

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50795/2019
(22) Anmeldetag: 12.09.2019
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2024

(51) Int. Cl.: **G01N 9/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 12626 U1
AT 514574 B1

(73) Patentinhaber:
Belitsch Wolfgang
8075 Hart (AT)

(74) Vertreter:
Schwarz & Partner Patentanwälte GmbH
1010 Wien (AT)

(54) Schwinger zur Dichtemessung einer Flüssigkeit

(57) Anlage zur Dichtemessung einer Flüssigkeit, umfassend einen Schwinger (13) mit einer Gegenmasse (3) und einem Behälter (14) für die Flüssigkeit, wobei der Schwinger (13) aus Metall gefertigt ist und der Behälter (14) zwei zueinander identische Resonatorrohre (15, 16), die im Wesentlichen parallel zueinander in der Gegenmasse (3) eingespannt sind, und ein die Resonatorrohre (15, 16) verbindendes Verbindungsrohr (17) aufweist, wobei die Resonatorrohre (15, 16) in eine Resonanzschwingung versetzbar sind, bei welcher der gemeinsame Schwerpunkt der Resonatorrohre (15, 16) während der Resonanzschwingung in Ruhe bleibt, wobei der Schwinger (13) einen sich zwischen der Gegenmasse (3) und dem Verbindungsrohr (17) befindlichen Steg (20) umfasst, der die Resonatorrohre (15, 16) derart zueinander beabstandet, dass die zwischen der Gegenmasse (3) und dem Steg (20) eingeschlossenen Längen (L) der Resonatorrohre (15, 16) in eine gegengleiche Schwingung versetzbar sind, aus welcher die Dichte der sich im Schwinger (1) befindlichen Flüssigkeit bestimmbar ist,

wobei die Anlage einen Temperaturfühler (12) zur Messung der Temperatur am Verbindungsrohr (17), eine Auswerteeinheit und eine Temperiereinheit umfasst, die dazu ausgebildet ist, den Schwinger (13) auf eine vorbestimmte Temperatur zu bringen, wobei die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, eine vom Temperaturfühler (12) gemessene Temperatur

bei der Bestimmung der Dichte und den zeitlichen Dichteverlauf bei Änderung der Temperatur aufzuzeichnen.

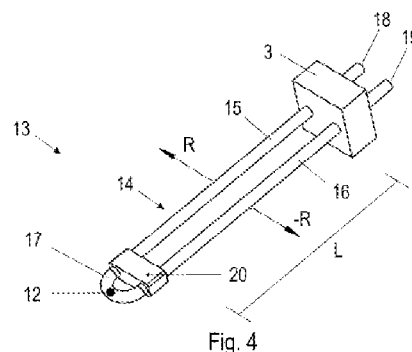


Fig. 4

Beschreibung

SCHWINGER ZUR DICHTEMESSUNG EINER FLÜSSIGKEIT

[0001] Die Erfindung betrifft einen Schwinger zur Dichtemessung einer Flüssigkeit, umfassend eine Gegenmasse und einen Behälter für die Flüssigkeit, wobei der Schwinger aus Metall gefertigt ist und der Behälter zwei zueinander identische Resonatorrohre, die im Wesentlichen parallel zueinander in der Gegenmasse eingespannt sind, und ein die Resonatorrohre verbindendes Verbindungsrohr und einen Steg zur Versteifung aufweist, wobei die Resonatorrohre in eine Resonanzschwingung versetzbar sind, bei welcher der gemeinsame Schwerpunkt der Resonatorrohre während der Resonanzschwingung in Ruhe bleibt.

[0002] Für die Messung der Dichte von Flüssigkeiten ist seit Jahrzehnten bekannt, Flüssigkeiten in sogenannte Schwinger zu füllen und eine Resonanzfrequenz des Schwingers nach dessen Anregung zu messen. Das Prinzip der Messung beruht bei derartigen Schwingern auf einem Feder-Masse-Schwinger, dessen Masse sich einerseits aus dem Schwinger und andererseits aus der zu messenden Flüssigkeit zusammensetzt.

[0003] Im Folgenden wird der Stand der Technik anhand der Fig. 1- 3 erläutert, in denen jeweils aus dem Stand der Technik bekannte Schwinger dargestellt sind.

[0004] Ein erstes Beispiel eines Schwingers 1 aus dem Stand der Technik ist in Fig. 1 dargestellt. Dieser Schwinger 1 umfasst ein U-förmiges Rohr 2 und eine Gegenmasse 3, in welcher das Rohr 2 mit seinen beiden Enden eingespannt ist, sodass das Rohr 2 mit einer freien Länge L schwingen kann. Bei dieser ursprünglichen Form des Schwingers 1 wird das zu einer U- Form gebogene Rohr 2 senkrecht zur Ebene, in der das U-förmige Rohr 2 liegt, in den Richtungen R , $-R$ gegen seine Ruhelage ausgelenkt und so zu einer Resonanzschwingung angeregt (z.B. DMA 5000 der Firma Anton Paar GmbH oder Excellence D6 der Firma Mettler Toledo). Das hat den Vorteil, dass die Resonanzfrequenz relativ niedrig ist (einige 100 Hertz), aber den Nachteil, dass die sogenannte Gegenmasse 3, an der das U-förmige Rohr 3 befestigt wird, relativ groß (ungefähr 8 bis 10 kg) sein muss, weil sonst der Messfehler für verschieden große Dichten der Messflüssigkeit zu groß sein würde.

[0005] In Fig. 2 ist gezeigt, dass der Nachteil der großen Gegenmasse 3 mit einem anderen Schwinger 4 behoben werden kann. Dazu wird ein doppelt gebogenes U-förmiges Rohr eingesetzt, bei dem ein erstes U-förmiges Rohr 5 gegen ein zweites, zum ersten identisches U-förmiges Rohr 6 schwingt, wobei die Lage des gemeinsamen Schwerpunktes auch bei unterschiedlichen Dichten der Messflüssigkeit unverändert bleibt (z.B. DMA 35 der Firma Anton Paar GmbH oder Densito der Firma Mettler Toledo). Deshalb ist bei dieser Form eine große Gegenmasse 3 nicht notwendig. Der Nachteil dieser Form ist, dass der Bogen 7, der die Verbindung der beiden gegeneinander schwingenden U-Rohre 5, 6 bildet, weicher ist als die Verbindungsstelle an der jeweils anderen Seite der U-Rohre. Ein weiterer Nachteil ist, dass die beiden gegeneinander schwingenden U-Rohre auch bei automatisierter Fertigung nicht exakt identisch herstellbar sind. Dies führt zu einer geringeren Genauigkeit der Dichtemessung mit diesem Schwinger 4. Der Vorteil ist, dass dieser Schwinger 4 eine geringe Gegenmasse 3 benötigt, wodurch ein Messgerät mit geringem Gewicht gebaut werden kann (zum Beispiel als Hand-Held-Messgerät). Eine Weiterentwicklung dieses Schwingers 4 ist in der AT 520 318 B1 offenbart, der ein Stabilisierungselement im Bogen 7 umfasst, wobei jedoch die Nachteile der gegeneinander schwingenden U-Rohre im Wesentlichen bestehen bleiben.

