



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 115 499.4**

(22) Anmeldetag: **15.09.2015**

(43) Offenlegungstag: **16.03.2017**

(51) Int Cl.: **G01N 9/32 (2006.01)**

G01N 11/16 (2006.01)

G01L 13/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Endress+Hauser Flowtec AG, Reinach, CH

(74) Vertreter:
**Hahn, Christian, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 79576 Weil
am Rhein, DE**

(72) Erfinder:
**Huber, Christof, Dr., Bern, CH; Lambrigger,
Michael, Basel, CH**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

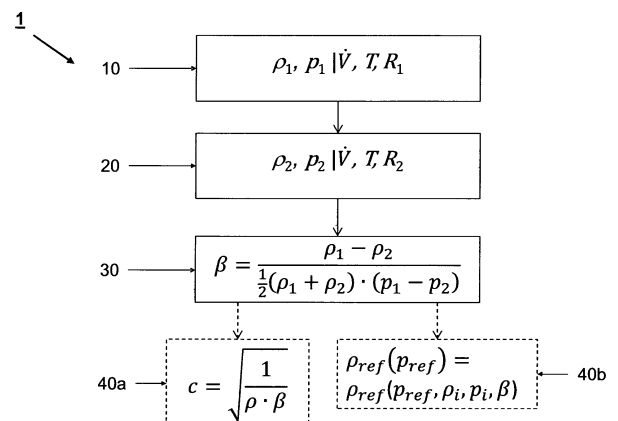
DE	10 2013 113 689	A1
EP	1 502 085	B1
EP	2 012 117	A1
WO	2014/ 158 376	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Messvorrichtung zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren (1) zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids umfasst die folgenden Schritte umfasst: Treiben eines Volumenstroms des Fluids mittels einer Pumpe, durch mindestens ein Messrohr eines vibronischen Dichtemessers bei einem ersten Druck, der mittels einer Drossel gehalten wird; Bestimmen eines ersten Dichtemesswerts des strömenden Fluids bei dem ersten Druck (10); Bestimmen eines ersten Druckmesswerts des strömenden Fluids bei dem ersten Druck (10); Treiben eines Volumenstroms des strömenden Fluids mittels einer Pumpe, durch einen Dichtemesser bei einem zweiten Druck, der mittels einer Drossel gehalten wird; Bestimmen eines zweiten Dichtemesswerts des Fluids bei dem zweiten Druck, der sich von dem ersten Druck unterscheidet (20); Bestimmen eines zweiten Druckmesswerts des strömenden Fluids bei dem zweiten Druck (20); Bestimmen der Kompressibilität des Fluids, anhand des ersten Dichtemesswerts des zweiten Dichtemesswerts, des ersten Druckmesswerts und des zweiten Druckmesswerts unter der Annahme, dass die Zusammensetzung des Fluids zwischen dem Erfassen des ersten Dichtemesswerts und des zweiten Dichtemesswerts unverändert ist (30).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids.

[0002] Die Dichte eines Fluids bei Referenzbedingungen, insbesondere bei einem Referenzdruck von 1013 MPa, ist zur Bewertung von Fluiden von Interesse. Sie ist jedoch in vielen Anwendungsfällen nicht direkt verfügbar. Ein Ausweg besteht darin, die Dichte bei Referenzdruck aus einem Dichtemesswert zu berechnen, der bei einem höheren Druck erfasst wurde. Um diese Berechnung zuverlässig durchführen zu können, ist eine möglichst genaue Kenntnis der Kompressibilität erforderlich.

[0003] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Messvorrichtung anzugeben, welche eine möglichst einfache und zuverlässige Bestimmung der Kompressibilität eines Fluids ermöglichen, insbesondere zur Bestimmung der Dichte eines Mediums bei einem Referenzdruck.

[0004] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch das Verfahren gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 und die Vorrichtung gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 9.

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids umfasst die folgenden Schritte:

Treiben eines Volumenstroms des Fluids mittels einer Pumpe, durch mindestens ein Messrohr eines vibronischen Dichtemessers bei einem ersten Druck, der mittels einer Drossel gehalten wird;

Bestimmen eines ersten Dichtemesswerts des strömenden Fluids bei dem ersten Druck;

Bestimmen eines ersten Druckmesswerts des strömenden Fluids bei dem ersten Druck;

Treiben eines Volumenstroms des strömenden Fluids mittels einer Pumpe, durch einen Dichtemesser bei einem zweiten Druck, der mittels einer Drossel gehalten wird;

Bestimmen eines zweiten Dichtemesswerts des Fluids bei dem zweiten Druck, der sich von dem ersten Druck unterscheidet;

Bestimmen eines zweiten Druckmesswerts des strömenden Fluids bei dem zweiten Druck;

Bestimmen der Kompressibilität des Fluids, anhand des ersten Dichtemesswerts des zweiten Dichtemesswerts, des ersten Druckmesswerts und des zweiten Druckmesswerts unter der Annahme, dass die Zusammensetzung des Fluids zwischen dem Erfassen des ersten Dichtemesswerts und des zweiten Dichtemesswerts unverändert ist.

[0006] In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren weiterhin das Berechnen eines dritten Dichtewerts bei einem dritten Druck anhand der er-

mittelten Kompressibilität und anhand mindestens eines der ersten und zweiten Dichtemesswerte, wobei sich der dritte Druck von dem ersten Druck und dem zweiten Druck unterscheidet, wobei der dritte Druck insbesondere außerhalb eines von dem ersten Druck und dem zweiten Druck begrenzten Intervalls liegt.

[0007] In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren weiterhin das Berechnen eines Schallgeschwindigkeitswerts anhand der Kompressibilität und mindestens eines der Dichtemesswerte.

[0008] In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt die Bestimmung der Kompressibilität unter der Annahme einer konstanten Temperatur des Fluids bei dem ersten Druckmesswert und dem zweiten Druckmesswert erfolgt.

[0009] In einer Weiterbildung der Erfindung weist eine erste Temperatur des Fluids in dem Messrohr beim Erfassen des ersten Dichtemesswerts von einer zweiten Temperatur des Fluids in dem Messrohr beim Erfassen des zweiten Dichtemesswerts um nicht mehr als 5 °C, insbesondere nicht mehr als 2 °C und bevorzugt nicht mehr als 1 °C ab.

[0010] In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Bestimmen des ersten Dichtemesswerts und das Bestimmen des zweiten Dichtemesswerts, jeweils das Erfassen eines Eigenfrequenzwerts mindestens eines Biegeschwingungsmodes des Messrohrs.

