring arrangement (12, 14) and the second pressure fluctuation measuring arrangement (16, 18) or variables derived therefrom.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/012811 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ein Durchflussmessgerät (1) nach dem Wirbelzählerprinzip, umfasst: ein Messrohr (2); einen Staukörper (4) in dem Messrohr (2) zum Erzeugen einer Karmanschen Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz; eine erste Druckschwankungsmessanordnung (12, 14) zum Erfassen und Signalisieren von wirbelbedingten Druckschwankungen, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen; eine zweite Druckschwankungsmessanordnung (16, 18) zum Erfassen und Signalisieren von wirbelbedingten Druckschwankungen, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen; wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung (12, 14) in Längsrichtung des Messrohrs von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung (16, 18) beabstandet ist; eine Auswerteinheit (20) zum Bestimmen einer Wirbelfrequenz und eines davon abhängigen Durchflussmesswerts; wobei die Auswerteinheit (20) weiterhin dazu eingerichtet ist, anhand des Verhältnisses der Amplituden der Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung (12, 14) und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung (16, 18), bzw. daraus abgeleiteter Größen die aktuelle Reynoldszahl und/oder die kinematische Viskosität des im Messrohr strömenden Mediums zu bestimmen.

Durchflussmessgerät nach dem Wirbelzählerprinzip

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Durchflussmessgerät nach dem Wirbelzählerprinzip, welches beispielsweise im Durchfluss-Handbuch, 4. Auflage 2003, ISBN 3-9520220-3-9, S. 103 ff. beschrieben ist.

5 Derartige Durchflussmessgeräte beruhen darauf, dass Wirbel sich alternierend von beiden Seiten eines umströmten Hindernisses in einer Rohrleitung ablösen und eine so genannte Karmansche Wirbelstraße bilden, wobei die Wirbel zu periodischen Druckschwankungen führen, die mit Drucksensoren oder einem Paddel zu erfassen sind. Die Ablösefrequenz der Wirbel ist für eine konkrete Messanordnung propor-
10 tional zur Durchflussgeschwindigkeit und zur Strouhalzahl, einer dimensionslosen Kennzahl, welche eine schwache Abhängigkeit von der Reynoldszahl aufweist. Für weite Bereiche von Reynoldszahlen kann die Strouhalzahl in erster Näherung als konstant angenommen werden. Insbesondere für Reynoldszahlen unter 20000 gilt dies jedoch nicht mehr, so dass das Modell Ermittlung des Durchflusses anhand der
15 Wirbelfrequenz noch verfeinert werden muss.

Ein Ansatz hierzu ist in EP 0 619 473 A1 beschrieben, wonach die Druckschwankungen mit zwei unterschiedlich weit vom Hindernis beabstandeten Paddeln erfasst werden. Die Phasendifferenz zwischen den erfassten Druckschwankungen wird dann zur Korrektur der Durchflussmessung herangezogen. Die Phasendifferenz
20 weist allerdings starke Schwankungen auf, so dass die Signalverarbeitung zu deren Ermittlung sehr aufwändig ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein kompaktes Durchflussmessgerät angestrebt wird, bei dem die Orte zum Erfassen der Druckschwankungen nahe beim Hindernis angeordnet und nicht weit voneinander entfernt sind.

25 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Durchflussmessgerät nach dem Wirbelzählerprinzip und ein Messverfahren bereitzustellen, welche die Nachteile des Stands der Technik überwinden. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch das Durchflussmessgerät gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 und das Verfahren gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 9.

