

(19)



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer:

AT 407 089 B

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1304/99
(22) Anmeldetag: 28.07.1999
(42) Beginn der Patentdauer: 15.04.2000
(45) Ausgabetag: 27.12.2000

(51) Int. Cl.⁷: **G01N 9/24**
G01N 29/18

(73) Patentinhaber:

HEIMEL HELMUT DR.
A-8010 GRAZ, STEIERMARK (AT).
LEOPOLD HANS DR.
A-8043 GRAZ, STEIERMARK (AT).
STABINGER HANS DR.
A-8010 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(72) Erfinder:

HEIMEL HELMUT DR.
GRAZ, STEIERMARK (AT).
LEOPOLD HANS DR.
GRAZ, STEIERMARK (AT).
STABINGER HANS DR.
GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER DICHTEN VON FLÜSSIGKEITEN

AT 407 089 B

(57) Meßanordnung zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten mit einem Meßkörper, an dem ein erstes Schallsendeelement (S_1) zur Aussendung von Schallimpulsen und ein erstes Schallempfangelement (S_2) zum Empfangen der vom ersten Schallsendeelement (S_1) ausgesendeten Schallimpulse einander gegenüberliegend angeordnet sind, und mit einem zwischen dem ersten Schallsendeelement und dem ersten Schallempfangelement vorgesehenen und mit der zu messenden Flüssigkeit füllbaren ersten Meßvolumen (10), das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem ersten Schallsende- und dem ersten Schallempfangelement gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke (l_1) ausbildet, wobei am Meßkörper (1) zumindest ein zweites Schallsendeelement (S_2) und zumindest ein zweites Schallempfangelement (E_2) einander gegenüberliegend angeordnet sind, und daß zwischen dem zweiten Schallsende- und dem zweiten Schallempfangelement (S_2 , E_2) ein zweites, mit der zu messenden Flüssigkeit füllbares Meßvolumen (2) vorgesehen ist, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem zweiten Schallsendeelement (S_2) und dem zweiten Schallempfangelement (E_2) gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer zur ersten Dicke (l_1) unterschiedlichen zweiten Dicke (l_2) ausbildet.

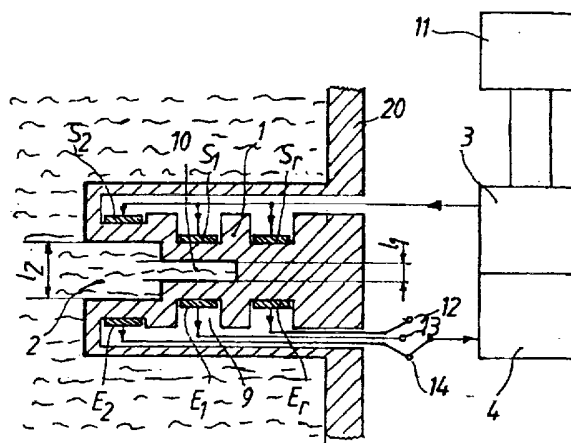


FIG. 2

Die Erfindung betrifft eine Meßanordnung zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten mit einem Meßkörper, an dem ein erstes Schallsendeelement zur Aussendung von Schallimpulsen und ein erstes Schallempfangelement zum Empfangen der vom ersten Schallsendeelement ausgesendeten Schallimpulse einander gegenüberliegend angeordnet sind, und mit einem zwischen dem ersten Schallsendeelement und dem ersten Schallempfangelement vorgesehenen und mit der zu messenden Flüssigkeit füllbaren ersten Meßvolumen, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem ersten Schallsende- und dem ersten Schallempfangelement gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke ausbildet.

Es sind verschiedene Vorrichtungen zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten durch Messung des Schallwiderstandes und der Schallgeschwindigkeit bekanntgeworden, die sich in die folgenden zwei Hauptgruppen unterteilen lassen.

Bei einer Vorrichtung der ersten Hauptgruppe werden Schallimpulse durch eine Schichtfolge Festkörper/Flüssigkeit/Festkörper gesendet. Das Größenverhältnis von Empfangs- und Sendepuls hängt hauptsächlich vom Schallwiderstand der Flüssigkeit ab, es wird aber auch wesentlich vom Schallabsorptionskoeffizienten der Flüssigkeit beeinflusst. Wenn dieser nicht bekannt ist, sind nur sehr ungenaue Dichtebestimmungen möglich. Die Schallgeschwindigkeit wird aus der Laufzeit der Impulse durch die Flüssigkeitsschicht berechnet. Die Änderung des Schallwiderstandes der Flüssigkeit bewirkt eine nahezu proportionale Änderung der Größe des Empfangsimpulses.

Demgegenüber treffen bei einer Vorrichtung der zweiten Hauptgruppe Schallimpulse der Größe A_0 auf eine Grenzfläche Festkörper/Flüssigkeit auf, wobei der an der Grenzfläche reflektierte Anteil A_R folgenden Wert beträgt:

$$A_R = A_0 \cdot \frac{Z_s - Z_p}{Z_s + Z_p}$$

Z_s Schallwiderstand des Festkörpers (für rostfreien Stahl ungefähr $45 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$)
 Z_p Schallwiderstand der Flüssigkeit (ungefähr $10^6 - 3 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$).