[0011] In einer Weiterbildung der Erfindung hängt die Eigenfrequenz von dem mindestens einen Biegeschwingungsmodes von einer Biegesteifigkeit des Messrohrs ab, welche eine Querempfindlichkeit zum Druck des Fluids in dem Messrohr aufweist, wobei die druckabhängige Biegesteifigkeit des Messrohrs in die Bestimmung des Dichtemesswertes auf Basis der erfassten Eigenfrequenzen eingeht, wobei zum Bestimmen der druckabhängigen Biegesteifigkeit mindestens einer der erfassten Druckmesswerte verwendet wird.

[0012] Die erfindungsgemäße Messanordnung zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids und oder einer von der Kompressibilität abhängigen Größe umfasst: einen Fluidpfad zum Führen eines Mediums; eine Pumpe, welche in dem Fluidpfad angeordnet ist, zum Treiben eines Volumenstroms des Mediums in dem Fluidpfad; einen Dichtemesser mit mindestens einem Oszillator welcher mindestens ein schwingfähiges Messrohr, zum Führen des Mediums aufweist, mit mindestens einer Erregeranordnung zum Anregen von Schwingungen des Messrohrs, und mit mindestens einer Sensoranordnung zum Erfassen mindestens einer Schwingungseigenschaft des Oszillators, wobei das Messrohr oder die Messrohre des mindestens einen Oszillators in dem Fluidpfad angeordnet ist bzw. sind; eine Drosselan-

ordnung mit einem veränderbaren Strömungswiderstand, wobei der Dichtemesser zwischen der Pumpe und der Drosselanordnung in dem Fluidpfad angeordnet ist, wobei die Drosselanordnung dazu dient, bei einem konstanten Volumenstrom aufgrund unterschiedlicher Strömungswiderstände unterschiedliche statische Druckwerte in dem Dichtemesser zu bewirken; mindestens einen Drucksensor zum Erfassen eines Druckmesswerts dem Fluidpfad, wobei der Drucksensor zwischen der Pumpe und der Drosselanordnung in dem Fluidpfad angeordnet ist; eine Betriebs- und Auswerteeinheit, welche dazu eingerichtet ist, anhand mindestens zweier Dichtemesswerte und der zugehörigen Druckmesswerte, die bei unterschiedlichen Strömungswiderständen der Drosselanordnung erfasst wurden, einen Wert für die Kompressibilität des Fluids zu ermitteln.

[0013] In einer Weiterbildung der Erfindung weist die Drosselanordnung zwei parallel geschaltete Rückschlagventile aufweist, von denen ein erstes Rückschlagventil einen niedrigeren Arbeitspunkt hat als ein zweites Rückschlagventil, und dem ersten Rückschlagventil ein Rückschlagventil-Sperrventil vorgeschaltet ist, welches insbesondere automatisch steuerbar ist.

[0014] In einer alternativen Weiterbildung der Erfindung weist die Drosselanordnung eine Blende mit einer einstellbaren Blendenöffnung auf.

[0015] In einer Weiterbildung der Erfindung weist die Messanordnung weiterhin einen zweiten Drucksensor auf, wobei der Dichtemesser zwischen dem ersten Drucksensor und dem zweiten Drucksensor angeordnet ist.

[0016] In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Betriebs- und Auswerteeinheit dazu eingerichtet, einen Druckmesswert für das Fluid, der einem Dichtemesswert zugeordnet ist, als Mittelwert von im Wesentlichen gleichzeitig aufgenommenen Druckmesswerten des ersten Drucksensors und des zweiten Drucksensors zu bestimmen.

[0017] In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Betriebs- und Auswerteeinheit dazu eingerichtet, einen Viskositätsmesswert für das Fluid anhand des Volumenstroms und einer Differenz von im Wesentlichen gleichzeitig aufgenommenen Druckmesswerten des ersten Drucksensors und des zweiten Drucksensors zu bestimmen, und den Dichtemesswert anhand der Schwingungseigenschaft des Oszillators und des Viskositätsmesswerts zu bestimmen.

[0018] In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Betriebs- und Auswerteeinheit dazu eingerichtet, einen Dichtewert unter Referenzbedingungen, beispielsweise 1013 mbar, anhand des Dichtemesswerts, des zugeordneten Druckmesswerts und des

ermittelten Werts für die Kompressibilität zu bestimmen.

[0019] Die Erfindung wird nun anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt:

[0020] Fig. 1: ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0021] Fig. 2a: eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

[0022] Fig. 2b: eine schematische Darstellung einer Detailvariante des ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messanordnung; und

[0023] Fig. 3: eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messanordnung.

[0024] Das in Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens **1** umfasst in einem ersten Schritt **10** das Erfassen eines ersten Dichtemesswerts p_1 und eines zugehörigen ersten Druckmesswerts p_1 eines strömenden Fluids, wobei der erste Druck des strömenden Fluids dadurch erzeugt wird, dass das Fluid gegen einen ersten Strömungswiderstand R_1 einer Drosselanordnung mit einem variablen Strömungswiderstand gepumpt wird.

[0025] Nach Erfassen des ersten Dichtemesswerts p_1 und des zugehörigen ersten Druckmesswerts p_1 erfolgt in einem zweiten Schritt **20** bei einem zweiten Strömungswiderstand R_2 der Drosselanordnung das Erfassen eines zweiten Dichtemesswerts p_2 und eines zugehörigen zweiten Druckmesswerts p_2 eines strömenden Fluids, wobei sich der erste Strömungswiderstand von dem zweiten Strömungswiderstand unterscheidet. Bei einem im Wesentlichen konstanten Volumenstrom des Fluids durch die Drosselanordnung führt dies entsprechend zu unterschiedlichen Werten für den ersten statischen Druck und den zweiten statischen Druck des strömenden Mediums. So kann beispielsweise der erste Druck etwa 0,5 bis 1 bar betragen während der zweite Druck 5 bis 10 bar beträgt.

[0026] Die Dichtemessung kann beispielsweise durch Messen einer dichteabhängigen Resonanzfrequenz eines schwingenden Messrohrs erfolgen, das von dem Fluid durchströmt wird.