Das erfindungsgemäße Durchflussmessgerät nach dem Wirbelzählerprinzip umfasst ein Messrohr; einen Staukörper, der in dem Messrohr angeordnet ist, wobei der Staukörper dazu dient, eine Karmansche Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz zu verursachen, wenn das Messrohr von einem Fluid durchströmt wird; eine erste Druckschwankungsmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen; eine zweite Druckmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen; wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung in Längsrichtung des Messrohrs von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung beabstandet ist; eine Auswertungseinheit, welche dazu eingerichtet ist, anhand der Signale mindestens einer der Druckschwankungsmessanordnungen eine Wirbelfrequenz und in Abhängigkeit der Wirbelfrequenz einen Durchflussmesswert zu bestimmen; wobei erfindungsgemäß die Auswerteeinheit weiterhin dazu eingerichtet ist, anhand des Verhältnisses der Amplituden der Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung, bzw. daraus abgeleiteter Größen die aktuelle Reynoldszahl und/oder die kinematische Viskosität des im Messrohr strömenden Mediums zu bestimmen.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist die Auswertungseinheit dazu eingerichtet ist, den Durchflussmesswert unter Berücksichtigung der ermittelten Reynoldszahl zu bestimmen.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung umfasst mindestens eine der Druckschwankungsmessanordnungen einen Paddelsensor, also einen Sensor der ein Paddel aufweist, welches in das Messrohr hineinragt, wobei durch die Druckschwankungen im Medium auf den beiden Seiten des Paddels periodische Druckdifferenzen entstehen, so dass das Paddel ausgelenkt wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung umfasst mindestens eine der Druckschwankungsmessanordnungen mindestens einen Druckabgriff in einer Messrohrwand und / oder dem Staukörper.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist mindestens eine der Druckschwankungsmessanordnungen eine erste Differenzdruckmessanordnung auf, einem ersten Druckabgriff und einem zweiten Druckabgriff, zum Erfassen von Druckdifferenzen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von differenzdruckabhängigen Signalen.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist die zweite der Druckschwankungsmessanordnungen eine zweite Differenzdruckmessanordnung auf, mit einem dritten Druckabgriff und einem vierten Druckabgriff, zum Erfassen von Druckdifferenzen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von differenzdruckabhängigen Signalen.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist mindestens eine Druckschwankungsmessanordnungen einen Druckabgriff und einen Differenzdrucksensor mit einem ersten Druckeingang und einem zweiten Druckeingang auf, wobei der zweite Druckeingang eine Drossel aufweist, so dass er eine andere frequenzabhängige Übertragungsfunktion für Druckschwankungen aufweist, als der erste Druckeingang, wobei der erste Druckeingang und der zweite Druckeingang an den Druckabgriff angeschlossen sind, so dass das Signal des Differenzdrucksensors im Wesentlichen von der zeitlichen Änderung des Drucks (dp/dt) abhängt.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist der Staukörper senkrecht zur Längsrichtung eine Breite b auf, wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung in Längsrichtung des Messrohrs nicht weniger als eine Breite b insbesondere nicht weniger als zwei Breiten b , vorzugsweise nicht weniger als 3 Breiten b von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung beabstandet ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient dem Bestimmen mindestens eines physikalischen Parameters eines Fluids, mittels eines Durchflussmessgeräts nach dem Wirbelzählerprinzip, wobei das Durchflussmessgerät umfasst: ein Messrohr zum Führen eines Fluids in Längsrichtung des Messrohrs; einen Staukörper, der in dem Messrohr angeordnet ist, wobei der Staukörper dazu dient, eine Karmansche Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz zu erzeugen, wenn das Messrohr von einem Fluid durchströmt wird; eine erste Druckschwankungsmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und

zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen; eine zweite Druckmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen; wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung in Längsrichtung des Messrohrs von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung beabstandet ist; wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Strömenlassen eines Fluids durch das Messrohr; Erfassen von Druckschwankungen, welche durch die Wirbelstraße des strömenden Fluids verursacht sind mittels der ersten Druckschwankungsmessanordnung; Erfassen von Druckschwankungen, welche durch die Wirbelstraße des strömenden Fluids verursacht sind mittels der zweiten Druckschwankungsmessanordnung; und Bestimmen eines aktuellen Werts der Reynoldszahl und / oder der kinematischen Viskosität des Fluids anhand des Verhältnisses der Amplituden Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung, bzw. daraus abgeleiteter Größen.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren das Bestimmen eines Werts der Reynoldszahl des Fluids anhand des Verhältnisses der Amplituden Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung; das Bestimmen eines Werts der Frequenz mindestens eines der Signale der Druckschwankungsmessanordnung; und Bestimmen eines Durchflussmesswerts in Abhängigkeit von dem Wert der Frequenz unter Berücksichtigung des Werts der Reynoldszahl.

Die Erfindung wird nun anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: Eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Durchflussmessgeräts in einem Längsschnitt, der quer zum Staukörper verläuft;

Fig. 2: Eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Durchflussmessgeräts in einem Längsschnitt, der quer zum Staukörper verläuft;

Fig. 3a: Exemplarische Daten reynoldszahlabhängiger Amplitudenverhältnisse zwischen den Signalen von Druckschwankungsmessanordnungen für verschiedene Positionen der Messanordnungen;

Fig. 3b: Ein Messrohr mit Positionen von Druckschwankungsmessanordnungen für die zu den in Fig. 3a dargestellten Amplitudenverhältnissen führen; und

Fig. 3c: Die Strouhalzahl für Durchflussmessgeräte nach dem Wirbelzählerprinzip in Abhängigkeit von der Reynoldszahl.

Das in Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Durchflussmessgerätes 1 nach dem Wirbelzählerprinzip umfasst ein Messrohr 2 mit einem Innendurchmesser d , in dem ein Staukörper 4 mit einer Breite b angeordnet ist, der insbesondere symmetrisch zu einer Symmetrieebene verläuft, in welcher die Längsachse des Messrohrs verläuft. Der Staukörper 4 ist an seinen beiden Enden mit dem Messrohr 2 verbunden. Der Staukörper 4 dient dazu, im Messbetrieb in einem im Messrohr strömenden Medium eine Karmansche Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz zu erzeugen.

Um diese Wirbelfrequenz zu erfassen, weisen gattungsgemäße Durchflussmessgeräte nach dem Wirbelzählerprinzip eine Druckschwankungsmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen auf, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind. Das erfindungsgemäße Durchflussmessgerät 1 weist zwei derartige Druckschwankungsmessanordnungen auf, die hier jeweils ein Paar Drucksensoren mit einer hinreichend schnellen Messwerterfassung aufweisen, um Wirbelfrequenzen bis zu etwa 3 kHz erfassen zu können. Eine erste Druckschwankungsmessanordnung umfasst einen ersten Drucksensor 12 und einen zweiten Drucksensor 14, die bezüglich einer Rohrmittenebene symmetrisch zueinander am Staukörper angeordnet sind. Eine zweite Druckschwankungsmessanordnung umfasst einen dritten Drucksensor 16 und einen vierten Drucksensor 18, die bezüglich der obigen Symmetrieebene symmetrisch zueinander an der Mantelfläche des Staukörpers angeordnet sind. Die Drucksensoren 16, 18 der zweiten Druckschwankungsmessanordnung sind in einem Abstand x in Strömungsrichtung von den Drucksensoren 12, 14 der ersten Druckschwankungsmessanordnung angeordnet, der ein Vielfaches der Breite b des Staukörpers beträgt, wobei insbesondere gilt $1 < x/b < 10$. Drucksensoren mit einer

hinreichend schnellen Messwerterfassung sind beispielsweise von der Firma Kulite erhältlich.