Der reflektierte Anteil A_R hängt nur zu einem kleinen Teil vom Schallwiderstand Z_p der Flüssigkeit ab. Nachteilig ist bei dieser Bauart daher, daß sich Änderungen des Schallwiderstandes der Flüssigkeit, insbesondere bei Verwendung eines metallischen Konstruktionswerkstoffes, nur wenig auf die Größe des reflektierten Anteils der Schallimpulse auswirken. Kleine Unsicherheiten bei der Messung dieser Größe führen daher zu großen Unsicherheiten in der Bestimmung des Schallwiderstandes der Flüssigkeit und damit auch der Dichte.

In „A. Püttmer, Ultrasonic Density Sensors for Liquids“, Dissertation, Shaker Verlag Aachen 1999 findet sich eine zusammenfassende Darstellung über beide Bauarten von Dichtebestimmungsvorrichtungen. Insbesondere ist eine Vorrichtung der zweiten Hauptgruppe beschrieben, die Glas mit einem Schallwiderstand von ungefähr $13 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ als Konstruktionswerkstoff verwendet. Damit ist zwar eine deutliche Verminderung der Meßunsicherheit möglich, wegen der kleinen Wärmeleitfähigkeit von Glas und der bei dieser Bauart erforderlichen großen Materialdicken muß dafür eine große thermische Trägheit der Meßeinrichtung in Kauf genommen werden. Der Schallabsorptionskoeffizient hat dabei keinen Einfluß auf das Meßergebnis.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, mit der eine relativ hohe Meßempfindlichkeit erreichbar ist, ohne daß es dabei zu einer Erhöhung der thermischen Trägheit der Vorrichtung kommt.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß am Meßkörper zumindest ein zweites Schallsendeelement und zumindest ein zweites Schallempfangelement einander gegenüberliegend angeordnet sind, und daß zwischen dem zweiten Schallsende- und dem zweiten Schallempfangelement ein zweites, mit der zu messenden Flüssigkeit füllbares Meßvolumen vorgesehen ist, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem zweiten Schallsendeelement und dem zweiten Schallempfangelement gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer zur ersten Dicke unterschiedlichen zweiten Dicke ausbildet.

Es wird dabei vom Meßprinzip der ersten Hauptgruppe Gebrauch gemacht und somit die relativ hohe Empfindlichkeit der Messung im Schalldurchgang genutzt. Durch die Ermittlung der Schall-

empfangssignale von zwei, unterschiedliche Wegstrecken in der Flüssigkeit durchlaufenden Schallwellen kann die durch die Flüssigkeit erzeugte Absorption bestimmt und die Messung des Schallwiderstandes daher entsprechend vom Einfluß der Absorption befreit werden. Der Meßkörper kann dabei aus beliebigen Materialien gebildet sein.

5 In weiterer Ausbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß das erste und das zweite Meßvolumen miteinander verbunden sind, wodurch die im ersten und zweiten Meßvolumen beinhaltenen Flüssigkeit ständig in thermischem Kontakt stehen und jegliche Temperaturunterschiede daher immer sofort ausgeglichen werden. Die Verbindung zwischen den beiden Volumina kann durch eine Verbindungsleitung zwischen diesen oder durch eine Vereinigung der
10 beiden Volumina zu einem Gesamtvolumen geschaffen werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann die zweite Dicke 2 bis 10mal so groß wie die erste Dicke gewählt werden, wodurch sich die beiden aus den Flüssigkeitsschichten mit erster und zweiter Dicke resultierenden Empfangssignalamplituden deutlich voneinander unterscheiden, sodaß die Meßempfindlichkeit gesteigert werden kann.

15 Eine andere Variante der Erfindung kann darin bestehen, daß am Meßkörper ein weiteres Schallsendeelement und ein weiteres Schallempfangselement zur Durchführung von Referenzmessungen einander gegenüberliegend angeordnet sind. Damit kann eine Kompensation des Temperatur- und Alterungsverhaltens der verschiedenen Bestandteile der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung und die damit einhergehende Beeinflussung der Sendeschallimpulse erzielt
20 werden.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung kann darin bestehen, daß der Meßkörper zwei gegenüberliegende parallele Flächen aufweist, wobei das erste, das zweite und das weitere Schallsendeelement an einer der Flächen nebeneinander angeordnet und das erste, das zweite und das weitere Schallempfangselement an der gegenüberliegenden Fläche in entsprechenden
25 Abständen angeordnet sind.

Eine solche Ausbildung ermöglicht die Anbringung von an parallelen Seitenflächen genau gegenüberliegenden Sende- und Empfangselementen. Im Inneren des Meßkörpers können die beiden Meßvolumina in entsprechend konstruktiv einfacher Form angeordnet sein, damit die unterschiedlichen Flüssigkeitsschichtdicken von Schallimpulsen durchlaufen werden können.