[0006] Der Nachteil der weichen Verbindungsstelle 7 und der nicht exakt gleichen Herstellbarkeit der beiden U-Rohre 5, 6 wird durch einen weiteren Schwinger 8 behoben, der in Fig. 3 dargestellt ist. Hierbei schwingen zwei identische gerade Rohre 9, 10 gegeneinander, die durch ein steifes Verbindungsstück 11 miteinander verbunden sind (z.B. Dichtemodul im SVM 3001 oder Snap 50 der Firma Anton Paar GmbH). Mit diesem Schwinger 8 ist eine hohe Messgenauigkeit mit einer geringen Gegenmasse 3 erreichbar. Der Nachteil dieses Schwingers 8 ist neben der hohen Resonanzfrequenz, dass das Verbindungsstück 11 aus Glas nicht einfach fertigbar ist. Deshalb

kommt diese Form vor allem bei Schwingern aus Metall zum Einsatz.

[0007] Ein weiteres Problem tritt bei dem Schwinger 8 von Fig. 3 auf, wenn dieser temperiert werden soll. Wie allgemein bekannt ist, ist die Dichte der zu messenden Flüssigkeit stark von deren Temperatur abhängig, weswegen der mit der Flüssigkeit gefüllte Schwinger mit Hilfe einer Temperiereinheit auf eine bestimmte Referenztemperatur gebracht wird, beispielsweise um die Dichte bei einer gewünschten Referenztemperatur zu messen. Bei Messflüssigkeiten (wie zum Beispiel Alkohol in Wasser), wo die Temperaturabhängigkeit der Dichte genau bekannt ist, kann auf eine Thermostatisierung verzichtet werden. Es wird die Temperatur der Messflüssigkeit mit Hilfe eines Temperaturfühlers 12 (zum Beispiel eines NTC-Widerstandes) an dem mit der Messflüssigkeit gefüllten Schwingerrohr gemessen und der Messwert mit Hilfe des bekannten Temperaturkoeffizienten auf die gewünschte Temperatur berechnet. Dabei ist wichtig, dass die Temperatur der Messflüssigkeit gleich der Temperatur des Schwingerrohres ist. Hierzu wird die Temperatur der Flüssigkeit mit Hilfe eines Temperaturfühlers 12, wie in Fig. 2 gezeigt, gemessen. Dabei ist wichtig, dass die Temperatur der Messflüssigkeit gleich der Temperatur des Behälters des Schwingers ist. Der Temperaturfühler muss dafür an einer Stelle des Behälters angebracht sein, wo er die Resonanzschwingung nicht stört, weil sonst die Messgenauigkeit herabgesetzt werden würde. Deshalb kann der Temperaturfühler nur an einer Stelle des Schwingers angebracht werden, die während der gesamten Schwingung in Ruhe bleibt (siehe Fühler 12 an der genannten Stelle in Fig. 2). Bei den meisten Anwendungen ist jedoch die Temperaturabhängigkeit der Dichte nicht genau bekannt und der mit der Flüssigkeit gefüllte Schwinger muss mit Hilfe einer Temperiereinheit auf eine bestimmte Referenztemperatur gebracht werden.

[0008] Die Ausführungsform von Fig. 3 ist dafür jedoch nachteilig. Da das Verbindungsstück 11 eine relativ große thermische Masse im Vergleich zu den dünnwandigen Rohren 9, 10 des Schwingers 8 hat, braucht die Temperatur der Messflüssigkeit für einen Angleich an eine vorgegebene Temperatur deutlich länger, was zu einer längeren Zeit für eine Messung der Dichte führt.

[0009] Die AT 12626 U1 beschreibt einen Schwinger aus Glas mit einem Steg, der die Resonatorrohre vor einem U-förmigen Verbindungsstück voneinander beabstandet. Zusätzlich kann dieser Schwinger auf eine vorbestimmte Temperatur temperiert werden, sodass die Dichte an dieser Temperatur gemessen werden kann.

[0010] Die AT 514 574 B1 beschreibt einen Schwinger, der im Wesentlichen denselben Aufbau wie der Schwinger von Figur 2 aufweist. Dieser Schwinger ist in einem Vakuum isoliert, damit die Messvorrichtung nicht temperiert werden muss. Die Dichte wird hierbei für jene Temperatur bestimmt, die sich im System einstellt, nachdem ein Temperatenausgleich zwischen der Messflüssigkeit und dem Hohlkörper des Schwingers stattgefunden hat.

[0011] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Anlage mit Schwinger zur Messung der Dichte von Flüssigkeiten zu schaffen, der ohne große Gegenmasse auskommt, der thermostatisierbar ist, der wegen der Robustheit aus Metall gefertigt ist und mit dem ein genauer Messwert rascher ermittelt werden kann, als es bisher für Metallschwinger möglich war. Außerdem soll eine Wiederholmessung durchgeführt werden können, ohne dass für die gesamte Messung die doppelte Zeit gebraucht wird.

[0012] Diese Aufgabe wird durch eine Anlage zur Dichtemessung einer Flüssigkeit mit dem eingangs genannten Schwinger gelöst, wobei der Schwinger einen sich zwischen der Gegenmasse und dem Verbindungsrohr befindlichen Steg aufweist, der die Resonatorrohre derart zueinander beabstandet, dass die zwischen der Gegenmasse und dem Steg eingeschlossenen Längen der Resonatorrohre in eine gegengleiche Schwingung versetzbar sind, aus welcher die Dichte der sich im Schwinger befindlichen Flüssigkeit mit hoher Genauigkeit bestimmbar ist. Überdies umfasst die Anlage einen Temperaturfühler zur Messung der Temperatur am Verbindungsrohr, eine Auswerteeinheit und eine Temperiereinheit, die dazu ausgebildet ist, den Schwinger auf eine vorbestimmte Temperatur zu bringen, wobei die Auswerteeinheit dazu ausgebildet ist, eine vom Temperaturfühler gemessene Temperatur bei der Bestimmung der Dichte und den zeitlichen Dichteverlauf bei Änderung der Temperatur aufzuzeichnen.