Die Drucksensoren können einerseits Absolutdruck- oder Relativdrucksensoren sein, welche jeweils den Mediendruck gegenüber Vakuum bzw. Atmosphärendruck messen, oder dynamische Drucksensoren, welche den Mediendruck den beiden Seiten einer Messmembran des dynamischen Drucksensors mit unterschiedlichen Zeitkonstanten zuführen, was bewirkt, dass unmittelbar Druckschwankungen erfasst werden. Insofern als in einer Rohrleitung auch andere Ursachen für Druckschwankungen auftreten können, welche den Druckschwankungen aufgrund der Karmanschen Wirbelstraße überlagert sind, ist vorgesehen, jeweils die Differenz der Signale der beiden Drucksensoren einer Druckschwankungsmessanordnung zur Bestimmung der Wirbelfrequenz heranzuziehen. Grundsätzlich können die Druckschwankungsmessanordnungen jeweils anstelle zweier Drucksensoren auch einen Differenzdrucksensor aufweisen, welcher die Differenz zwischen dem jeweiligen Druck an zwei symmetrisch zur obigen Symmetrieebene angeordneten Druckabgriffpunkten erfasst, wobei hierzu Wirkdruckleitungen oder Hydraulikleitungen mit einer möglichst geringen Zeitkonstanten zwischen den Druckabgriffpunkten und dem Differenzdrucksensor vorzusehen sind.

Das erfindungsgemäße Durchflussmessgerät umfasst weiterhin eine Betriebs- und Auswertungseinheit 20 zum Auswerten der Signale der Druckschwankungsmessanordnungen. Die Betriebs- und Auswertungseinheit 20 kann beispielsweise erste und zweite Subtraktionsschaltungen 22, 24 aufweisen, welche jeweils ein Differenzsignal aus den Signalen der Drucksensoren der ersten bzw. zweiten Druckschwankungsmessanordnung bilden. Die Betriebs- und Auswertungseinheit 20 umfasst weiterhin einen Signalprozessor 26, welcher an die Ausgänge der Subtraktionsschaltungen angeschlossen und dazu eingerichtet ist, anhand des zeitlichen Verlaufs mindestens eines der Differenzsignale die Ablösefrequenz f der Wirbel zu bestimmen. Weiterhin ist der Signalprozessor dazu eingerichtet die Amplituden der Differenzsignale zu bestimmen und daraus einen Amplitudenquotienten der Amplituden A_2/A_1 der Differenzsignale der ersten bzw. zweiten Druckschwankungsmessanordnung zu berechnen. Die Betriebs- und Auswertungseinheit 20 ist weiterhin dazu eingerichtet, anhand des Amplitudenquotienten einen aktuellen Wert für die Reynoldszahl zu ermitteln, auf dessen Basis die Strouhalzahl bestimmt wird, mit

deren Hilfe dann auf Grundlage der Ablösefrequenz f der Wirbel eine Strömungsgeschwindigkeit bzw. eine Volumendurchflussrate \dot{v} berechnet werden.

Einzelheiten zur Ermittlung der Strouhalzahl anhand des Amplitudenverhältnisses werden weiter unten anhand der Fig. 3a bis 3b erläutert.

- 5 Bei Bedarf kann zudem anhand der Volumendurchflussrate \dot{v} und der Reynoldszahl Re die kinematische Viskosität ν gemäß

$$\nu = (4 \dot{v}) / (\pi Re d)$$

berechnet und neben dem Durchflussmesswert als Zusatzinformation ausgegeben werden, wobei d der Rohrdurchmesser ist.

- 10 Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Durchflussmessgerätes 101 nach dem Wirbelzählerprinzip umfasst ein Messrohr 102 in dem ein Staukörper 104 mit angeordnet ist, der insbesondere symmetrisch zu einer Symmetrieebene verläuft, in welcher die Längsachse des Messrohrs verläuft. Der Staukörper 104 ist an seinen beiden Enden mit dem Messrohr 102 verbunden.
15 Der Staukörper 104 dient dazu, im Messbetrieb in einem im Messrohr strömenden Medium eine Karmansche Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz zu erzeugen.

