

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
09. August 2018 (09.08.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/141469 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01F 1/66 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/000007

(22) Internationales Anmeldedatum:
04. Januar 2018 (04.01.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 000 959.7

03. Februar 2017 (03.02.2017) DE

10 2017 004 038.9
26. April 2017 (26.04.2017) DE

(71) Anmelder: DIEHL METERING GMBH [DE/DE]; Industriestraße 13, 91522 Ansbach (DE).

(72) Erfinder: MAYLE, Michael; Fichtestr. 8, 91522 Ansbach (DE). PLOSS, Peter; Endresstraße 34, 91522 Ansbach (DE).

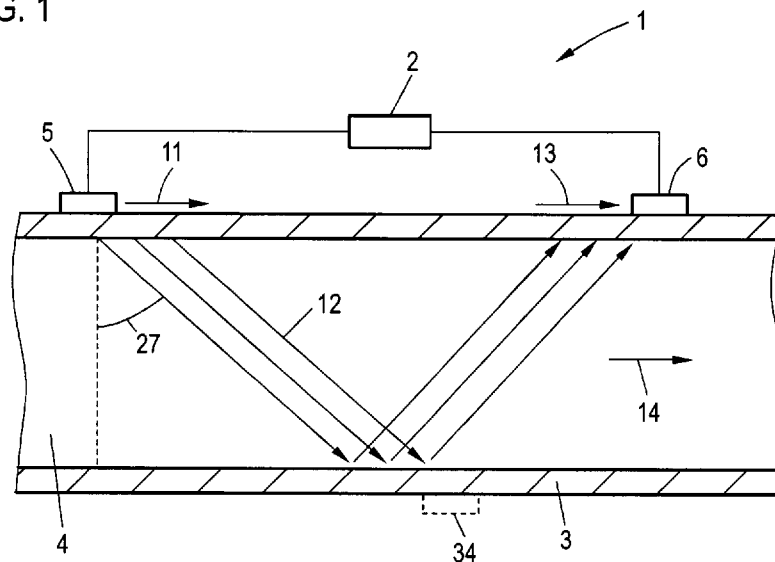
(74) Anwalt: DIEHL PATENTABTEILUNG; c/o Diehl Stiftung & Co. KG, Stephanstr. 49, 90478 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: ULTRASONIC METER AND METHOD FOR SENSING A FLOW VARIABLE

(54) Bezeichnung: ULTRASCHALLZÄHLER UND VERFAHREN ZUR ERFASSUNG EINER DURCHFLUSSGRÖSSE

FIG. 1



(57) Abstract: The invention relates to an ultrasonic meter for sensing a flow variable dependent on a flow of a fluid, having a control device (2), a measurement tube (3) which is formed by multiple side walls (7), mutually adjacent side walls being at an angle to each other, and through which the fluid can flow in a longitudinal direction (14) of the measurement tube (3), and a first and a second ultrasonic transducer (5, 6) which are spaced from each other in the longitudinal direction (14) on the measurement tube (3). The first and second ultrasonic transducers (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) each comprise a transducer element (29, 32) or a predefined arrangement of multiple transducer elements (29, 32). The first and/or second ultrasonic transducer (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) can be actuated by the control device (2) to excite an acoustic wave which is guided in a side wall (7) of the measurement tube (3) and can be guided via the fluid to the respectively other ultrasonic transducer (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) and can be sensed there by the control device (2) to determine a signal propagation time. An excitation width (10, 17, 30, 33) of the first and/or second ultrasonic transducer (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34) over which the transducer element (29, 32) or the arrangement of transducer elements (29, 32) extends is at least 50%



WO 2018/141469 A1

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

of the width (9) of an inner face (8) of the side wall (7) on which the ultrasonic transducer (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) in question is arranged, and/or a propagation direction (11, 18, 21, 22) of the guided wave which can be excited by the first and/or second ultrasonic transducer (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) is at an angle to the longitudinal direction (14) of the measurement tube (3), and/or the guided wave can be emitted by the first and/or second ultrasonic transducer (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) over a predefined angle range (36).