[0027] In einem dritten Schritt **30** wird schließlich auf Basis der beiden Dichtemesswerte p_1 , p_2 und der zugehörigen Druckmesswerte p_1 , p_2 die Kompressibilität des Fluids berechnet gemäß:

$$\beta = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\frac{1}{2}(\rho_1 + \rho_2) \cdot (p_1 - p_2)} \quad (1)$$

[0028] Anknüpfend an die Ermittlung der Kompressibilität des Fluids kann in einem Schritt **40a** die Schallgeschwindigkeit c des Fluids berechnet werden auf Basis eines Dichtewerts und eines dazu ermittelten Kompressibilitätswerts gemäß:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot \beta}} \quad (2)$$

[0029] Der Dichtewert kann dabei beispielsweise das arithmetrische Mittel der beiden Dichtemesswerte ρ_1 , ρ_2 sein, auf deren Basis die Kompressibilität berechnet wurde.

[0030] Alternativ oder ergänzend kann anknüpfend an die Ermittlung der Kompressibilität des Fluids in einem Schritt **40b** eine Referenzdichte ρ_{ref} bei einem Referenzdruck p_{ref} von beispielsweise 1013 mbar berechnet werden. Hierbei hängt die Referenzdichte ab von dem Referenzdruck p_{ref} , mindestens einem Wertepaar eines Druckmesswerts p_i mit seinem zugehörigen Dichtemesswert ρ_i , sowie dem dazu ermittelten Wert für die Kompressibilität des Fluids.

[0031] Das in **Fig. 2a** dargestellte Ausführungsbeispiel einer Messanordnung **101** umfasst eine Entnahmeleitung **102**, die zu einer Rohrleitung **104** zwischen einem ersten Anschlusspunkt **106** und einem zweiten Anschlusspunkt **108** parallel geführt ist. Die Messanordnung **101** umfasst in der Entnahmeleitung **102** weiterhin eine Mikrozahlringpumpe **114**, wie sie von der Firma HNP erhältlich ist, oder eine andere Dosierpumpe mit einer Fördergenauigkeit von besser als 1% insbesondere besser als 0,5% zum Treiben eines definierten Volumenstroms durch den von der Entnahmeleitung **102** und darin angeordneten Komponenten gebildeten Fluidpfad **116**. Die Entnahmeleitung weist beispielsweise einen Innendurchmesser von 4 mm auf. In der Entnahmeleitung **102** ist vor der Zahnringpumpe **114** noch ein Filterelement **115** angeordnet, das beispielsweise eine maximale Porengröße von nicht mehr als 20 μm , insbesondere nicht mehr als 10 μm und bevorzugt nicht mehr als 5 μm aufweist, um zu gewährleisten, dass nachfolgende Komponenten nicht verstopfen.

[0032] In der Entnahmeleitung **102** ist ein Dichtemessgerät **120** mit einem schwingfähigen Messrohr **122** angeordnet, welches mittels eines Erregers zu Biegeschwingungen anregbar ist, deren Resonanzfrequenz von der Dichte eines in dem Messrohr **122** enthaltenen Mediums abhängt. Das Messrohr weist einen Durchmesser von beispielsweise 160 μm auf und ist mittels MEMS-Technologie in Silizium präpariert. Die Resonanzfrequenz liegt bei einem nieder-viskosen Fluid mit einer Dichte von etwa 10^6 g/m^3 beispielsweise in der Größenordnung von 20 kHz.

[0033] Die Gesamtlänge eines Fluidpfadabschnitts durch das Messrohr **122** und umgebende MEMS-Komponenten mit einem Innendurchmesser von 200 μm beträgt etwa 1 cm. Dieser Fluidpfadabschnitt hat einen vergleichsweise großen Strömungswiderstand, so dass es nicht praktikabel ist, den gesamten Volumenstrom durch die Entnahmeleitung **102** über diesen Flüssigkeitspfadabschnitt zu führen. Die zu erwartenden Volumenströme bei Druckabfällen von einigen Bar über dem Flüssigkeitspfadabschnitt durch das Messrohr **122** würden derart gering sein, dass das Medium in der Entnahmeleitung **102**, insbesondere bei sich ändernden Eigenschaften des Mediums in der Rohrleitung **104** nicht zuverlässig repräsentativ wäre. Daher ist der Flüssigkeitspfadabschnitt durch die MEMS-Komponenten als Bypass **126** parallel zu einer Blende **124** geführt, wobei der Bypass **126** eine Bypasspfadlänge von weniger als 20 mm, insbesondere weniger als 15 mm, beispielsweise 10 mm aufweist. Die Blende **124** weist einen Durchmesser von 0,5 bis 2 mm auf welcher so bemessen ist, dass aufgrund des durch den Volumenstrom in der Entnahmeleitung **102**, ein Druckgradient erzeugt wird der einen Anteil des Volumenstroms von beispielsweise 0,1% bis 5% durch den Bypass **126** treibt. Die MEMS-Komponenten umfassen weiterhin einen Temperatursensor **127**, beispielsweise ein Halbleiterwiderstandselement, oder ein Pt-Widerstandselement, welches insbesondere eine Temperatur des Messrohrs **122** oder nahe des Messrohrs erfasst, die für die Temperatur des Mediums repräsentativ ist.

[0034] Die Messanordnung **101** umfasst weiterhin einen Drucksensor **130** zum Erfassen eines Druckmesswerts an einem Druckabgriffpunkt **132**, welcher an dem Fluidpfad **116** zwischen der Zahnringpumpe **140** und einer Drosselanordnung **160a** angeordnet ist. Genauer gesagt, ist der Druckabgriffpunkt hier in Strömungsrichtung unterhalb des Dichtemessers angeordnet.

[0035] Da jedoch über der Blende **124** bzw. dem Messrohr **122** ein Druckabfall erfolgt, der im Wesentlichen proportional zum Volumenstrom ist, ist der Druck am Druckabgriffpunkt **132** definitiv niedriger als der Mittlere Druck im Messrohr **122**. Insofern ist es vorteilhaft einen weiteren Drucksensor zwischen der Pumpe und dem Messrohr vorzusehen, und einen mittleren Druck für das Fluid im Messrohr aus den Messwerten der beiden Drucksensoren unterhalb und oberhalb des Messrohrs zu berechnen. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft wenn der tatsächliche Druck des Fluids im Messrohr von Interesse ist, beispielsweise, um davon ausgehend eine Dichte bei einem Referenzdruck zu berechnen. Für die Bestimmung der Kompressibilität ist jedoch ein zweiter Drucksensor ausdrücklich nicht erforderlich, denn bei einem konstanten Volumenstrom ist der Druckabfall über dem Messrohr konstant, so dass er nicht zur Druckdifferenz in Gleichung (1) beiträgt.