- Das erfindungsgemäße Durchflussmessgerät 101 weist eine erste und eine zweite Druckschwankungsmessanordnung 112, 116 zum Erfassen von Druckschwankungen auf, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind. Die erste Druckschwankungsmessanordnung 112 weist ein Paddel auf, das bezüglich der obigen Symmetrieebene symmetrisch angeordnet ist und senkrecht zu dieser Symmetrieebene mittels der Wirbel auslenkbar ist, wie durch den Doppelpfeil in der Zeichnung angedeutet. Die zweite Druckschwankungsmessanordnung 116 weist ebenfalls ein
20 Paddel auf, das bezüglich der obigen Symmetrieebene symmetrisch angeordnet ist und senkrecht zu dieser Symmetrieebene mittels der Wirbel auslenkbar ist, wie durch den Doppelpfeil in der Zeichnung angedeutet. Die beiden Druckschwankungsmessanordnungen 112, 116 umfassen jeweils einen elektrischen Wandler, insbesondere einen differentiellen kapazitiven Wandler, einen piezoelektrischen Wandler, einen
25

induktiven Wandler oder einen resistiven Wandler, um die Auslenkungen der Paddel in ein elektrisches Signal zu wandeln.

Das erfindungsgemäße Durchflussmessgerät umfasst weiterhin eine Betriebs- und Auswertungseinheit 120 zum Auswerten der Signale der Druckschwankungsmessanordnungen 112, 116. Die Betriebs- und Auswertungseinheit 120 umfasst einen ersten und zweiten Vorverstärker 122, 124, welche jeweils die Primärsignale eines elektrischen Wandler eines der beiden Druckschwankungsmessanordnungen aufbereiten. Die Betriebs- und Auswertungseinheit 120 umfasst weiterhin einen Signalprozessor 126, welcher an die Ausgänge der Vorverstärker 122, 124 angeschlossen und dazu eingerichtet ist, anhand des zeitlichen Verlaufs mindestens eines der Ausgangssignale der Vorverstärker die Ablösefrequenz f der Wirbel zu bestimmen. Weiterhin ist der Signalprozessor dazu eingerichtet die Amplituden der Ausgangssignale zu bestimmen und daraus einen Amplitudenquotienten der Amplituden A_2/A_1 der Differenzsignale der ersten bzw. zweiten Druckschwankungsmessanordnung zu berechnen. Die Betriebs- und Auswertungseinheit 120 ist weiterhin dazu eingerichtet, anhand des Amplitudenquotienten einen aktuellen Wert für die Reynoldszahl zu ermitteln, auf dessen Basis die Strouhalzahl bestimmt wird, mit deren Hilfe dann auf Grundlage der Ablösefrequenz f der Wirbel eine Strömungsgeschwindigkeit bzw. eine Volumendurchflussrate \dot{v} berechnet werden.

Einzelheiten zur Ermittlung der Strouhalzahl anhand des Amplitudenverhältnisses werden weiter unten anhand der Fig. 3a bis 3b erläutert.

Bei Bedarf kann zudem anhand der Volumendurchflussrate \dot{v} und der Reynoldszahl Re die kinematische Viskosität ν gemäß

$$\nu = (4 \dot{v}) / (\pi Re d)$$

berechnet und neben dem Durchflussmesswert als Zusatzinformation ausgegeben werden, wobei d der Rohrdurchmesser ist.

Das der Erfindung zugrundeliegende Prinzip wird nun anhand der Fig. 3a bis 3c erläutert. Fig. 3a zeigt einen Zusammenhang zwischen der Reynoldszahl und dem Quotienten der Amplituden der Signale zweier Druckschwankungssensoren in Abhängigkeit von deren Position.

Über einen großen Bereich von Reynoldszahlen wurden die Druckschwankungen an im Messrohr gestaffelten Orten mehrerer Druckschwankungssensoren für das in Fig. 3b dargestellte, experimentelle Durchflussmessgerät 201 ermittelt. Dann wurde jeweils die Amplitude des Signals eines im Messrohr 202 angeordneten, von einem Staukörper 204 weiter beabstandeten Druckschwankungssensors (S2, S3, S4, S5) durch die Amplitude des Signals eines dem Staukörper 204 nahen Druckschwankungssensors S1 geteilt. Der resultierende Quotient ist in Fig. 3a als Funktion der Reynoldszahl für verschiedene Druckschwankungssensoren (S2, S3, S4, S5) dargestellt, wobei der Linientyp zur Darstellung des Amplitudenverhältnisses in Fig. 3a, dem Linientyp zur Darstellung der Sensorposition in Fig. 3b entspricht.

Die Betriebs und Auswertungseinheit eines erfindungsgemäßen Messgerät weist dem entsprechend die Umkehrfunktion einer der in Fig. 3a dargestellten Funktionen auf, um anhand des im Messbetrieb ermittelten Amplitudenverhältnisses der Signale seiner Druckschwankungssensoren einen aktuellen Wert für die Reynoldszahl Re zu ermitteln.

Über die Reynoldszahl kann schließlich die Strouhalzahl ermittelt werden, die in den Proportionalitätsfaktor zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit anhand der Wirbelfrequenz eingeht. Fig 3c zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen der Strouhalzahl und der Reynoldszahl für Durchflussmessgeräte nach dem Wirbelzählerprinzip.

Für ein konkretes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Durchflussmessgerätes kann die Strouhalzahl in Abhängigkeit der Reynoldszahl selbstverständlich spezifisch ermittelt werden, und der ermittelte Zusammenhang ist in der Betriebs- und Auswerteeinheit zu implementieren. Grundsätzlich sollte der ermittelte Zusammenhang aber einen ähnlichen Verlauf haben, wie der in Fig. 3c gezeigte.