[0013] Dieser Schwinger hat eine geringere thermische Masse als der Schwinger von Fig. 3, da er kein massives Verbindungsstück aufweisen muss. Der erfindungsgemäße Steg muss nicht so massiv wie das Verbindungsstück von Fig. 3 sein, da er nicht Teil des Behälters ist, in dem die zu messende Flüssigkeit aufgenommen ist. Gleichzeitig weist der Steg jedoch eine ausreichende Steifigkeit auf, sodass die eingeschlossenen Längen der Resonatorrohre in eine gegengleiche Schwingung mit hoher Genauigkeit der Resonanzfrequenz versetzbar sind.

[0014] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass für eine Reduktion der thermischen Masse des Schwingers statt eines einzigen Verbindungsstücks zwei voneinander getrennte Elemente vorgesehen werden können, einerseits das Verbindungsrohr und andererseits der Steg. Jedoch kann der Steg zur Erzielung der Versteifung des Verbindungsrohres insgesamt weniger massiv als das Verbindungsstück des Schwingers von Fig. 3 ausgebildet werden, sodass trotz der Verwendung eines zusätzlichen Elements die thermische Masse reduziert wird.

[0015] Die genannte Anlage ermöglicht aufgrund der Messgenauigkeit des Schwingers und der Anbringung eines Temperaturfühlers an einer geeigneten Stelle, den zeitlichen Dichteverlauf bei Änderung der Temperatur aufzuzeichnen. Hierbei kann die Dichte bei einer gewünschten Referenztemperatur, beispielsweise im Wesentlichen 15°C oder 20°C, bestimmt werden. Die Aufzeichnung des Dichteverlaufs dient hierbei dazu, aus dem anfänglichen Verlauf der Dichte bereits die Dichte an der gewünschten Referenztemperatur zu extrapolieren, ohne die Temperierung vollständig bis zur Referenztemperatur durchzuführen.

[0016] Bevorzugt sind die Resonatorrohre und das Verbindungsrohr als gebogenes U-förmiges Rohr einstückig gefertigt, was eine besonders einfache Konstruktion des Schwingers erlaubt, da auf zusätzliche Verbindungsstellen zwischen Resonatorrohren und Verbindungsrohr verzichtet werden kann. Alternativ könnte ein separates Verbindungsrohr auch mit den Resonatorrohren verschweißt oder verlötet werden.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform ist ein Temperaturfühler, bevorzugt ein Heißleiter, am Verbindungsrohr angebracht. Die Anbringung des Temperaturfühlers am Verbindungsrohr hat den Vorteil, dass einerseits die Temperatur direkt am die Flüssigkeit aufnehmenden Behälter gemessen werden kann und andererseits die Temperaturmessung an einem Teil des Schwingers stattfinden kann, der von der Resonanzschwingung ausgekoppelt ist. Heißleiter, im Stand der Technik auch als NTC-Widerstand (Negative Temperature Coefficient) oder NTC-Thermistor bekannt, eignen sich für diese Art der Temperaturmessung besonders gut. Eine Alternative für das Messen der Temperatur stellt beispielsweise die Infrarotmessung oder ein PTC-Widerstand (Positive Temperature Coefficient) dar.

[0018] Eine Anlage könnte z.B. ohne eingebaute Messeinheit und Auswerteeinrichtung ausgeliefert werden, beispielsweise wenn die Anlage tragbar ausgebildet ist und die Messung und Auswertung extern erfolgt. Bevorzugt umfasst die genannte Anlage jedoch bereits eine Messeinrichtung, die dazu ausgebildet ist, die Frequenz der Schwingung der genannten Längen zu bestimmen, und eine Auswerteeinheit, die dazu ausgebildet ist, aus der genannten Frequenz die Dichte der Flüssigkeit zu bestimmen.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Auswerteeinrichtung ferner dazu ausgebildet, die Dichte für eine vordefinierte Temperatur zu berechnen. Dies hat den Vorteil, dass die gemessene Dichte einer tatsächlichen bzw. gewünschten Temperatur zugeordnet werden kann.

[0020] Ein häufig auftretendes Problem bei den genannten Dichtemessungen ist, dass mit der Flüssigkeit Gasblasen in den Behälter eingeschlossen werden, was eine genaue Dichtemessung der Flüssigkeit verunmöglicht. Um dieses Problem zu beheben, ist in einer besonders bevorzugten Ausführungsform die Auswerteeinheit dazu ausgebildet, den zeitlichen Dichteverlauf über einen ersten Probezeitraum aufzuzeichnen, nach einem Wechsel der Flüssigkeit den Dichteverlauf über einen zweiten Probezeitraum aufzuzeichnen und den Dichteverlauf nach dem zweiten Probezeitraum weiter aufzuzeichnen, wenn der Dichteverlauf des ersten Probezeitraums im Wesentlichen dem Dichteverlauf des zweiten Probezeitraums entspricht. Diese Ausführungsform wird

erst dadurch ermöglicht, dass der Temperaturfühler direkt am Behälter ansetzen kann, ohne die Schwingung zu beeinträchtigen, da dies zu einer fast unmittelbaren Temperaturmessung der Flüssigkeit führt. Vorteilhaft ist hierbei, dass keine zweite vollständige Wiederholmessung durchgeführt werden muss, sondern nur eine erste, verkürzte Referenzmessung.

[0021] In den genannten Ausführungsformen ist bevorzugt, wenn der Schwinger in der Anlage innerhalb eines mit Gas, zum Beispiel Luft, gefüllten Behältnisses montiert ist. Da bei der beschriebenen Methode das mit der Messflüssigkeit gefüllte Rohr mit seiner Resonanzfrequenz schwingen soll, darf das Rohr außen nur mit einem Gas umgeben sein, weil sonst die Schwingung zu stark gedämpft werden würde. Das hat den Nachteil, dass die Thermostatisierung der Messflüssigkeit auf eine gewünschte Messtemperatur über das die Rohre umgebende Gas erfolgen muss und damit deutlich langsamer erfolgt, als dies zum Beispiel über eine Flüssigkeit möglich wäre.