[0036] Die Drosselanordnung **160a** umfasst zwei parallel geschaltete Rückschlagventile, von denen ein erstes Rückschlagventil **162a** einen niedrigeren Arbeitspunkt hat als ein zweites Rückschlagventil **164a**. Der erste Arbeitspunkt des ersten Rückschlagventils **162a** liegt beispielsweise bei 0,5–1 bar, während der zweite Arbeitspunkt des zweiten Rückschlagventils **164a** bei 5–10 bar liegt. Dem ersten Rückschlagventil **162a** ist ein automatisch steuerbares Rückschlagventil-Sperrventil **166a** vorgeschaltet. Wenn das Rückschlagventil-Sperrventil **166a** geöffnet ist, kann der von der Zahnringpumpe **114** getriebene Volumenstrom über das erste Rückschlagventil **162a** fließen, so dass der statische Druck des strömenden Fluids, durch den Arbeitspunkt des ersten Rückschlagventils **162a** bestimmt ist. Wenn dagegen das Rückschlagventil-Sperrventil **166a** geschlossen ist, fließt der Volumenstrom über das zweite Rückschlagventil **164a**, so dass der statische Druck über den zweiten Arbeitspunkt bestimmt ist und damit einen deutlich höheren Wert aufweist. Mittels des Absperrventils **166a** kann somit bei einem konstanten Volumenstrom der statische Druck alternierend durch den ersten Arbeitspunkt und dem zweiten Arbeitspunkt bestimmt werden. Welchen Wert der statische Druck des Fluids aufweist, kann mit dem Drucksensor **130** mit den zuvor erläuterten Einschränkungen ermittelt werden.

[0037] Die Messanordnung **101** umfasst weiter eine Betriebs- und Auswerteeinheit **140**, welche dazu eingerichtet ist, anhand der Wertetupel für verschiedene statische Druckmesswerte, mit den jeweils zugehörigen Dichte- und ggf. Temperaturmesswerten des strömenden Fluids die Kompressibilität des Fluids zu bestimmen und damit eine Dichtewert des bei Referenzbedingungen, beispielsweise 1013 mbar zu ermitteln. Gleichermaßen steuert die Betriebs- und Auswerteeinheit das Rückschlagventil-Sperrventil **166a** zum Sperren des ersten Rückschlagventils **162a**.

[0038] Die elektrischen Schaltungen der Differenzdruckmessanordnung, des Dichtemessers **120**, sowie der Betriebs- und Auswerteeinheit sind vorzugsweise in der Zündschutzart Ex-i (eigensicher) ausgeführt. Die elektronische Schaltung Zahnringpumpe **114** ist vorzugsweise ebenfalls in einer Zündschutzart realisiert, beispielsweise in druckfester Kapselung gemäß der Klasse Ex-d.

[0039] In **Fig. 2b** ist eine Drosselanordnung **160b** dargestellt, welche als Alternative zur in **Fig. 2a** dargestellten Drosselanordnung **160a** in dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2a** eingesetzt werden kann. Die Drosselanordnung **160b** weist eine Blende **166b** mit veränderbarem Strömungsquerschnitt auf, wobei der Strömungsquerschnitt mit einem Stellantrieb einstellbar ist, der von der Betriebs- und Auswerteeinheit **140** gesteuert wird. Durch Variation des Strömungsquerschnitts kann der Druckab-

fall über der Blende bei gleichbleibendem Volumendurchfluß beispielsweise zwischen 0,1 und 10 bar variiert werden.

[0040] Das in **Fig. 3** dargestellte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung **201** umfasst alle Komponenten des ersten Ausführungsbeispiels. Detaillierte Erläuterungen zu den Komponenten des ersten Ausführungsbeispiels gelten für das zweite Ausführungsbeispiel entsprechend. Das zweite Ausführungsbeispiel enthält darüber hinaus weitere Komponenten, die eine Bestimmung der Viskosität des Fluids und damit eine Korrektur von viskositätsabhängigen Fehlern bei der Dichtemessung ermöglicht. Zusammen mit der erfindungsgemäßen Bestimmung der Kompressibilität kann auch für Medien mit höherer Viskosität ein noch genauerer Wert für die Dichte unter Referenzbedingungen angegeben werden.

[0041] Die Messanordnung **201** umfasst eine Entnahmeleitung **202**, die zu einer Rohrleitung **204** zwischen einem ersten Anschlusspunkt **206** und einem zweiten Anschlusspunkt **208** parallel geführt ist. Die Messanordnung **201** umfasst in der Entnahmeleitung **202** weiterhin eine Mikrozinringpumpe **214** zum Treiben eines definierten Volumenstroms durch den von der Entnahmeleitung **202** und darin angeordneten Komponenten gebildeten Fluidpfad **216**. In der Entnahmeleitung **202** ist vor der Zahnringpumpe **114** noch ein Filterelement **215** angeordnet, um zu gewährleisten, dass nachfolgende Komponenten nicht verstopfen.

[0042] In der Entnahmeleitung **202** ist ein Dichtemesser **220** mit einem schwingfähigen Messrohr **222** angeordnet, welches mittels eines Erregers zu Biegeschwingungen anregbar ist, deren Resonanzfrequenz von der Dichte eines in dem Messrohr **222** enthaltenen Mediums abhängt. Der Flüssigkeitspfadabschnitt durch das Messrohr **222** und die anschließenden MEMS-Komponenten ist als Bypass **226** parallel zu einer Blende **224** geführt. Die Blende **224** weist einen Durchmesser von 0,5 bis 2 mm auf, welcher so bemessen ist, dass aufgrund des durch den Volumenstrom in der Entnahmeleitung **202**, ein Druckgradient erzeugt wird, der einen Anteil des Volumenstroms von beispielsweise 0,1% bis 5% durch den Bypass **226** treibt. Die MEMS-Komponenten umfassen weiterhin einen Temperatursensor **227**, beispielsweise ein Halbleiterwiderstandselement, oder ein Pt-Widerstandselement, welches insbesondere eine Temperatur des Messrohrs **222** oder nahe des Messrohrs erfasst, die für die Temperatur des Mediums repräsentativ ist.

[0043] Die Messanordnung **201** umfasst weiterhin einen ersten Drucksensor **230a** zum Erfassen eines Druckmesswerts an einem ersten Druckabgriffpunkt **232a**, welcher an dem Fluidpfad **216** zwischen der

Zahnringpumpe **240** und dem Dichtemesser **220** angeordnet ist, und einen zweiten Drucksensor **230b** zum Erfassen eines Druckmesswerts an einem zweiten Druckabgriffpunkt **232b**, welcher an dem Fluidpfad **116** zwischen dem Dichtemesser **220** und einer Drosselanordnung **160a** angeordnet ist.