Patentansprüche

1. Durchflussmessgerät (1; 101) nach dem Wirbelzählerprinzip, umfassend:

5 ein Messrohr (2; 102) zum Führen eines Fluids in Längsrichtung des Messrohrs;

einen Staukörper (4; 104), der in dem Messrohr (2; 102) angeordnet ist, wobei der Staukörper dazu dient, eine Karmansche Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz zu verursachen, wenn das Messrohr von einem Fluid durchströmt wird;

10 eine erste Druckschwankungsmessanordnung (12, 14; 112) zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen;

eine zweite Druckmessanordnung (16, 18; 116) zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen
15 von druckschwankungsabhängigen Signalen;

wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung (12, 14; 112) in Längsrichtung des Messrohrs von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung (16, 18; 116) beabstandet ist;

eine Auswertungseinheit (20; 120), welche dazu eingerichtet ist, anhand der
20 Signale mindestens einer der Druckschwankungsmessanordnungen eine Wirbelfrequenz und in Abhängigkeit der Wirbelfrequenz einen Durchflussmesswert zu bestimmen;

dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (20; 120) weiterhin dazu
25 eingerichtet ist, anhand des Verhältnisses der Amplituden der Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung (12, 14; 112) und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung (16, 18; 116), bzw. daraus abgeleiteter Größen die aktuelle Reynoldszahl und/oder die kinematische Viskosität des im Messrohr strömenden Mediums zu bestimmen.

2. Durchflussmessgerät nach Anspruch 1, wobei die Auswertungseinheit (20; 120) dazu eingerichtet ist, den Durchflussmesswert unter Berücksichtigung der ermittelten Reynoldszahl zu bestimmen.

5 3. Durchflussmessgerät nach Anspruch 1 oder 2, wobei mindestens eine der Druckschwankungsmessanordnungen (112, 116) einen Paddelsensor umfasst.

10 4. Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine der Druckschwankungsmessanordnungen (12, 14, 16, 18) mindestens einen Druckabgriff in einer Messrohrwand und / oder dem Staukörper umfasst.

15 5. Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine der Druckschwankungsmessanordnungen eine erste Differenzdruckmessanordnung aufweist, mit einem ersten Druckabgriff und einem zweiten Druckabgriff, zum Erfassen von Druckdifferenzen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von differenzdruckabhängigen Signalen.

20 6. Durchflussmessgerät nach Anspruch 5, wobei die zweite der Druckschwankungsmessanordnungen eine zweite Differenzdruckmessanordnung aufweist, mit einem dritten Druckabgriff und einem vierten Druckabgriff, zum Erfassen von Druckdifferenzen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von differenzdruckabhängigen Signalen.

25 7. Durchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5 wobei mindestens eine Druckschwankungsmessanordnungen einen Druckabgriff und einen Diffe-

renzdrucksensor mit einem ersten Druckeingang und einem zweiten Druckeingang aufweist, wobei der zweite Druckeingang eine Drossel aufweist, so dass er eine andere Übertragungsfunktion für Druckschwankungen aufweist, als der erste Druckeingang, wobei der erste Druckeingang und der zweite Druckeingang an den Druckabgriff angeschlossen sind, so dass das Signal des Differenzdrucksensors im Wesentlichen von der zeitlichen Änderung des Drucks (dp/dt) abhängt.

8. Durchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Staukörper senkrecht zur Längsrichtung eine Breite b aufweist, wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung in Längsrichtung des Messrohrs nicht weniger als eine Breite b insbesondere nicht weniger als zwei Breiten b , vorzugsweise nicht weniger als 3 Breiten von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung beabstandet ist.

15

9. Verfahren zum Bestimmen mindestens eines physikalischen Parameters eines Fluids, mittels eines Durchflussmessgerät nach dem Wirbelzählerprinzip, wobei das Durchflussmessgerät umfasst:

ein Messrohr zum Führen eines Fluids in Längsrichtung des Messrohrs;

20 einen Staukörper, der in dem Messrohr angeordnet ist, wobei der Staukörper dazu dient, eine Karmansche Wirbelstraße mit durchflussabhängiger Wirbelfrequenz zu erzeugen, wenn das Messrohr von einem Fluid durchströmt wird;

eine erste Druckschwankungsmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen;

25

eine zweite Druckmessanordnung zum Erfassen von Druckschwankungen, die durch die Wirbelstraße bewirkt sind, und zum Bereitstellen von druckschwankungsabhängigen Signalen;

wobei die erste Druckschwankungsmessanordnung in Längsrichtung des Messrohrs von der zweiten Druckschwankungsmessanordnung beabstandet ist;

wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Strömenlassen eines Fluids durch das Messrohr;

5 Erfassen von Druckschwankungen, welche durch die Wirbelstraße des strömenden Fluids verursacht sind mittels der ersten Druckschwankungsmessanordnung;

10 Erfassen von Druckschwankungen, welche durch die Wirbelstraße des strömenden Fluids verursacht sind mittels der zweiten Druckschwankungsmessanordnung; und

Bestimmen eines aktuellen Werts der Reynoldszahl und / oder der kinematischen Viskosität des Fluids anhand des Verhältnisses der Amplituden Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung, bzw. daraus abgeleiteter Größen.