Bei Schwingern aus Glas, die thermostatisiert werden sollen, erniedrigt man die Zeit für den Temperaturangleich, indem man den Schwinger in ein Rohr aus Glas einschmilzt und dieses mit dem Gas Wasserstoff füllt, das eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft hat. Außerdem wurden verschiedene Methoden entwickelt, um eine eventuelle schlechte Füllung des Schwingers mit der Messflüssigkeit zu erkennen, damit auf eine zweite Messung verzichtet werden kann. Eine zweite sogenannte Wiederholmessung würde zwar mehr Sicherheit geben, ob die Messung gut ist, aber eben zu viel Zeit für die Messung kosten.

[0022] Vorteilhafte und nicht einschränkende Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

[0023] Fig. 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Schwinger zur Dichtemessung einer Flüssigkeit.

[0024] Fig. 5 zeigt einen gemessenen und einen berechneten Dichteverlauf aufgetragen über der Zeit während einer Temperierung.

[0025] Fig. 6 zeigt die Dichteverläufe von Fig. 5 aufgetragen über der Temperatur.

[0026] Fig. 7 zeigt einen gemessenen Dichteverlauf einer verkürzten Wiederholmessung aufgetragen über der Zeit während einer Temperierung.

[0027] Fig. 8 zeigt den Dichteverlauf von Fig. 7 aufgetragen über der Temperatur.

[0028] Fig. 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Schwinger 13 zur Dichtemessung einer Flüssigkeit. Gleiche Elemente wie in den Fig. 1 - 3 werden in Fig. 4 mit gleichen Bezugszeichen beziffert.

[0029] Der Schwinger 13 umfasst einen Behälter 14, in dem die Flüssigkeit eingefüllt wird, und eine Gegenmasse 3, in welcher der Behälter 14 eingespannt ist. Der Behälter 14 setzt sich zusammen aus zwei Resonatorrohren 15, 16, die im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen, und einem Verbindungsrohr 17, welches die beiden Resonatorrohre 15, 16 verbindet, sodass Flüssigkeit in den Eingang 18 eines der Resonatorrohre 15 einströmen und über den Ausgang 19 des anderen Resonatorrohres 16 ausströmen kann. Während einer Dichtemessung kann sich die Flüssigkeit statisch im Behälter 14 befinden oder kontinuierlich durch diesen hindurchfließen. Der Schwinger 13 ist aus Metall gefertigt, d.h. sowohl die Gegenmasse 3 als auch der Behälter 14 bestehen aus Metall.

[0030] Der Behälter 14 kann einstückig oder mehrstückig ausgebildet sein, d.h. die Resonatorrohre 15, 16 und das Verbindungsrohr 17 können als gebogenes U-förmiges Rohr einstückig gefertigt sein oder das Verbindungsrohr 17 kann an die Resonatorrohre 15, 16 angeschweißt oder angelötet sein. Die Resonatorrohre 15, 16 sind im Wesentlichen zylindrisch, können aber auch einen anderen, z.B. ovalen oder eckigen, Querschnitt aufweisen. Das Verbindungsrohr 17 kann einen gleichen, größeren oder kleineren kreisförmigen oder anderen Querschnitt aufweisen wie die Resonatorrohre 15, 16.

[0031] Der Behälter 14 ist derart in der Gegenmasse 3 eingespannt, dass die Resonatorrohre 15, 16 derart aus der Gegenmasse 3 herausragen, dass diese durch eine externe Anregung in eine Schwingung versetzt werden können, bei der die Resonatorrohre 15, 16 gegeneinander in Richtungen R, -R schwingen, wodurch der Schwerpunkt des Schwingers 13 bei der Schwingung

konstant bleibt. Ohne weitere konstruktive Maßnahmen würde eine Messung dieser Resonanzschwingung jedoch nur zu sehr ungenauen Ergebnissen führen, da das Verbindungsrohr 17 eine weiche Kopplung der Resonatorrohre 15, 16 bildet.

[0032] Aus diesem Grund umfasst der Schwinger 13 ferner einen Steg 20, der zwischen der Gegenmasse 3 und dem Verbindungsrohr 17 angeordnet ist, um dieses zu versteifen. Insbesondere kann der Steg 20 nahe der Verbindungsstelle zwischen Resonatorrohren 15, 16 und Verbindungsrohr 17 oder direkt auf dieser angebracht sein. Der Steg 20 kann das Verbindungsrohr 17 auch teilweise überlappen. Das Verbindungsrohr 17 tritt jedoch zumindest teilweise aus einer der Gegenmasse 3 abgewandten Seite des Stegs 20 hervor, beispielsweise um eine Temperaturmessung am Verbindungsrohr 17 zu ermöglichen. Wenn die Resonatorrohre 15, 16 und das Verbindungsrohr 17 einstückig gefertigt sind, kann der Steg 20 beispielsweise nur in einem Bereich liegen, in dem die Resonatorrohre zylindrisch sind, oder aber auch zumindest teilweise in einem gekrümmten Bereich des gebogenen U-förmigen Rohres angeordnet sein.

[0033] Der Steg 20 kann je nach Ausführungsform nur zwischen den Resonatorrohren 15, 16 angeordnet sein und beispielsweise als Platte oder Stab (nicht dargestellt) mit geeigneten Verbindungsmitteln an den Resonatorrohren 15, 16 angebracht sein. Alternativ kann der Steg 20 wie in Fig. 4 gezeigt beide Resonatorrohre 15, 16 umgreifen. Hierzu könnte der Steg 20 z.B. auf die Resonatorrohre 15, 16 aufgeschoben werden, bevor diese in die Gegenmasse 3 eingespannt werden oder entsprechend öffnbar und schließbar ausgebildet sein.

[0034] Der Steg 20 beabstandet die Resonatorrohre 15, 16 derart zueinander, dass zwischen der Gegenmasse 3 und dem Steg 20 eine Länge L der Resonatorrohre 15, 16 freiliegt, an der die Resonatorrohre 15, 16 in eine Resonanzschwingung gebracht werden können, wenn diese mit der Flüssigkeit gefüllt sind. Wenn die Resonatorrohre 15, 16 angeregt werden, schwingen diese gegengleich zueinander, jeweils ein Resonatorrohr 15, 16 in eine Richtung R, während das andere in die entgegengesetzte Richtung -R schwingt, bis diese ihre Bewegungsrichtung R, -R umkehren. Es ist ersichtlich, dass durch die gegengleiche Schwingung der Schwerpunkt des Schwingers 13 konstant bleibt. Aus dieser Resonanzschwingung ist in der Folge die Dichte der sich im Schwinger befindlichen Flüssigkeit bestimmbar, da die Masse der Resonatorrohre 15, 16 über der Länge L bekannt ist und die Flüssigkeit im Behälter 14 bekanntes Volumen einnimmt.