[0044] Der Zweck der beiden Drucksensoren **230a** und **230b** ist hier zweifach. Zunächst werden die im Zusammenhang des ersten Ausführungsbeispiels erörterten Schwächen der Druckmessung mit nur einem Drucksensor überwunden, indem eine Mittelung der Druckmesswerte des ersten und des zweiten Drucksensors erfolgt.

[0045] Weiterhin kann durch eine Differenzbildung zwischen den Druckmesswerten des ersten Drucksensors **230a** und des zweiten Drucksensors **230b** der Druckabfall über dem Dichtemesser **220** berechnet werden, aus dem sich bei gegebenem Volumendurchfluss die Viskosität des Fluids ermitteln lässt.

[0046] Die Drosselanordnung **260** umfasst zwei parallel geschaltete Rückschlagventile, von denen ein erstes Rückschlagventil **262** einen niedrigeren Arbeitspunkt hat als ein zweites Rückschlagventil **264**. Der erste Arbeitspunkt des ersten Rückschlagventils **262** liegt beispielsweise bei 0,5–1 bar, während der zweite Arbeitspunkt des zweiten Rückschlagventils **264** bei 5–10 bar liegt. Dem ersten Rückschlagventil **262** ist ein automatisch steuerbares Rückschlagventil-Sperrventil **266** vorgeschaltet. Wenn das Rückschlagventil-Sperrventil **266** geöffnet ist, kann der von der Zahnringpumpe **214** getriebene Volumenstrom über das erste Rückschlagventil **262** fließen, so dass der statische Druck des strömenden Fluids, durch den Arbeitspunkt des ersten Rückschlagventils **262** bestimmt ist. Wenn dagegen das Absperrventil **266** geschlossen ist, fließt der Volumenstrom über das zweite Rückschlagventil **264**, so dass der statische Druck über den zweiten Arbeitspunkt bestimmt ist und damit einen deutlich höheren Wert aufweist. Mittels des Absperrventils **266** kann somit bei einem konstanten Volumenstrom der statische Druck alternierend durch den ersten Arbeitspunkt und dem zweiten Arbeitspunkt bestimmt werden. Welchen Wert der statische Druck des Fluids im Messrohr **222** aufweist, kann durch Mittelung der Druckmesswerte des ersten Drucksensor **230a** und des zweiten Drucksensors **230b** ermittelt werden.

[0047] Die Messanordnung **201** umfasst weiter eine Betriebs- und Auswerteeinheit **240**, welche dazu eingerichtet ist, anhand der Werte für den Volumendurchfluss, und der zugehörigen Druckdifferenz einen aktuellen Viskositätsmesswert des Fluids zu bestimmen, und anhand einer gemessenen Resonanzfrequenz des Messrohrs bzw. einem daraus abgeleiteten Dichtemesswert einen bezüglich eines Viskositätseinflusses korrigierten Dichtemesswert zu be-

rechnen. Weiterhin ist die Betriebs- und Auswerteeinheit **240** dazu geeignet, anhand von Wertetupeln für verschiedene gemittelte statische Druckmesswerte in dem Messrohr, mit den jeweils zugehörigen bezüglich des Viskositätseinflusses korrigierten Dichtemesswerten und ggf. Temperaturmesswerten des strömenden Fluids die Kompressibilität des Fluids zu bestimmen. Auf Basis dieser Werte eine Dichte des Fluids bei einem Referenzdruck, beispielsweise 1013 mbar berechnet werden.

[0048] Gleichermaßen steuert die Betriebs- und Auswerteeinheit das Rückschlagventil-Sperrventil **266** zum Sperren des ersten Rückschlagventils **262a**.

[0049] Die Messanordnung **201** kann weiterhin einen Vorratsbehälter **250** und einen Abfallbehälter **252** für ein Hilfsmedium aufweisen. Das Hilfsmedium kann einerseits eine Reinigungsflüssigkeit sein, beispielsweise Benzin, oder ein Referenzmedium mit definierter Viskosität oder Dichte zum Kalibrieren der Messanordnung **201**. Damit das Hilfsmedium nicht unkontrolliert in die Rohrleitung **204** gelangen kann, sind in der Entnahmeleitung **202** nahe dem ersten und zweiten Anschlusspunkt **206**, **208** ein erstes bzw. Sperrventil **210**, **212** vorgesehen. Der Vorratsbehälter **250** ist zwischen dem ersten Sperrventil **210** und dem Filter **215** mittels einer Stichleitung an die Entnahmeleitung angeschlossen, wobei in der Stichleitung ein Rückschlagventil **254** angeordnet ist. Der Abfallbehälter **252** ist zwischen dem zweiten Drucksensor **230b** und der Drosselanordnung **260** mittels einer Stichleitung an die Entnahmeleitung angeschlossen, wobei in der Stichleitung ein Sperrventil **256** angeordnet ist.

Bezugszeichenliste

1	Kompressibilitätsbestimmung
10	Erste Dichte- und Druckmessung
20	Zweite Dichte- und Druckmessung
30	Berechnung der Kompressibilität
40a	Berechnung der Schallgeschwindigkeit
40b	Berechnung einer Referenzdichte
101	Messanordnung
102	Entnahmeleitung
104	Rohrleitung
106	Anschlusspunkt
108	Anschlusspunkt
114	Pumpe
115	Filterelement
116	Fluidpfad
120	Dichtemesser
122	Messrohr
124	Blende
126	Bypass
127	Temperatursensor
130	Drucksensor
132	Druckabgriffpunkt
140	Auswerteeinheit

160a	Drosselanordnung
162a	Rückschlagventil mit niedrigerem Schwellwert
164a	Rückschlagventil mit höherem Schwellwert
166a	Rückschlagventil-Sperrventil
160b	Drosselanordnung
166b	Drossel mit kontinuierlich einstellbarem Strömungsquerschnitt
201	Messanordnung
202	Entnahmeleitung
204	Rohrleitung
206	Anschlusspunkt
208	Anschlusspunkt
210	Sperrventil
214	Pumpe
215	Filterelement
216	Fluidpfad
220	Dichtemesser
222	Messrohr
224	Blende
226	Bypass
227	Temperatursensor
230a	erster Drucksensor
230b	zweiter Drucksensor
232a	erster Druckabgriffpunkt
232b	zweiter Druckabgriffpunkt
240	Auswertungseinheit
250	Vorratsbehälter
252	Abfallbehälter
254	Rückschlagventil
256	Sperrventil
262	Rückschlagventil mit niedrigerem Schwellwert
264	Rückschlagventil mit höherem Schwellwert
266	Rückschlagventil-Sperrventil