15

10. Verfahren nach Anspruch 9, umfassend:

Bestimmen eines Werts der Reynoldszahl des Fluids anhand des Verhältnisses der Amplituden Signale der ersten Druckschwankungsmessanordnung und der zweiten Druckschwankungsmessanordnung;

20 Bestimmen eines Werts der Frequenz mindestens eines der Signale der Druckschwankungsmessanordnung; und

Bestimmen eines Durchflussmesswerts in Abhängigkeit von dem Wert der Frequenz unter Berücksichtigung des Werts der Reynoldszahl.

1/3

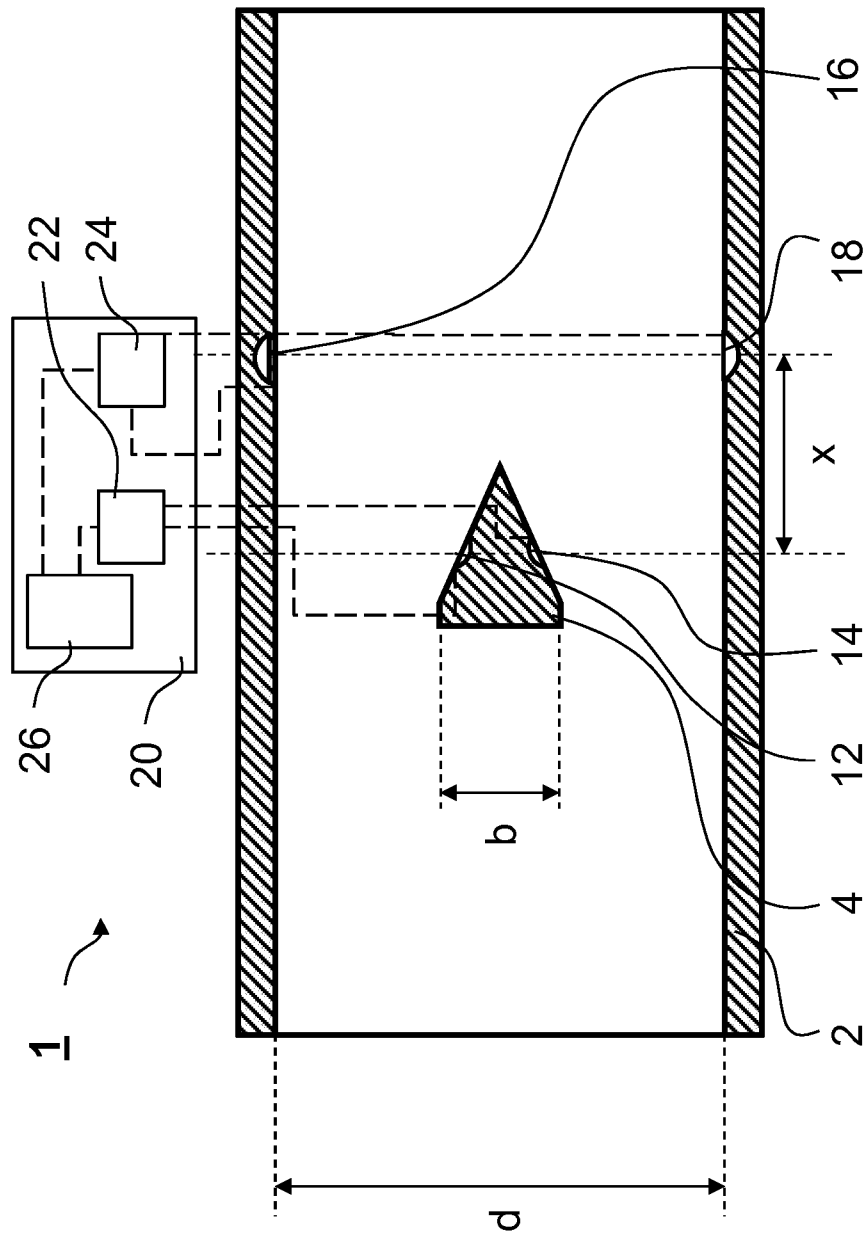


Fig. 1

2/3

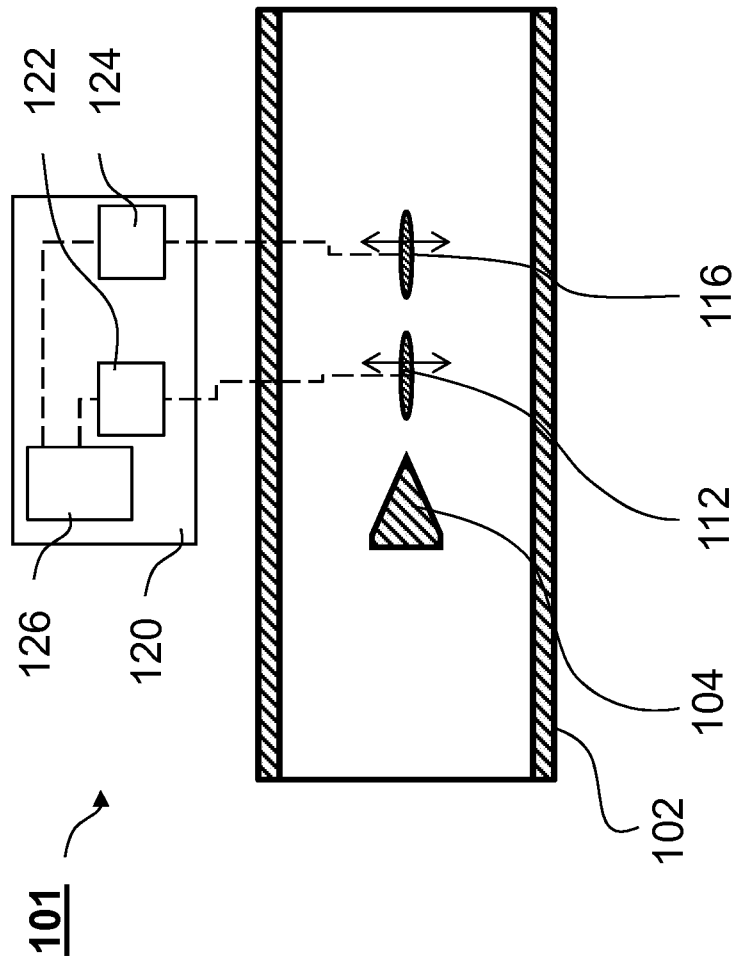


Fig. 2

3/3

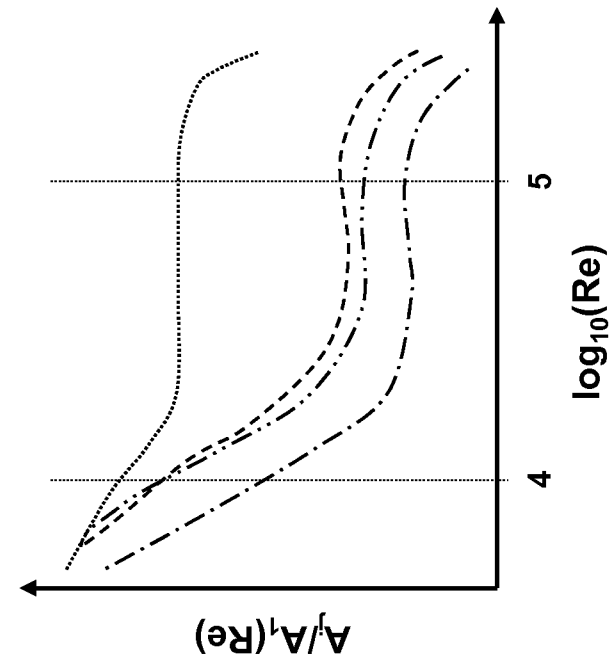


Fig. 3a

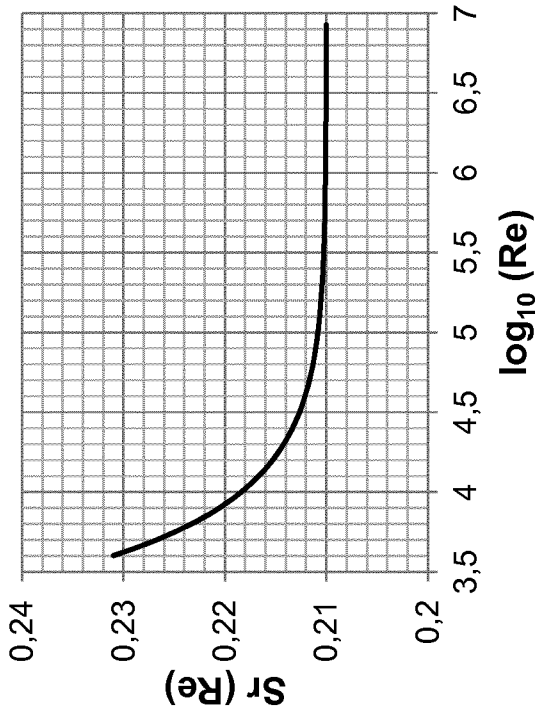


Fig. 3c

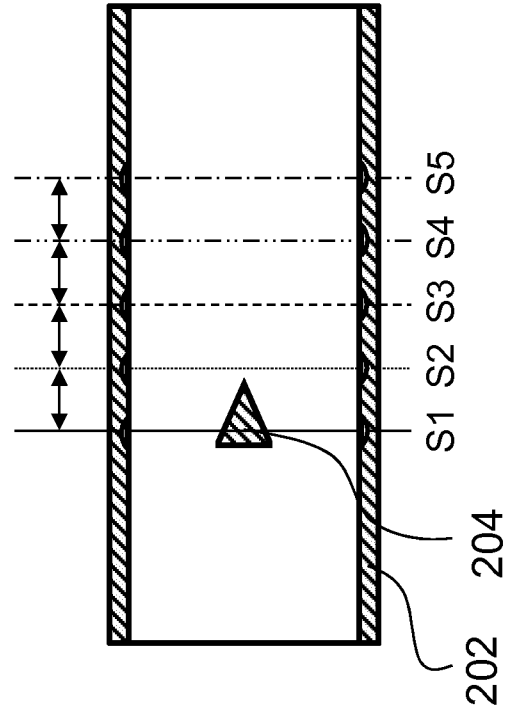


Fig. 3b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/064372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01F1/32 G01F1/36 G01F1/40
ADD.
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 10 2009 001525 A1 (FLOWTEC AG [CH]) 16 September 2010 (2010-09-16) paragraphs [0001] - [0004], [0017], [0052], [0054], [0070], [0071], [0089] - [0091]; figure 2	1-10
A	US 2009/211368 A1 (GARNETT JOHN EVERETT [US] ET AL) 27 August 2009 (2009-08-27) paragraphs [0026] - [0028]; figures 1A, 1B	1-10
A	WO 00/08420 A1 (TNO [NL]; PETERS MARINUS CAROLUS ADRIANU [NL]) 17 February 2000 (2000-02-17) figures 1-5	1-10
A	DE 102 40 189 A1 (FLOWTEC AG [CH]) 4 March 2004 (2004-03-04) paragraphs [0043], [0047], [0062]	1-10
	-/--	