[0035] Der Steg 20 kann aus demselben Metall wie die Resonatorrohre 15, 16 bzw. das Verbindungsrohr 17 gefertigt sein oder aber auch aus demselben Metall wie die Gegenmasse 3.

[0036] Der Schwinger 13 kann in einer Anlage zur Dichtemessung (nicht dargestellt) verbaut werden. Die Anlage umfasst in derartigen Fällen eine Anregeeinheit, beispielweise ein piezoelektrisches Element, die dazu ausgebildet ist, die Resonatorrohre derart anzuregen, dass die genannten Längen wie beschrieben gegengleich mit zeitlich konstantem Schwerpunkt schwingen. Ferner kann die Anlage bereits eine Messeinrichtung umfassen, beispielweise auch ein piezoelektrisches Element, die dazu ausgebildet ist, die Frequenz der Schwingung der genannten Längen L zu bestimmen, und eine Auswerteeinheit, die dazu ausgebildet ist, aus der genannten Frequenz die Dichte der Flüssigkeit zu bestimmen. Die Anregeeinheit und die Messeinrichtung können beide durch ein einziges piezoelektrisches Element gebildet werden, wie aus dem Stand der Technik bekannt. Insbesondere kann die Anlage tragbar als „Hand-Held-Gerät“ ausgestaltet werden, um einen flexiblen Anwendungsbereich zu ermöglichen, was dadurch ermöglicht wird, dass bei dem erfindungsgemäßen Schwinger 13 eine Gegenmasse 3 mit geringem Gewicht eingesetzt werden kann.

[0037] Um die Temperatur der Flüssigkeit zu messen, kann ein Temperaturfühler 12 am Verbindungsrohr 17 angebracht sein. Da das Verbindungsrohr 17 durch die Steifigkeit des Stegs 20 nicht mit den Resonatorrohren 15, 16 mitschwingt, kann die Temperaturmessung direkt am Behälter 14 vorgenommen werden, was eine fast unmittelbare Messung der Temperatur der Flüssigkeit ermöglicht, insbesondere wenn das Verbindungsrohr 17 aus Metall ist. Der Temperaturfühler 12 kann beispielsweise ein Heißleiter (NTC-Widerstand, Negative Temperature Coefficient) sein. Auch nicht-kontaktierte Temperaturfühler 12 wie Infrarotsensoren könnten vorgesehen sein.

[0038] Der Temperaturfühler 12 wird somit dazu eingesetzt, um die gemessene Dichte der Flüssigkeit auf eine bestimmte Temperatur zu beziehen. Wenn die zu messende Flüssigkeit an sich bekannt ist, beispielsweise zur Bestimmung eines Verhältnisses eines Gemischs aus zwei bekannten Flüssigkeiten, kann über die gemessene Dichte und die gemessene Temperatur bereits die Dichte für eine vordefinierte Referenztemperatur berechnet werden, da hier das Verhältnis von Dichte zu Temperatur im Allgemeinen bekannt sein wird.

[0039] Um die Dichte bei einer bestimmten Referenztemperatur direkt zu messen, umfasst die Anlage eine Temperiereinheit, die dazu ausgebildet ist, den Schwinger 13 auf eine vorbestimmte Temperatur zu bringen. Dazu wird der Behälter 14 inklusive der darin befindlichen Flüssigkeit auf eine bestimmte Temperatur gebracht, d.h. erwärmt oder gekühlt.

[0040] Fig. 5 zeigt den aufgezeichneten Verlauf der Dichte in g/cm^3 (Ordinate) über der Zeit in Sekunden (Abszisse) bei der Temperierung, hier Kühlung, einer Flüssigkeit von einer Umgebungstemperatur von 20°C auf eine Referenztemperatur von 15°C . Fig. 6 zeigt denselben Dichteverlauf wie Fig. 5, wobei jedoch die Dichte in g/cm^3 (Ordinate) über der Temperatur in $^\circ\text{C}$ (Abszisse) aufgetragen ist. Hierbei ist zu beachten, dass in Fig. 6 der zeitliche Verlauf der Dichte von rechts nach links abzulesen ist.

[0041] Mit Bezugszeichen 21 ist in Fig. 5 der gemessene Dichteverlauf dargestellt und mit Bezugszeichen 22 ein berechneter Dichteverlauf. Die Unterschiede zwischen dem gemessenen und dem berechneten Dichteverlauf ergeben sich unter anderem durch die Trägheit des Systems bei der Temperierung. Es ist ersichtlich, dass sich der gemessene Dichteverlauf mit der Dauer der Temperierung dem berechneten Temperaturverlauf annähert. Dies kann ausgenutzt werden, um die Dichte der Flüssigkeit bei einer gewünschten Referenztemperatur bereits zu extrapolieren, bevor die Referenztemperatur tatsächlich erreicht wurde.

[0042] Durch die unmittelbare Messung der Temperatur am nicht-schwingenden Verbindungsrohr 17 können weitere vorteilhafte Verfahren zur Messung der Temperatur ermöglicht werden. Beispielsweise können fehlerhafte Befüllungen des Behälters 14 mit der Flüssigkeit detektiert werden, da es in der Praxis vorkommen kann, dass Gasblasen mit der Flüssigkeit im Behälter 14 eingeschlossen werden.

[0043] Fig. 7 und 8 zeigen - analog zu den Fig. 5 und 6 - den Verlauf der Dichte in g/cm^3 (Ordinate) über der Zeit in Sekunden (Abszisse) bei der Temperierung (Fig. 7) bzw. den Verlauf der Dichte in g/cm^3 (Ordinate) über der Temperatur in $^\circ\text{C}$ (Abszisse). Mit Bezugszeichen 23 ist der Dichteverlauf einer ersten Füllung des Behälters mit der Flüssigkeit beziffert und mit Bezugszeichen 24 eine zweite Füllung, die nach der ersten Füllung in den Behälter gefüllt wird, wie im Folgenden im Detail dargelegt wird.

[0044] Für das Erkennen einer korrekten Befüllung des Behälters 14 wird in einem ersten Schritt die Flüssigkeit in den Behälter 14 gefüllt und auf eine gewünschte Referenztemperatur temperiert. Jedoch wird die Messung der Dichte bereits zu einem Zeitpunkt unterbrochen, an dem die Flüssigkeit die Referenztemperatur noch nicht erreicht hat, d.h. der Dichteverlauf wird während der Temperierung über einen ersten Probezeitraum aufgezeichnet. Danach wird der Behälter 14 entleert und abermals Flüssigkeit in den Behälter 14 gefüllt oder ohne Entleerung nachgefüllt.