Patentansprüche

1. Verfahren (1) zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Treiben eines Volumenstroms des Fluids mittels einer Pumpe, durch mindestens ein Messrohr eines vibronischen Dichtmessers bei einem ersten Druck, der mittels einer Drossel gehalten wird;

Bestimmen eines ersten Dichtemesswerts des strömenden Fluids bei dem ersten Druck (10);

Bestimmen eines ersten Druckmesswerts des strömenden Fluids bei dem ersten Druck (10);

Treiben eines Volumenstroms des strömenden Fluids mittels einer Pumpe, durch einen Dichtemesser bei einem zweiten Druck, der mittels einer Drossel gehalten wird;

Bestimmen eines zweiten Dichtemesswerts des Fluids bei dem zweiten Druck, der sich von dem ersten Druck unterscheidet (20);

Bestimmen eines zweiten Druckmesswerts des strömenden Fluids bei dem zweiten Druck (20);

Bestimmen der Kompressibilität des Fluids, anhand des ersten Dichtemesswerts des zweiten Dichte-

messwerts, des ersten Druckmesswerts und des zweiten Druckmesswerts unter der Annahme, dass die Zusammensetzung des Fluids zwischen dem Erfassen des ersten Dichtemesswerts und des zweiten Dichtemesswerts unverändert ist (30).

2. Verfahren (1) nach Anspruch 1, weiterhin umfassend:

das Berechnen eines dritten Dichtewerts (40b) bei einem dritten Druck anhand der ermittelten Kompressibilität und anhand mindestens eines der ersten und zweiten Dichtemesswerte, wobei sich der dritte Druck von dem ersten Druck und dem zweiten Druck unterscheidet, wobei der dritte Druck insbesondere außerhalb eines von dem ersten Druck und dem zweiten Druck begrenzten Intervalls liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, weiterhin umfassend:

das Berechnen eines Schallgeschwindigkeitswerts (40a) anhand der Kompressibilität und mindestens eines der Dichtemesswerte.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche wobei die Bestimmung der Kompressibilität unter der Annahme einer konstanten Temperatur des Fluids bei dem ersten Druckmesswert und dem zweiten Druckmesswert erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine erste Temperatur des Fluids in dem Messrohr beim Erfassen des ersten Dichtemesswerts von einer zweiten Temperatur des Fluids in dem Messrohr beim Erfassen des zweiten Dichtemesswerts um nicht mehr als 5 °C, insbesondere nicht mehr als 2 °C und bevorzugt nicht mehr als 1 °C abweicht.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des ersten Dichtemesswerts und das Bestimmen des zweiten Dichtemesswerts, jeweils das Erfassen eines Eigenfrequenzwerts mindestens eines Biegeschwingungsmodes des Messrohrs umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Eigenfrequenz von dem mindestens einen Biegeschwingungsmode von einer Biegesteifigkeit des Messrohrs abhängt, welche eine Querempfindlichkeit zum Druck des Fluids in dem Messrohr aufweist, wobei die druckabhängige Biegesteifigkeit des Messrohrs in die Bestimmung des Dichtemesswertes auf Basis der erfassten Eigenfrequenzen eingeht, wobei zum Bestimmen der druckabhängigen Biegesteifigkeit mindestens einer der erfassten Druckmesswerte verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei weiterhin anhand eines Druckabfalls entlang eines Abschnitts des Fluidpfads eine Visko-

sität des Fluids ermittelt wird, und wobei der Dichtemesswert des vibronischen Dichtemessers bezüglich einer Querempfindlichkeit zur Viskosität des Fluids korrigiert ist.

9. Messanordnung (**101; 201**) zum Bestimmen der Kompressibilität eines strömenden Fluids und oder einer von der Kompressibilität abhängigen Größe, umfassend:

einen Fluidpfad (**116; 216**) zum Führen eines Mediums;

eine Pumpe (**114; 214**), welche in dem Fluidpfad (**116; 216**) angeordnet ist, zum Treiben eines Volumenstroms des Mediums in dem Fluidpfad (**116; 216**);

einen Dichtemesser (**120; 220**) mit mindestens einem Oszillator welcher mindestens ein schwingfähiges Messrohr (**122; 222**), zum Führen des Mediums aufweist, mit mindestens einer Erregeranordnung zum Anregen von Schwingungen des Messrohrs, und mit mindestens einer Sensoranordnung zum Erfassen mindestens einer Schwingungseigenschaft des Oszillators, wobei das Messrohr oder die Messrohre des mindestens einen Oszillators in dem Fluidpfad angeordnet ist bzw. sind;

eine Drosselanordnung (**160a; 260**) mit einem veränderbaren Strömungswiderstand, wobei der Dichtemesser zwischen der Pumpe (**114; 214**) und der Drosselanordnung (**160a; 260**) in dem Fluidpfad angeordnet ist, wobei die Drosselanordnung dazu dient, bei einem konstanten Volumenstrom aufgrund unterschiedlicher Strömungswiderstände unterschiedliche statische Druckwerte in dem Dichtemesser zu bewirken;

mindestens einen Drucksensor (**130; 230**) zum Erfassen eines Druckmesswerts dem Fluidpfad (**116; 216**), wobei der Drucksensor zwischen der Pumpe (**114; 214**) und der Drosselanordnung (**160; 260**) in dem Fluidpfad (**116; 216**) angeordnet ist;

eine Betriebs- und Auswerteeinheit (**140; 240**), welche dazu eingerichtet ist, anhand mindestens zweier Dichtemesswerte und der zugehörigen Druckmesswerte, die bei unterschiedlichen Strömungswiderständen der Drosselanordnung (**160a; 260**) erfasst wurden, einen Wert für die Kompressibilität des Fluids zu ermitteln.

10. Messanordnung nach Anspruch 9, wobei die Drosselanordnung **160a** zwei parallel geschaltete Rückschlagventile aufweist, von denen ein erstes Rückschlagventil **162a** einen niedrigeren Arbeitspunkt hat als ein zweites Rückschlagventil **164a**, und dem ersten Rückschlagventil **162a** ein Rückschlagventil-Sperrventil **166a** vorgeschaltet ist, welches insbesondere automatisch steuerbar ist.