30 Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung können die Schallsendeelemente und die Schallempfangselemente am Grund von Vertiefungen des Meßkörpers angeordnet sein, wobei die Tiefe der Vertiefungen so ausgebildet ist, daß die Differenz des Abstandes des Schallsendeelements vom Schallempfangselement und der kleineren Dicke des ersten Volumens ungefähr gleich groß wie die Differenz des Abstandes des Schallsendeelements vom Schallempfangselement und der größeren Dicke des zweiten Volumens ist.
35

Die Tiefe der Vertiefungen ist dabei so gewählt, daß jene Schallimpulse, die das zweite Meßvolumen durchwandern, ungefähr die gleiche Strecke im Festkörper durchlaufen, wie die Schallimpulse, die das erste Meßvolumen durchlaufen.

40 Der Meßkörper kann weiters in ein mit der zu messenden Flüssigkeit befülltes bzw. von dieser durchströmtes Füllvolumen, beispielsweise eine Rohrleitung, hineinragen, wobei das erste und das zweite Volumen mit diesem Füllvolumen direkt in Verbindung stehen. Dies ermöglicht es, Änderungen in der Dichte einer strömenden Flüssigkeit festzustellen.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallsendeelement und das erste, das zweite und gegebenenfalls
45 das weitere Schallempfangselement aus elektro-akustischen Schallwandlern gebildet sein, wobei das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallsendeelement mit einer elektronischen Impulssendevorrichtung und das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallempfangselement mit einer elektronischen Impulsempfangsvorrichtung verbindbar sind.

Die Schallerzeugung mittels elektro-akustischer Schallwandler ermöglicht den Einsatz von
50 elektronischen Impulsgeneratoren und Empfängern mit hoher Genauigkeit.

Es wird dabei vorzugsweise eine gemeinsame Impulsempfangsvorrichtung verwendet, wobei gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung vorgesehen ist, daß das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallempfangselement über steuerbare Schalter mit der Impulsempfangsvorrichtung verbindbar sind. Dadurch kann eine gegenüber anderen Änderungen,
55 die z.B. durch Temperaturschwankungen oder Alterungsprozesse bedingt sind, sehr rasche

Abtastung der einzelnen Empfangssignale durchgeführt werden, wobei die erhaltenen Werte zur Berechnung der Dichte unter Berücksichtigung der Absorption innerhalb der Flüssigkeit weiterverwendet werden können.

5 Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung der Dichte einer Flüssigkeit aus den Meßwerten für den Schallwiderstand und der Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, wobei Schallimpulse mit einer Sendesignalamplitude angeregt werden, die nach Durchlaufen einer ersten Festkörperschicht in eine Schicht der zu messenden Flüssigkeit eintreten, diese durchlaufen, danach in eine zweite Festkörperschicht eintreten, und wobei die Empfangssignalamplitude nach Durchlaufen der zweiten Festkörperschicht gemessen wird.

10 Aufgabe der Erfindung ist es, ein vorgenanntes Verfahren anzugeben, mit dem eine Bestimmung der Dichte einer Flüssigkeit mit hoher Empfindlichkeit vorgenommen werden kann.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß Schallimpulse sowohl entlang einer Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke als auch entlang einer Flüssigkeitsschicht mit einer zweiten Dicke gesendet und empfangen werden, daß aus den beiden unterschiedlichen Empfangssignalamplituden relativ zur Sendesignalamplitude die Schallabsorption in der Flüssigkeit bestimmt wird, und daß der Schallwiderstand unter Berücksichtigung der ermittelten Schallabsorption berechnet wird.

20 Das Größenverhältnis zwischen Empfangsimpuls und Sendeimpuls hängt bei dieser Messung hauptsächlich vom Schallwiderstand der Flüssigkeit ab. Das Bestimmen der Empfangsamplituden bei unterschiedlicher Dicke der Flüssigkeitsschichten erlaubt es jedoch, die in der Flüssigkeit auftretende Absorption der Schallimpulse bei der Bestimmung der Dichte zu berücksichtigen.

25 Weiters kann vorgesehen sein, daß als Referenzmessung Schallimpulse entlang nur einer Festkörperschicht gesendet und empfangen werden. Damit kann das Verhältnis der Größe von Sendeschallimpuls und Empfangsschallimpuls auf dieser Referenzstrecke bestimmt werden. Bei Kenntnis dieses konstanten Wertes ist es möglich, den Alterungs- und Temperatureinfluß auf das Sendesignal durch Messung des Empfangssignals auf der Referenzstrecke ständig zu überwachen bzw. aus dem Empfangssignal das jeweils gerade vorherrschende Sendesignal zu bestimmen, welches zugleich auch das erste und das zweite Schallsendeelement anregt.

30 In weiterer Ausbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die Schallimpulse entlang der Flüssigkeitsschicht mit der ersten Dicke, entlang der Flüssigkeitsschicht mit der zweiten Dicke und entlang nur der Festkörperschicht synchron und parallel zueinander gesendet werden.

Durch das synchrone Senden der Sendeschallsignale wird sichergestellt, daß zur gleichen Zeit das gleiche Sendesignal die einzelnen Schichten durchwandert und ein direkter Vergleich der an der Empfangsseite gemessenen Werte dadurch möglich wird.