[0045] Auch die zweite Befüllung des Behälters 14 mit der genannten Flüssigkeit (die zum Messbeginn im Wesentlichen dieselbe Temperatur hat wie die Flüssigkeit bei der ersten Befüllung vor der Temperierung) wird auf die gewünschte Referenztemperatur temperiert und der Dichteverlauf dabei über einen zweiten Probezeitraum, der in seiner zeitlichen Länge im Wesentlichen jenem des ersten Probezeitraums entspricht, aufgezeichnet. Wenn die Differenz D der Dichteverläufe unter einem Schwellwert liegt, kann darauf geschlossen werden, dass beide Befüllungen korrekt waren, und der Dichteverlauf der zweiten Befüllung kann über einen weiteren Zeitraum aufgezeichnet werden, beispielsweise bis sich die Dichte bei der Temperierung im Wesentlichen nicht mehr ändert.

[0046] Das Maß der Differenz D der Dichteverläufe kann an sich beliebig gewählt werden, beispielsweise als Integral der Differenz über den Probezeitraum oder als Dichtedifferenz zu einem

vorbestimmten Zeitpunkt nach Beginn der Temperierung.

[0047] Es ist ersichtlich, dass in dieser bevorzugten Messung nicht mehr zwei vollständige Wiederholmessungen durchgeführt werden müssen, um die Messergebnisse zu bestätigen, was eine wesentliche Zeitersparnis mit sich bringt. Sollte die Differenz D jedoch über dem Schwellwert liegen, kann der Dichteverlauf über einen dritten Probezeitraum aufgezeichnet werden, der im Wesentlichen jenem des ersten bzw. zweiten Probezeitraums entspricht. Wenn der dritte Dichteverlauf mit dem ersten oder zweiten übereinstimmt, kann der Dichteverlauf weiter aufgezeichnet werden, da eine korrekte Befüllung angenommen werden kann. Dies kann mit vierten, fünften, ... Befüllungen wiederholt werden, bis zumindest zwei übereinstimmende Dichteverläufe vorliegen.

[0048] Bei problematischen Messflüssigkeiten können auch mehrere Dichteverläufe aufgezeichnet werden, bis z.B. drei übereinstimmende Dichteverläufe vorliegen.

[0049] Als weitere Maßnahme zur Beschleunigung des Temperaturangleichs der Messflüssigkeit kann der Schwinger mit einer gasdichten Hülle versehen sein und mit Helium, das eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft hat, gefüllt werden. Helium ist ungefährlicher verwendbar als das bei Schwingern aus Glas verwendete Gas Wasserstoff und diffundiert durch Metall im Gegensatz zu Wasserstoff nicht durch. Durch diese Maßnahme kann die Zeit für den Angleich der Temperatur der Messflüssigkeit um mehr als einen Faktor 4 verkürzt werden.

Patentansprüche

1. Anlage zur Dichtemessung einer Flüssigkeit, umfassend einen Schwinger (13) mit einer Gegenmasse (3) und einem Behälter (14) für die Flüssigkeit, wobei der Schwinger (13) aus Metall gefertigt ist und der Behälter (14) zwei zueinander identische Resonatorrohre (15, 16), die im Wesentlichen parallel zueinander in der Gegenmasse (3) eingespannt sind, und ein die Resonatorrohre (15, 16) verbindendes Verbindungsrohr (17) aufweist, wobei die Resonatorrohre (15, 16) in eine Resonanzschwingung versetzbar sind, bei welcher der gemeinsame Schwerpunkt der Resonatorrohre (15, 16) während der Resonanzschwingung in Ruhe bleibt,
dadurch gekennzeichnet, dass der Schwinger (13) einen sich zwischen der Gegenmasse (3) und dem Verbindungsrohr (17) befindlichen Steg (20) umfasst, der die Resonatorrohre (15, 16) derart zueinander beabstandet, dass die zwischen der Gegenmasse (3) und dem Steg (20) eingeschlossenen Längen (L) der Resonatorrohre (15, 16) in eine gegengleiche Schwingung versetzbar sind, aus welcher die Dichte der sich im Schwinger (1) befindlichen Flüssigkeit bestimmbar ist,
wobei die Anlage einen Temperaturfühler (12) zur Messung der Temperatur am Verbindungsrohr (17), eine Auswerteeinheit und eine Temperiereinheit umfasst, die dazu ausgebildet ist, den Schwinger (13) auf eine vorbestimmte Temperatur zu bringen, wobei die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, eine vom Temperaturfühler (12) gemessene Temperatur bei der Bestimmung der Dichte und den zeitlichen Dichteverlauf bei Änderung der Temperatur aufzuzeichnen.
2. Anlage nach Anspruch 1, wobei die Resonatorrohre (15, 16) und das Verbindungsrohr (17) als gebogenes U-förmiges Rohr einstückig gefertigt sind.
3. Anlage nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Temperaturfühler (12) ein am Verbindungsrohr (17) angebrachter Heißleiter ist.
4. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, umfassend eine Anregeeinheit, die dazu ausgebildet ist, die Resonatorrohre (15, 16) derart anzuregen, dass die genannten Längen (L) gegengleich mit zeitlich konstantem Schwerpunkt schwingen.
5. Anlage nach Anspruch 4, umfassend eine Messeinrichtung, die dazu ausgebildet ist, die Frequenz der Schwingung der genannten Längen (L) zu bestimmen, und wobei die Auswerteeinheit dazu ausgebildet ist, aus der genannten Frequenz die Dichte der Flüssigkeit zu bestimmen.
6. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Auswerteeinrichtung ferner dazu ausgebildet ist, die Dichte für eine vordefinierte Temperatur zu berechnen.
7. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Auswerteeinheit dazu ausgebildet ist, den zeitlichen Dichteverlauf über einen ersten Probezeitraum aufzuzeichnen, nach einem Wechsel der Flüssigkeit den Dichteverlauf über einen zweiten Probezeitraum aufzuzeichnen und den Dichteverlauf nach dem zweiten Probezeitraum weiter aufzuzeichnen, wenn der Dichteverlauf des ersten Probezeitraums im Wesentlichen dem Dichteverlauf des zweiten Probezeitraums entspricht.
8. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Schwinger (13) innerhalb eines mit Gas, bevorzugt Helium, gefüllten Behältnisses montiert ist.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