11. Messanordnung nach Anspruch 9, wobei die Drosselanordnung **160b** eine Blende mit einer einstellbaren Blendenöffnung aufweist.

12. Messanordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Messanordnung weiterhin einen zweiten Drucksensor aufweist, wobei der Dichtemesser zwischen dem ersten Drucksensor und dem zweiten Drucksensor angeordnet ist.

13. Messanordnung nach Anspruch 12, wobei die Betriebs- und Auswerteeinheit (**240**) dazu eingerichtet ist, einen Druckmesswert für das Fluid, der einem Dichtemesswert zugeordnet ist, als Mittelwert von im Wesentlichen gleichzeitig aufgenommenen Druckmesswerten des ersten Drucksensors und des zweiten Drucksensors zu bestimmen.

14. Messanordnung nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Betriebs- und Auswerteeinheit (**240**) dazu eingerichtet ist, einen Viskositätsmesswert für das Fluid anhand des Volumenstroms und einer Differenz von im Wesentlichen gleichzeitig aufgenommenen Druckmesswerten des ersten Drucksensors und des zweiten Drucksensors zu bestimmen, und den Dichtemesswert anhand der Schwingungseigenschaft des Oszillators und des Viskositätsmesswerts zu bestimmen.

15. Messanordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei die Betriebs- und Auswerteeinheit (**240**) dazu eingerichtet ist, einen Dichtewert unter Referenzbedingungen, beispielsweise 1013 mbar, anhand des Dichtemesswerts, des zugeordneten Druckmesswerts und des ermittelten Werts für die Kompressibilität zu bestimmen.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