35 Schließlich kann gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung vorgesehen sein, daß die zum Empfangen der synchron gesendeten Schallimpulse vorgesehenen Empfangselemente in Zeitabständen alternierend mit einer Impulsempfangsvorrichtung verbunden werden.

40 Damit können die Größenverhältnisse von Sende- und Empfangsimpulsen der drei verschiedenen Meßstrecken in ständiger Abfolge gemessen und zur Berechnung der Dichte der Flüssigkeit verwendet werden. Die im Vergleich zur Dauer eines Meßzyklus langsamen Temperaturänderungen bzw. der alterungsbedingten Änderungen der Meßanordnung bzw. der Sende- und Empfangsvorrichtungen haben daher keinen Einfluß auf das Meßergebnis.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand des in der beigefügten Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels eingehend erläutert. Es zeigt dabei

45 Fig.1 einen Querschnitt durch eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung und Fig.2 einen Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

50 Fig.1 zeigt eine Meßanordnung zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten mit Hilfe von Schallimpulsen, die durch die zu messende Flüssigkeit gesendet werden. Die Messung erfolgt dabei in Schalldurchgangsrichtung und es wird das Größenverhältnis von Empfangsimpuls zu Sendeimpuls bestimmt, das vom Schallwiderstand der Flüssigkeit und der Schallabsorption in der Flüssigkeit abhängig ist. Die für die Berechnung der Dichte erforderliche Schallgeschwindigkeit wird aus der Laufzeit der Schallimpulse durch die Flüssigkeit bestimmt. Die Dauer der Schallimpulse liegt vorzugsweise zwischen $50 \cdot 10^{-9}$ s und $2 \cdot 10^{-6}$ s.

55 Zur Ermittlung der für die Bestimmung der Dichte benötigten Meßwerte werden Schallimpulse

mit einer Sendesignalamplitude angeregt, die nach Durchlaufen einer ersten Festkörperschicht in eine Schicht der zu messenden Flüssigkeit eintreten, diese durchlaufen, danach in eine zweite Festkörperschicht eintreten, wobei die Empfangssignalamplitude nach Durchlaufen der zweiten Festkörperschicht gemessen wird.

Die Vorrichtung ist aus einem zwei parallele Seitenflächen 7, 8 aufweisenden Meßkörper 1 gebildet, an welchen Seitenflächen 7, 8 ein erstes Schallsendeelement S_1 zur Aussendung von Schallimpulsen und ein erstes Schallempfangelement E_1 zum Empfangen der vom ersten Schallsendeelement S_1 ausgesendeten Schallimpulse einander gegenüberliegend angeordnet sind. Zwischen dem ersten Schallsendeelement S_1 und dem ersten Schallempfangelement E_1 ist ein mit der zu messenden Flüssigkeit füllbares erstes Meßvolumen 10 vorgesehen, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem Schallsende- und dem Schallempfangelement gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke l_1 ausbildet.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß am Meßkörper 1 ein zweites Schallsendeelement S_2 und ein zweites Schallempfangelement E_2 einander gegenüberliegend angeordnet sind, wobei zwischen dem zweiten Schallsende- und dem zweiten Schallempfangelement S_2 , E_2 ein zweites, mit der zu messenden Flüssigkeit füllbares Meßvolumen 2 vorgesehen ist, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem zweiten Schallsendeelement S_2 und dem zweiten Schallempfangelement E_2 gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer zur ersten Dicke l_1 unterschiedlichen zweiten Dicke l_2 ausbildet.

Bei Anregung der Schallsendeelemente S_1 und S_2 senden diese jeweils Schallimpulse aus, die zuerst eine Festkörperschicht des Meßkörpers 1 durchlaufen und dann in die Meßvolumina 10, 2 eintreten, wo sie die zwei verschieden langen Strecken l_1 , l_2 durchlaufen, wieder in eine Festkörperschicht des Meßkörpers 1 eintreten und dann auf die den Schallsendeelementen S_1 , S_2 gegenüberliegenden Schallempfangelemente E_1 , E_2 auftreffen.

In dem in Fig.1 gezeigten Ausführungsbeispiel ist das erste und das zweite Meßvolumen 10, 2 miteinander verbunden, sodaß gewährleistet ist, daß die Flüssigkeit in beiden Volumina auf gleicher Temperatur gehalten ist. Im Rahmen der Erfindung können das erste und das zweite Meßvolumen 10, 2 aber auch getrennt oder nur durch einen Kanal miteinander verbunden sein.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist weiters die zweite Dicke l_2 doppelt so groß wie die erste Dicke l_1 gewählt, sodaß sich die beiden Dicken erheblich voneinander unterscheiden und die Meßempfindlichkeit gesteigert werden kann. Das Dickenverhältnis ist vorzugsweise im Bereich von 2 bis 10, kann aber auch anders gewählt werden.