1/4

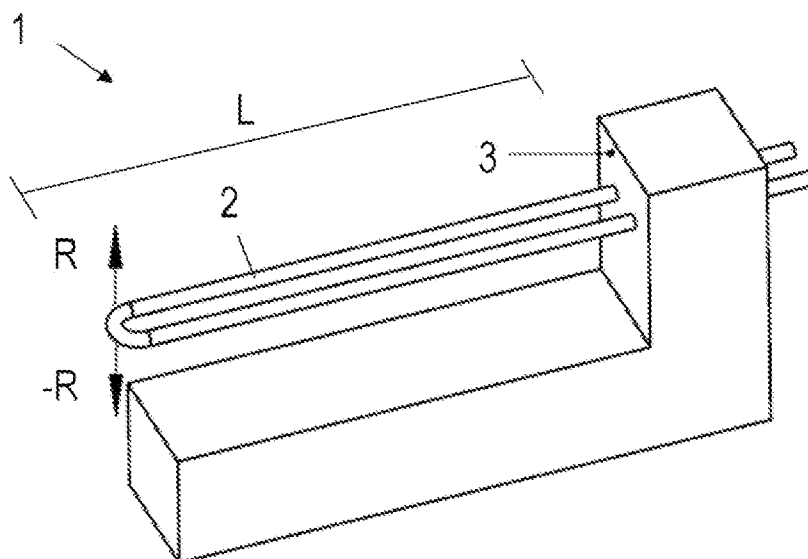


Fig. 1

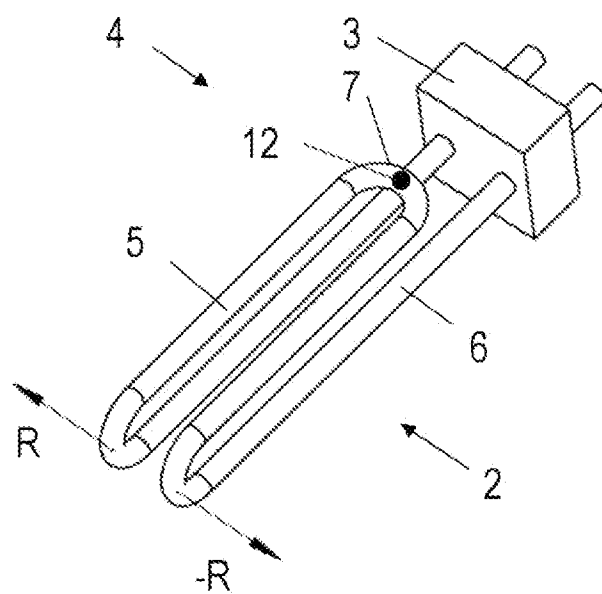


Fig. 2

2/4

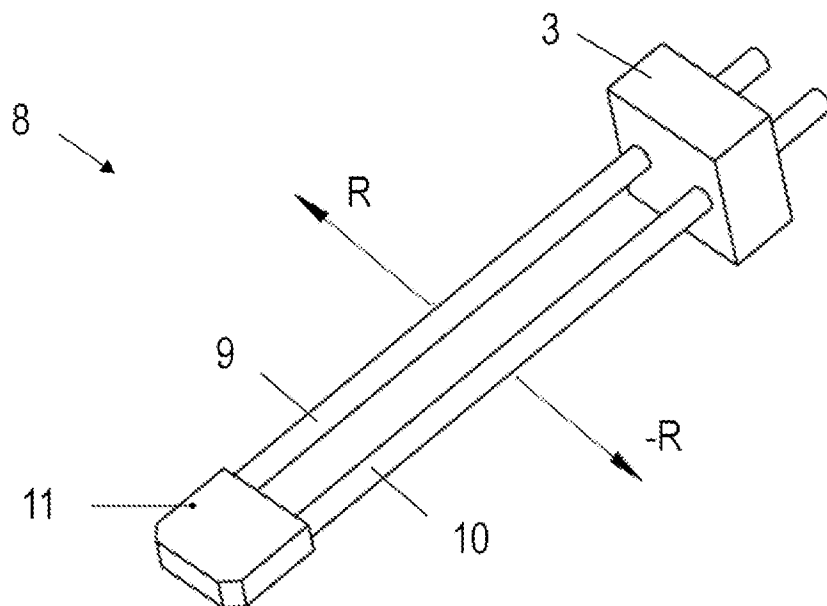


Fig. 3

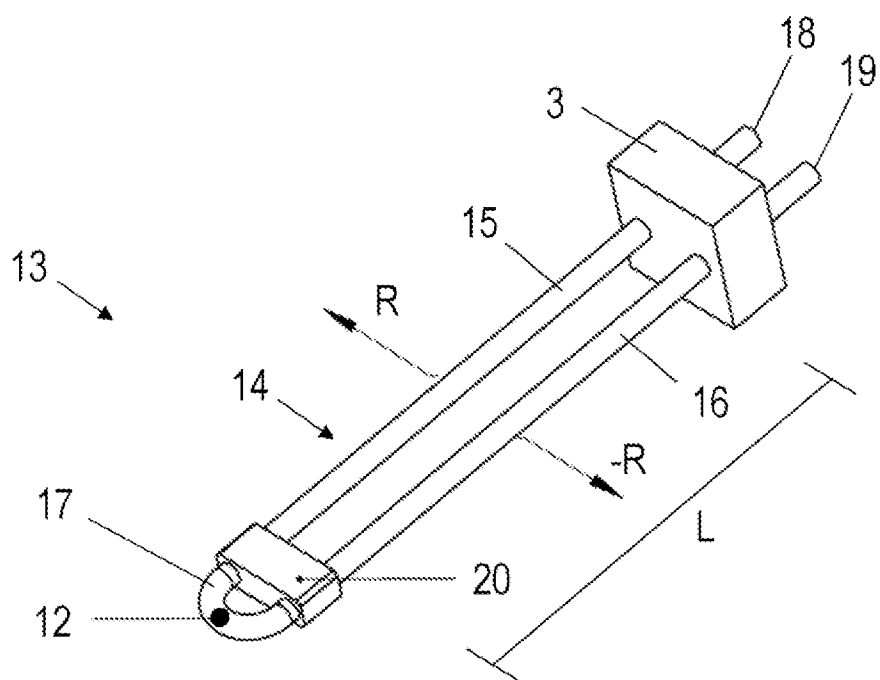


Fig. 4