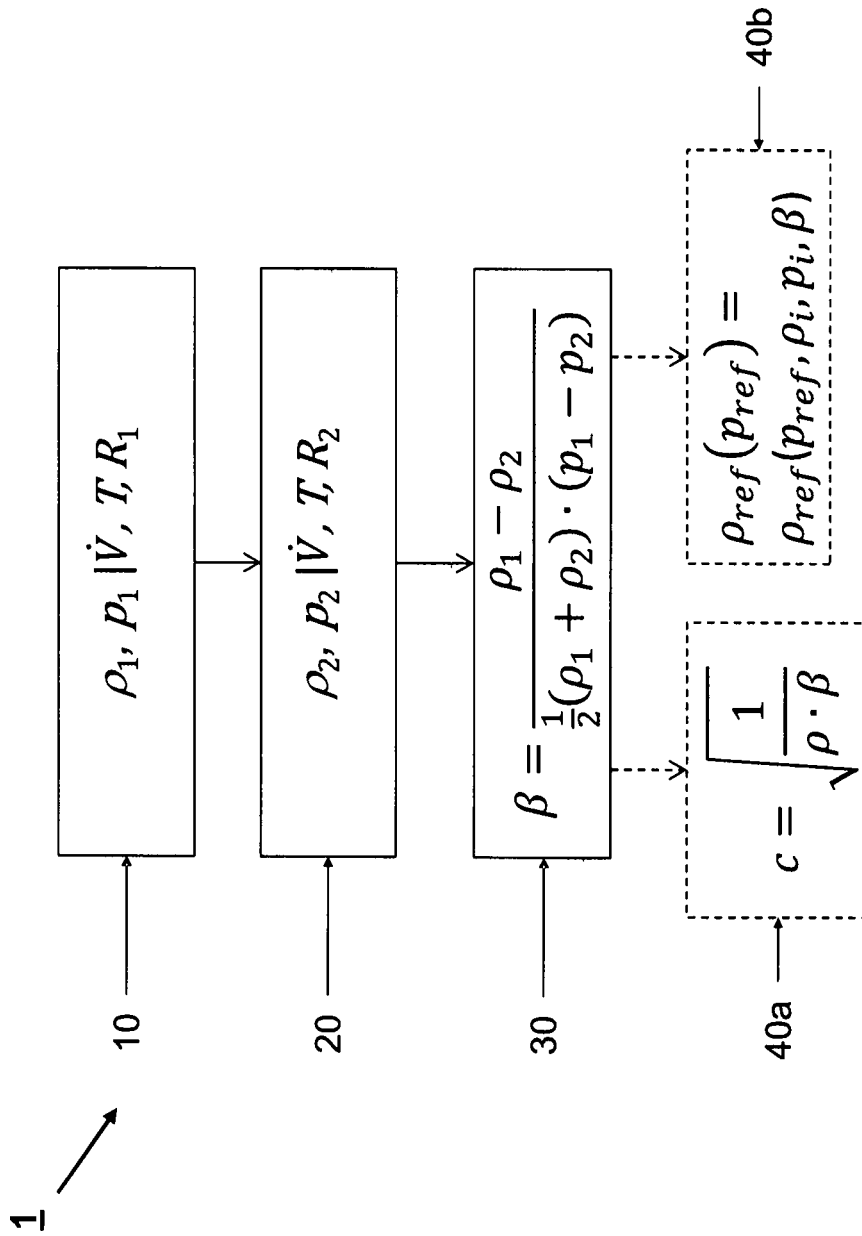


Fig. 1

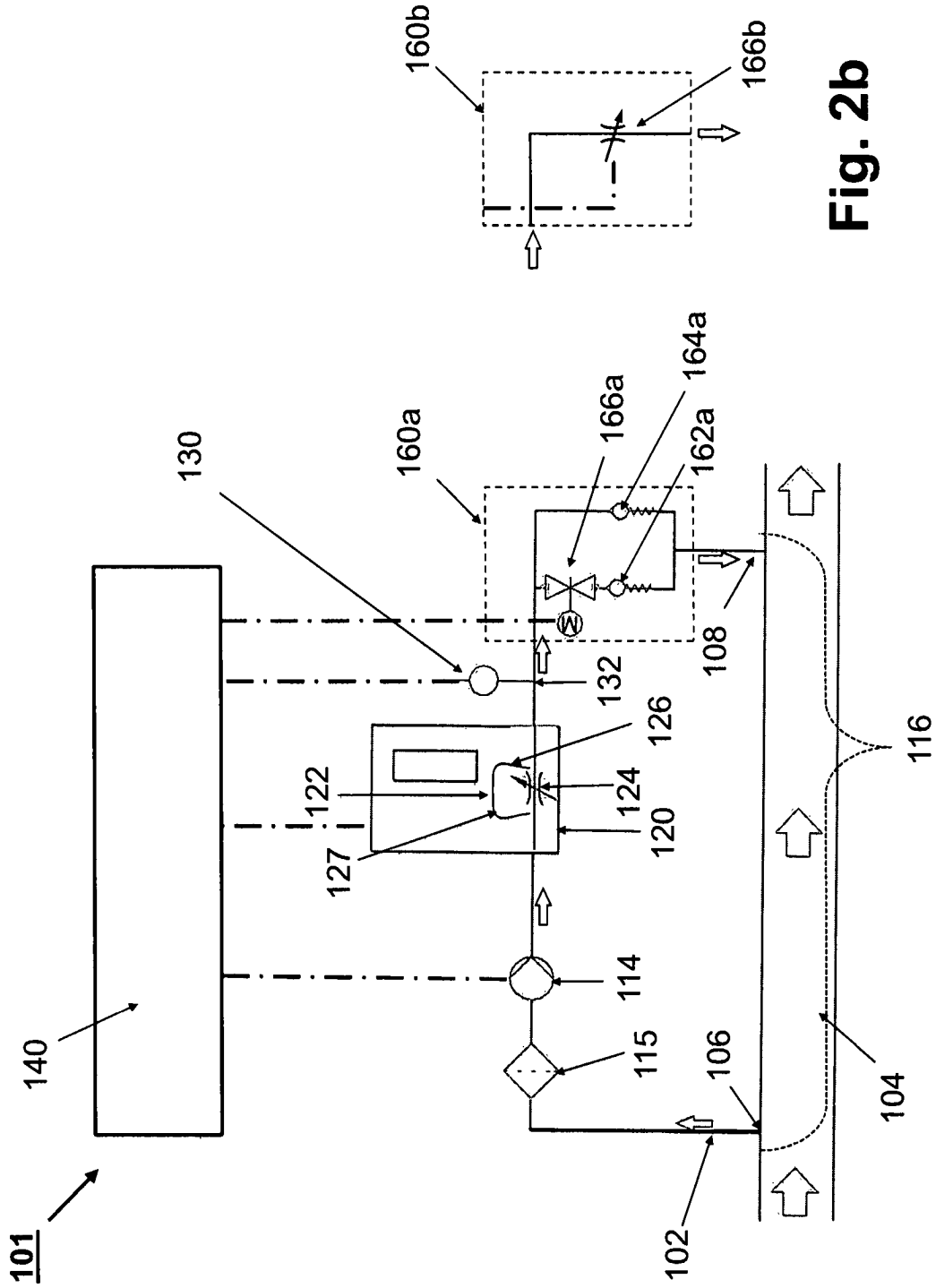


Fig. 2b

Fig. 2a

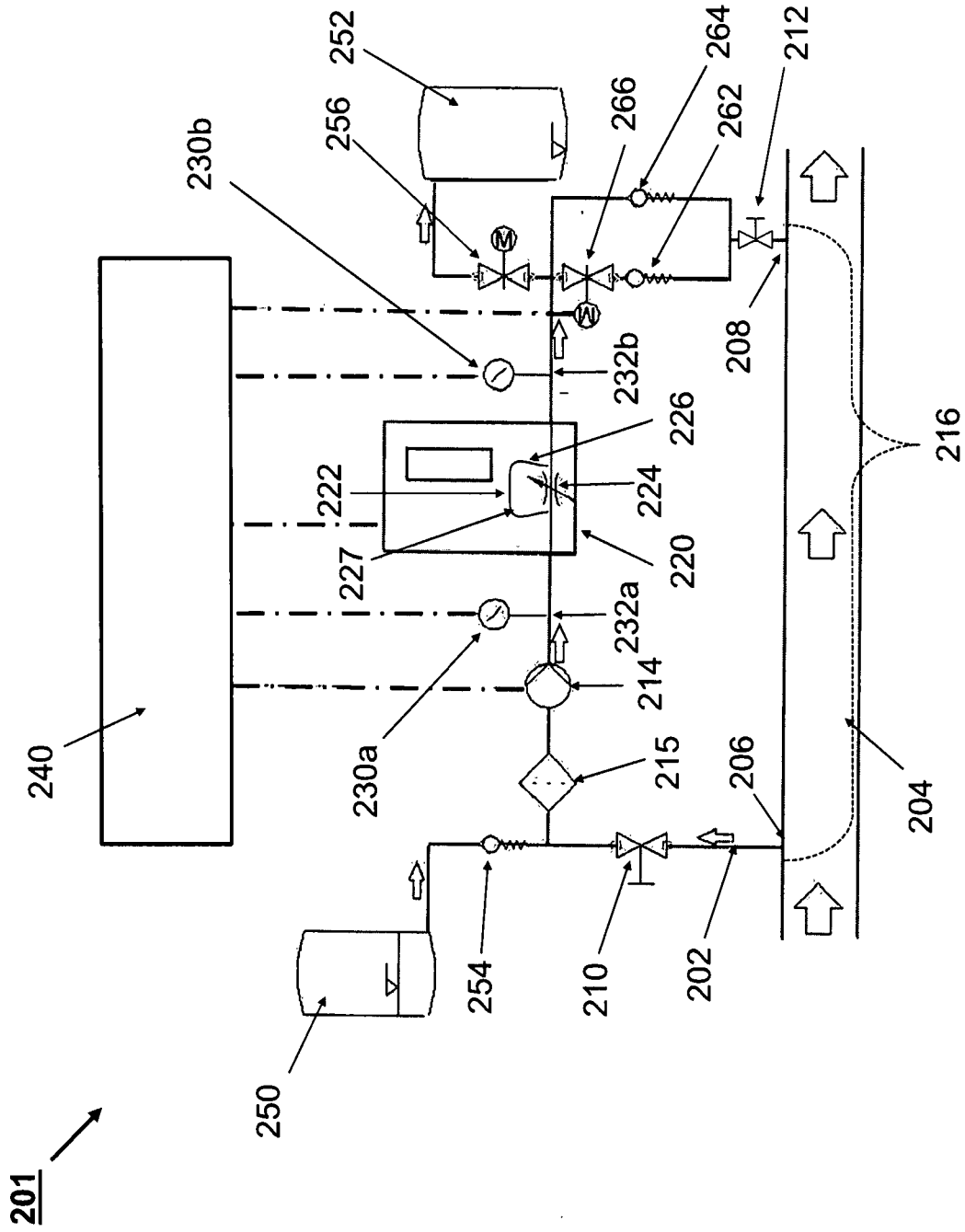


Fig. 3