Die Bestimmung der Dichte ρ_p der in den beiden Meßvolumina 10, 2 enthaltenen Flüssigkeit geschieht durch Messung des Schallwiderstandes Z_p und der Schallgeschwindigkeit u_p , wobei die Beziehung

$$\rho_p = Z_p / u_p \quad (1)$$

zur Anwendung gelangt. Durch zusätzliche Messung des Absorptionskoeffizienten der Flüssigkeit wird der wesentliche Nachteil der in der Beschreibungseinleitung als Bauart der ersten Hauptgruppe bezeichneten Bauart eliminiert. Die Messung wird dabei von dem für den Meßkörper 1 gewählten Material völlig unabhängig.

Zur Bestimmung des Schallwiderstandes Z_p werden über die Schallsendeelemente S_1 und S_2 Impulse der Größe A_0 in einen Festkörper mit bekanntem Schallwiderstand Z_s eingestrahlt, der den Meßkörper 1 bildet. Die Schallimpulse werden sowohl durch eine Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke l_1 als auch durch eine Flüssigkeitsschicht mit einer zweiten Dicke l_2 gesendet, wobei aus den beiden unterschiedlichen Empfangsamplituden die Schallabsorption in der Flüssigkeit bestimmt wird. Die Berechnung des Schallwiderstandes erfolgt unter Berücksichtigung der ermittelten Schallabsorption.

Nach Durchlaufen der zwischen den Schallsendeelementen S_1 , S_2 und den Meßvolumina 10 bzw. 2 liegenden Festkörperschicht erreichen die Impulse eine Grenzfläche Festkörper/Flüssigkeit. Ein Anteil der Impulse wird an dieser Grenzfläche reflektiert, der andere Anteil der Größe

$$A_1 = A_0 \cdot \frac{2 \cdot Z_p}{Z_s + Z_p} \quad (2)$$

tritt in die in den Volumina 10, 2 befindliche Flüssigkeit ein.

Die von dem Schallsendeelement S_1 ausgehenden Impulse durchlaufen in der zu messenden Flüssigkeit innerhalb des Volumens 10 eine Schicht mit der Dicke l_1 und erfahren durch Absorption eine Abschwächung auf die Größe

$$A_{11} = A_1 \cdot e^{-\alpha_p \cdot l_1} \quad (3)$$

wobei α_p der Schallabsorptionskoeffizient der Flüssigkeit ist.

Die von dem Schallabsorptionselement S_2 ausgehenden Impulse durchlaufen in der zu messenden Flüssigkeit innerhalb des Volumens 2 eine Schicht der Dicke l_2 und werden auf

$$A_{12} = A_1 \cdot e^{-\alpha_p \cdot l_2} \quad (4)$$

abgeschwächt.

Nach Durchlaufen der Flüssigkeitsschichten l_1, l_2 wird ein Anteil der Impulse an der Grenzfläche Flüssigkeit/Festkörper reflektiert. Der andere Anteil tritt in die zwischen den Austrittsseiten der Volumina 10, 2 und dem ersten und zweiten Schallempfangelement E_1, E_2 liegende Festkörperschicht ein.

Von dem dem Sendeelement S_1 gegenüberliegenden Empfangselement E_1 werden daher Impulse der Größe

$$A_{p1} = A_0 \cdot \frac{4 \cdot Z_s \cdot Z_p}{(Z_s + Z_p)^2} \cdot e^{-\alpha_p \cdot l_1} \quad (5)$$

empfangen, von dem zweiten Empfangselement E_2 Impulse der Größe

$$A_{p2} = A_0 \cdot \frac{4 \cdot Z_s \cdot Z_p}{(Z_s + Z_p)^2} \cdot e^{-\alpha_p \cdot l_2} \quad (6)$$

Die Größe der Sendepulse A_0 kann durch Messung der Größe der Empfangsimpulse A_{p1} und A_{p2} einer Flüssigkeit mit bekanntem Schallwiderstand, z.B. Wasser, mittels Gleichung 5 und 6 ermittelt werden.

Zur Bestimmung der Dichte einer Flüssigkeit wird aus den Meßwerten A_{p1} und A_{p2} mit Gleichung (5) und (6) der Schall-Absorptionskoeffizient α_p berechnet:

$$\alpha_p = \left(\ln \frac{A_{p1}}{A_{p2}} \right) / (l_2 - l_1) \quad (7)$$

Der Schallwiderstand Z_p der zu messenden Flüssigkeit ergibt sich aus der Gleichung (5) und (7) zu

$$Z_p = Z_s \cdot \left[\left(\frac{2 \cdot A_0}{A_{p0}} - 1 \right) - \sqrt{\left(\frac{2 \cdot A_0}{A_{p0}} - 1 \right)^2 - 1} \right] \quad (8)$$

50

$$\text{mit } A_{p0} = A_{p1} \cdot e^{\alpha_p \cdot l_1} \quad (8a)$$

55

Die Schallgeschwindigkeit u_p der Flüssigkeit wird aus der Differenz der Impulslaufzeiten τ_1 und τ_2 über die Strecken l_1 und l_2 ermittelt.

$$u_p = \frac{l_2 - l_1}{\tau_2 - \tau_1} \quad (9)$$

Die Größe der Sendeimpulse A_0 hängt von der Temperatur ab und kann sich mit der Zeit durch Alterung von Bauelementen der erfindungsgemäßen Vorrichtung verändern.