3/4

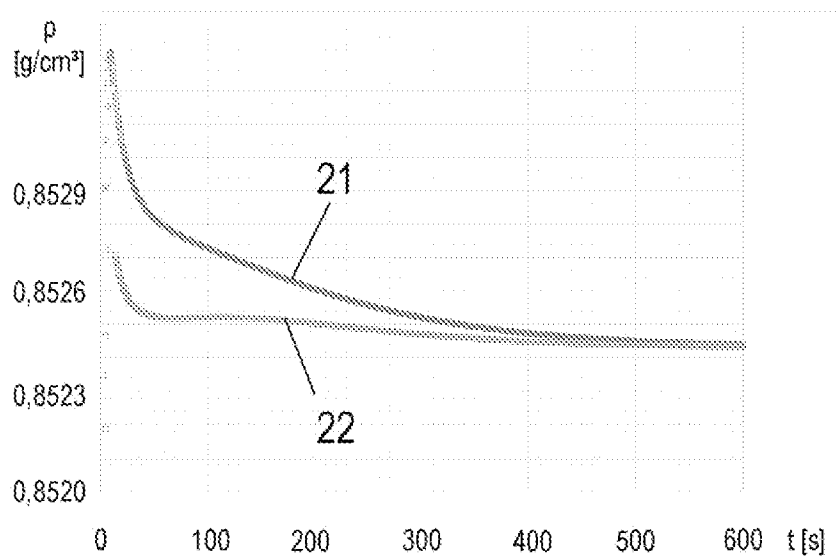


Fig. 5

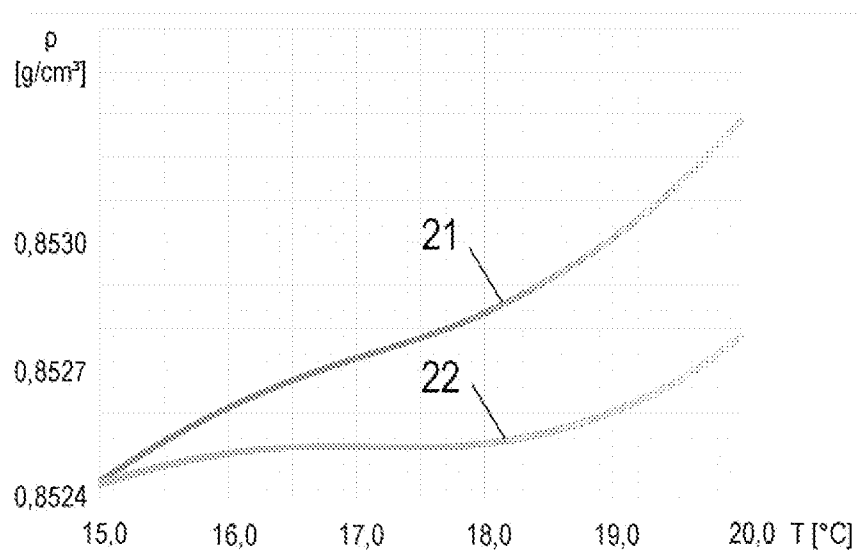


Fig. 6

4/4

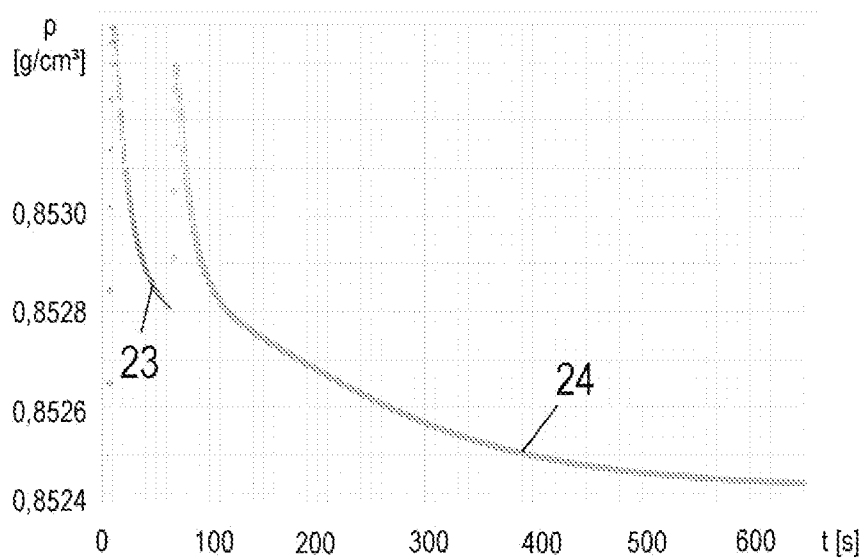


Fig. 7

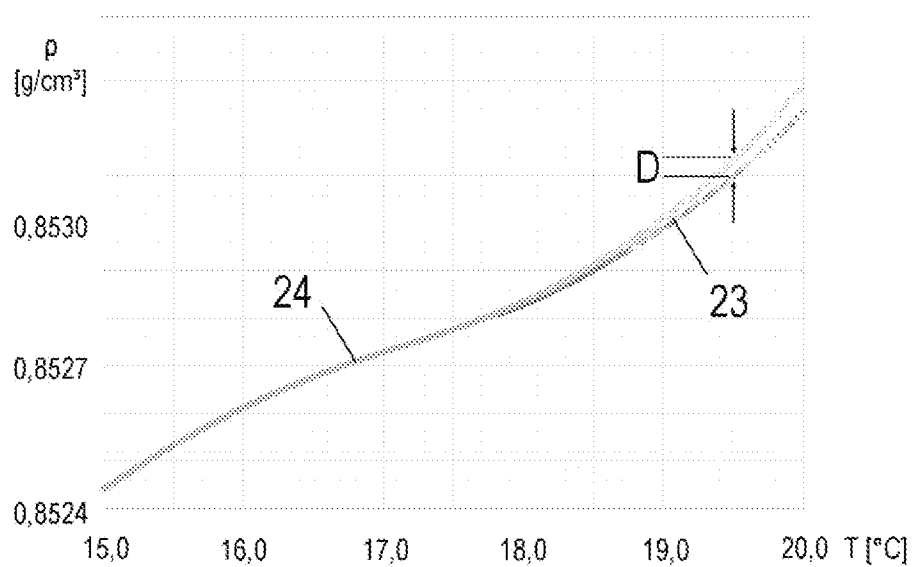


Fig. 8