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

7 September 2016

Date of mailing of the international search report

15/09/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Nierhaus, Thomas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/064372

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/001343 A2 (INVENSYS METERING SYSTEMS AG [DE]; BERBERIG OLIVER [DE]) 31 December 2003 (2003-12-31) page 16, paragraph 2 -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/064372

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102009001525 A1	16-09-2010	CN 102348958 A	08-02-2012
		DE 102009001525 A1	16-09-2010
		EP 2406585 A2	18-01-2012
		JP 5355724 B2	27-11-2013
		JP 2012520444 A	06-09-2012
		US 2011314929 A1	29-12-2011
		WO 2010103005 A2	16-09-2010

US 2009211368 A1	27-08-2009	CN 101960264 A	26-01-2011
		US 2009211368 A1	27-08-2009
		WO 2009108292 A2	03-09-2009

WO 0008420 A1	17-02-2000	AT 285065 T	15-01-2005
		AU 5200399 A	28-02-2000
		DE 69922663 D1	20-01-2005
		DE 69922663 T2	06-10-2005
		EP 1102966 A1	30-05-2001
		ES 2234280 T3	16-06-2005
		JP 4693990 B2	01-06-2011
		JP 2002522756 A	23-07-2002
		NL 1009797 C2	04-02-2000
		US 6675661 B1	13-01-2004
		WO 0008420 A1	17-02-2000

DE 10240189 A1	04-03-2004	AU 2003258679 A1	30-04-2004
		CN 1692273 A	02-11-2005
		DE 10240189 A1	04-03-2004
		EP 1537386 A1	08-06-2005
		JP 2005537492 A	08-12-2005
		US 2004244499 A1	09-12-2004
		WO 2004025227 A1	25-03-2004

WO 2004001343 A2	31-12-2003	AU 2003250268 A1	06-01-2004
		DE 10227726 A1	15-01-2004
		WO 2004001343 A2	31-12-2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01F1/32 G01F1/36 G01F1/40
 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 2009 001525 A1 (FLOWTEC AG [CH]) 16. September 2010 (2010-09-16) Absätze [0001] - [0004], [0017], [0052], [0054], [0070], [0071], [0089] - [0091]; Abbildung 2	1-10
A	----- US 2009/211368 A1 (GARNETT JOHN EVERETT [US] ET AL) 27. August 2009 (2009-08-27) Absätze [0026] - [0028]; Abbildungen 1A, 1B	1-10
A	----- WO 00/08420 A1 (TNO [NL]; PETERS MARINUS CAROLUS ADRIANU [NL]) 17. Februar 2000 (2000-02-17) Abbildungen 1-5	1-10
	----- -/-	

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
7. September 2016	15/09/2016

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 102 40 189 A1 (FLOWTEC AG [CH]) 4. März 2004 (2004-03-04) Absätze [0043], [0047], [0062] -----	1-10
A	WO 2004/001343 A2 (INVENSYS METERING SYSTEMS AG [DE]; BERBERIG OLIVER [DE]) 31. Dezember 2003 (2003-12-31) Seite 16, Absatz 2 -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/064372

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009001525 A1	16-09-2010	CN 102348958 A	08-02-2012
		DE 102009001525 A1	16-09-2010
		EP 2406585 A2	18-01-2012
		JP 5355724 B2	27-11-2013
		JP 2012520444 A	06-09-2012
		US 2011314929 A1	29-12-2011
		WO 2010103005 A2	16-09-2010

US 2009211368 A1	27-08-2009	CN 101960264 A	26-01-2011
		US 2009211368 A1	27-08-2009
		WO 2009108292 A2	03-09-2009

WO 0008420 A1	17-02-2000	AT 285065 T	15-01-2005
		AU 5200399 A	28-02-2000
		DE 69922663 D1	20-01-2005
		DE 69922663 T2	06-10-2005
		EP 1102966 A1	30-05-2001
		ES 2234280 T3	16-06-2005
		JP 4693990 B2	01-06-2011
		JP 2002522756 A	23-07-2002
		NL 1009797 C2	04-02-2000
		US 6675661 B1	13-01-2004
		WO 0008420 A1	17-02-2000

DE 10240189 A1	04-03-2004	AU 2003258679 A1	30-04-2004
		CN 1692273 A	02-11-2005
		DE 10240189 A1	04-03-2004
		EP 1537386 A1	08-06-2005
		JP 2005537492 A	08-12-2005
		US 2004244499 A1	09-12-2004
		WO 2004025227 A1	25-03-2004

WO 2004001343 A2	31-12-2003	AU 2003250268 A1	06-01-2004
		DE 10227726 A1	15-01-2004
		WO 2004001343 A2	31-12-2003