Diese Temperatureinflüsse werden in dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel durch eine zur Gänze im Festkörper des Meßkörpers 1 liegende Referenzstrecke eliminiert, die die Genauigkeit der Dichtemessung noch verbessern hilft. Bei dieser Referenzmessung werden Schallimpulse entlang nur einer Festkörperschicht gesendet und empfangen. Dazu sind am Meßkörper 1 ein weiteres Schallsendeelement S_r und ein weiteres Schallempfangelement E_r zur Durchführung dieser Referenzmessung einander gegenüberliegend angeordnet.

Vor Inbetriebnahme der erfindungsgemäßen Anordnung wird das Verhältnis k von A_0 zur Größe A_r der Empfangsimpulse der Referenzstrecke bestimmt.

$$k = \frac{A_0}{A_r}$$

Bei gleichem Temperatur- und Alterungsverhalten von A_0 und A_r steht dann bei jeder Messung von A_r ein aktueller Wert von A_0 zur Verfügung:

$$A_0 = k \cdot A_r$$

Das erste, das zweite und das weitere Schallsendeelement S_1, S_2, S_r und das erste, das zweite und das weitere Schallempfangelement E_1, E_2, E_r sind vorzugsweise aus elektro-akustischen Schallwandlern gebildet, wobei das erste, das zweite und das weitere Schallsendeelement S_1, S_2, S_r mit einer elektronischen Impulssendevorrichtung 3 und das erste, das zweite und das weitere Schallempfangelement E_1, E_2, E_r mit einer elektronischen Impulsempfangsvorrichtung 4 verbunden bzw. verbindbar sind.

Die Impulssendevorrichtung 3 und die Impulsempfangsvorrichtung 4 dienen der Anregung der Schall-Sendeimpulse und zur Messung der Größe der Empfangsimpulse und werden von der Temperatur des Gehäuses, in dem sie untergebracht sind, beeinflusst. In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform sind daher die Schallsendeelemente S_1, S_2 und S_r elektrisch parallel geschaltet, sodaß sie von der Impulssendevorrichtung 3 zugleich mit Spannungsimpulsen gleicher Größe versorgt werden. Die Schallimpulse werden dabei entlang der Flüssigkeitsschicht mit der ersten Dicke l_1 , entlang der Flüssigkeitsschicht mit der zweiten Dicke l_2 und entlang nur der Festkörperschicht synchron und parallel zueinander gesendet.

Das erste, das zweite und das weitere Schallempfangelement E_1, E_2, E_r sind über steuerbare Schalter 12, 13, 14 mit der Impulsempfangsvorrichtung 4 verbindbar. Die Empfangselemente E_1, E_2 und E_r werden über diese in kurzen Zeitabständen alternierend mit der Impulsempfangsvorrichtung 4 zur Messung der Größe der Empfangsimpulse A_{p1}, A_{p2} und A_r verbunden. Da in den zur Bestimmung der Dichte dienenden Gleichungen (7) und (8) nur die Größenverhältnisse von Impulsen auftreten, haben im Vergleich zur Dauer eines Meßzyklus langsame Änderungen der Temperatur der elektronischen Schaltungen innerhalb der Impulssende- und Impulsempfangsvorrichtung 3, 4 keinen Einfluß auf das Meßergebnis. Das gilt auch für alterungsbedingte Änderungen dieser elektronischen Schaltungen.

Die Form des Meßkörpers 1 kann beliebig gestaltet sein, beispielsweise wie in Fig. 1 gezeigt, wobei das erste, das zweite und das weitere Schallsendeelement S_1, S_2, S_r an einer ebenen Fläche nebeneinander angeordnet sind und das erste, das zweite und das weitere Schallempfangelement E_1, E_2, E_r an der gegenüberliegenden parallelen Fläche oder am dazu parallelen Grund von Vertiefungen 9 in entsprechenden Abständen angeordnet sind oder bevorzugt wie in Fig. 2 gezeigt als Körper, der in ein mit der zu messenden Flüssigkeit gefülltes Füllvolumen, beispielsweise eine Rohrleitung 20, hineinragt, wobei das erste und das zweite Volumen 10, 2 mit

diesem Füllvolumen in Verbindung stehen und wobei das erste, das zweite und das weitere Schallsendeelement S_1 , S_2 , S_r sowie das erste, das zweite und das weitere Schallempfangselement E_1 , E_2 , E_r in gegenüberliegenden Vertiefungen 9 angeordnet sind, wobei die Tiefen der Vertiefungen 9 so gewählt werden, daß die im Festkörper zurückgelegten Wege für die die

- 5 Meßvolumina 10, 2 durchlaufenden Schallimpulse ungefähr gleich lang sind.
- Dies wird erreicht, indem die Differenz des Abstandes des Schallsendeelements S_1 vom Schallempfangselement E_1 und der kleineren Dicke l_1 des ersten Volumens 10 ungefähr gleich groß wie die Differenz des Abstandes des Schallsendeelements S_2 vom Schallempfangselement E_2 und der größeren Dicke l_2 des zweiten Volumens 2 gewählt wird.
- 10 Die Sendevorrichtung 3 und die Empfangsvorrichtung 4 sind mit einer Recheneinheit 11 verbunden, die aus den gemessenen Werten die Dichte der Flüssigkeit bestimmt.

PATENTANSPRÜCHE:

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1. Meßanordnung zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten mit einem Meßkörper, an dem ein erstes Schallsendeelement zur Aussendung von Schallimpulsen und ein erstes Schallempfangselement zum Empfangen der vom ersten Schallsendeelement ausgesendeten Schallimpulse einander gegenüberliegend angeordnet sind, und mit einem zwischen dem ersten Schallsendeelement und dem ersten Schallempfangselement vorgesehenen und mit der zu messenden Flüssigkeit füllbaren ersten Meßvolumen, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem ersten Schallsende- und dem ersten Schallempfangselement gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke ausbildet, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Meßkörper (1) zumindest ein zweites Schallsendeelement (S_2) und zumindest ein zweites Schallempfangselement (E_2) einander gegenüberliegend angeordnet sind, und daß zwischen dem zweiten Schallsende- und dem zweiten Schallempfangselement (S_2 , E_2) ein zweites, mit der zu messenden Flüssigkeit füllbares Meßvolumen (2) vorgesehen ist, das - in Richtung einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem zweiten Schallsendeelement (S_2) und dem zweiten Schallempfangselement (E_2) gemessen - eine Flüssigkeitsschicht mit einer zur ersten Dicke (l_1) unterschiedlichen zweiten Dicke (l_2) ausbildet.
2. Meßanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erste und das zweite Meßvolumen (2, 10) miteinander verbunden sind.
3. Meßanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zweite Dicke (l_2) 2 bis 10 mal so groß wie die erste Dicke (l_1) ist.
4. Meßanordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Meßkörper (1) zur Durchführung von Referenzmessungen ein weiteres Schallsendeelement (S_r) und ein weiteres Schallempfangselement (E_r) einander gegenüberliegend angeordnet sind.
5. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Meßkörper (1) zwei gegenüberliegende parallele Flächen aufweist, wobei das erste, das zweite und das weitere Schallsendeelement (S_1 , S_2 , S_r) an einer der Flächen nebeneinander angeordnet und das erste, das zweite und das weitere Schallempfangselement (E_1 , E_2 , E_r) an der gegenüberliegenden Fläche in entsprechenden Abständen angeordnet sind.
6. Meßanordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schallsendeelemente (S_1 , S_2 , S_r) und die Schallempfangselemente (E_1 , E_2 , E_r) am Grund von Vertiefungen (9) des Meßkörpers (1) angeordnet sind, wobei die Tiefe der Vertiefungen (9) so ausgebildet ist, daß die Differenz des Abstandes des Schallsendeelements (S_1) vom Schallempfangselement (E_1) und der kleineren Dicke (l_1) des ersten Volumens (10) ungefähr gleich groß wie die Differenz des Abstandes des Schallsendeelements (S_2) vom Schallempfangselement (E_2) und der größeren Dicke (l_2) des zweiten Volumens (2) ist.
7. Meßanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Meßkörper (1) in ein mit der zu messenden Flüssigkeit befülltes bzw. von dieser durchströmtes Füllvolumen, beispielsweise eine Rohrleitung, hineinragt, wobei das erste und das zweite Volumen (10, 2) mit diesem Füllvolumen direkt in

Verbindung stehen.

8. Meßanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallsendeelement (S_1 , S_2 , S_r) und das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallempfangelement (E_1 , E_2 , E_r) aus elektro-akustischen Schallwandlern gebildet sind, wobei das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallsendeelement (S_1 , S_2 , S_r) mit einer elektronischen Impulssendevorrichtung (3) und das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallempfangelement (E_1 , E_2 , E_r) mit einer elektronischen Impulsempfangsvorrichtung (4) verbindbar sind.
9. Meßanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erste, das zweite und gegebenenfalls das weitere Schallempfangelement (E_1 , E_2 , E_r) über steuerbare Schalter (12, 13, 14) mit der Impulsempfangsvorrichtung (4) verbindbar sind.
10. Verfahren zur Bestimmung der Dichte einer Flüssigkeit aus den Meßwerten für den Schallwiderstand und der Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit, wobei Schallimpulse mit einer Sendesignalamplitude angeregt werden, die nach Durchlaufen einer ersten Festkörperschicht in eine Schicht der zu messenden Flüssigkeit eintreten, diese durchlaufen, danach in eine zweite Festkörperschicht eintreten, und wobei die Empfangssignalamplitude nach Durchlaufen der zweiten Festkörperschicht gemessen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß Schallimpulse sowohl entlang einer Flüssigkeitsschicht mit einer ersten Dicke (l_1) als auch entlang einer Flüssigkeitsschicht mit einer zweiten Dicke (l_2) gesendet und empfangen werden, daß aus den beiden unterschiedlichen Empfangssignalamplituden relativ zur Sendesignalamplitude die Schallabsorption in der Flüssigkeit bestimmt wird, und daß der Schallwiderstand unter Berücksichtigung der ermittelten Schallabsorption berechnet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Referenzmessung Schallimpulse entlang nur einer Festkörperschicht gesendet und empfangen werden.
12. Verfahren nach 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schallimpulse entlang der Flüssigkeitsschicht mit der ersten Dicke (l_1), entlang der Flüssigkeitsschicht mit der zweiten Dicke (l_2) und entlang nur der Festkörperschicht synchron und parallel zueinander gesendet werden.
13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zum Empfangen der synchron gesendeten Schallimpulse vorgesehenen Schallempfangelemente (E_1 , E_2 , E_r) in Zeitabständen alternierend mit einer Impulsempfangsvorrichtung (4) verbunden werden.

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

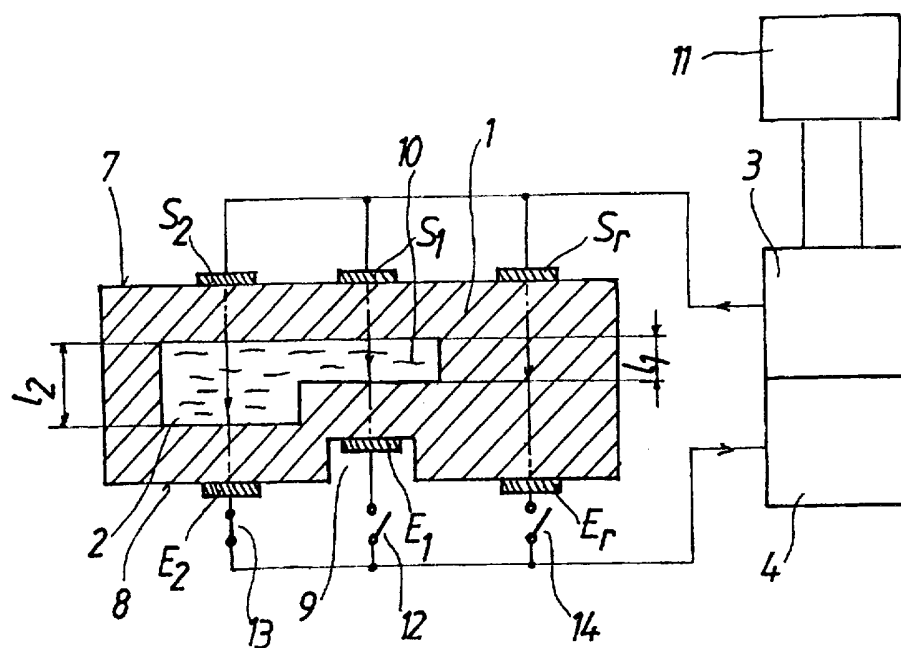


FIG 1

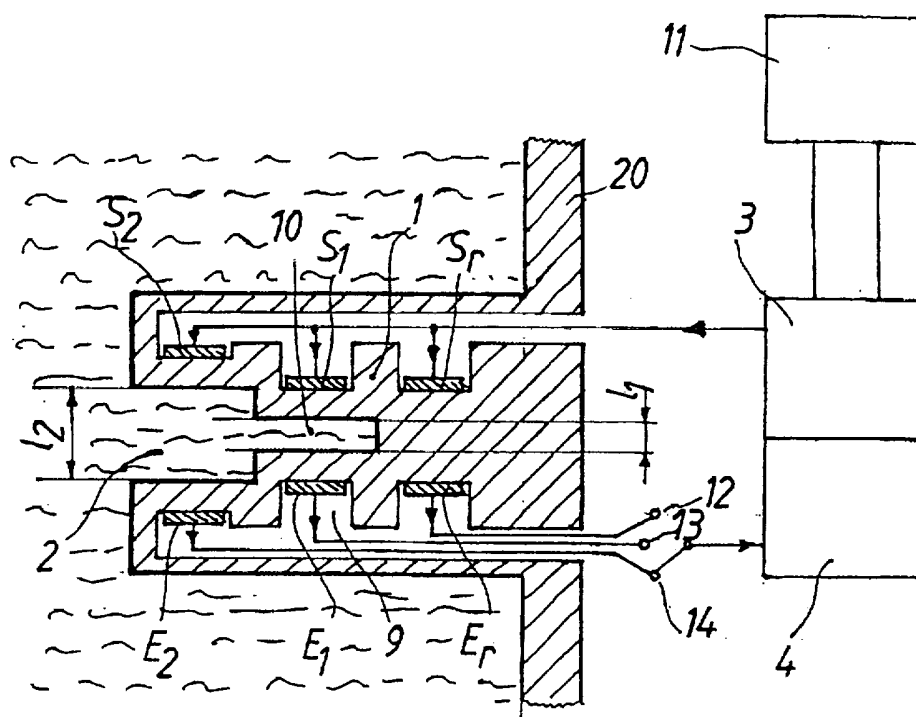


FIG. 2