(57) Zusammenfassung: Ultraschallzähler zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße mit einer Steuereinrichtung (2), einem Messrohr (3), das durch mehrere Seitenwände (7) gebildet ist, wobei zueinander benachbarte Seitenwände gewinkelt zueinander stehen, und das durch das Fluid in eine Längsrichtung (14) des Messrohrs (3) durchströmbar ist, und einem ersten und einem zweiten Ultraschallwandler (5, 6), die in der Längsrichtung (14) voneinander beabstandet an dem Messrohr (3) angeordnet sind, wobei der erste und der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) jeweils ein Wandlerelement (29, 32) oder eine vorgegebene Anordnung mehrerer Wandlerelemente (29, 32) umfasst, wobei durch die Steuereinrichtung (2) der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) ansteuerbar sind, um eine akustische in einer Seitenwand (7) des Messrohrs (3) geführte Welle anzuregen, die über das Fluid zu dem jeweils anderen Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) führbar und dort durch die Steuereinrichtung (2) zur Ermittlung einer Signallaufzeit erfassbar ist, wobei eine Anregungsbreite (10, 17, 30, 33) des ersten und/oder des zweiten Ultraschallwandlers (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34), über die sich das Wandlerelement (29, 32) oder die Anordnung der Wandlerelemente (29, 32) erstreckt, wenigstens 50% der Breite (9) einer Innenfläche (8) jener Seitenwand (7) ist, an der der jeweilige Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) angeordnet ist, und/oder wobei eine Ausbreitungsrichtung (11, 18, 21, 22) der durch den ersten und/oder zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) anregbaren geführten Welle gewinkelt zu der Längsrichtung (14) des Messrohres (3) steht und/oder wobei durch den ersten und/oder den zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) die geführte Welle über einen vorgegebenen Winkelbereich (36) abstrahlbar ist.

Ultraschallzähler und Verfahren zur Erfassung einer Durchflussgröße

5

Die Erfindung betrifft einen Ultraschallzähler zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße.

Eine Möglichkeit, einen Durchfluss durch ein Messrohr zu messen, sind Ultraschallzähler.

10

Bei diesen wird wenigstens ein Ultraschallwandler genutzt, um eine Ultraschallwelle in das durch das Messrohr strömende Fluid einzukoppeln, wobei diese auf einem geraden Weg oder nach mehreren Reflexionen an Wänden oder speziellen Reflektorelementen zu einem zweiten Ultraschallwandler geführt wird. Aus der Laufzeit der Ultraschallwelle zwischen den Ultraschallwandlern bzw. einem Laufzeitunterschied bei einer Vertauschung

15

von Sender und Empfänger kann eine Durchflussgeschwindigkeit durch das Messrohr bestimmt werden.

Auf Grund des beschriebenen Messprinzips sind die gemessenen Laufzeiten abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids im Bereich des Ausbreitungspfad

20

der Ultraschallwelle. Es wird somit nicht eine tatsächliche mittlere Strömungsgeschwindigkeit erfasst, sondern eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Ausbreitungspfad

der Ultraschallwelle. Dies ist problematisch, da die Strömungsgeschwindigkeit in einem Messrohr ortsabhängig ist. Dies wird im Folgenden an dem Beispiel eines zylinderförmigen Messrohres erläutert, gilt jedoch für alle Rohrquerschnitte.

25

Bei einer laminaren Strömung, das heißt insbesondere bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten, kann das Geschwindigkeitsprofil eines zylinderförmigen Messrohres in Abhängigkeit der Radialkoordinate $v(r)$ folgendermaßen beschrieben werden:

30

$$v(r) = v_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right)$$

Hierbei ist v_{\max} die maximale axiale Geschwindigkeit im Strömungsprofil, r der Abstand von einer Mittelgerade des Messrohres und r_0 der Innenradius des Messrohres. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt somit zum Rand des Messrohres hin ab.

Bei turbulenten Strömungen, das heißt insbesondere bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten, kann das Strömungsprofil näherungsweise wie folgt beschrieben werden:

$$5 \quad v(r) \approx v_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right)^\gamma$$

Der zusätzliche Exponent γ kann näherungsweise als $1/7$ angenommen werden, wenn die Reynoldszahl für die Strömung zwischen 10^4 und 10^5 liegt.

- 10 Bei einem bekannten Pfad des Ultraschallstrahls durch das Messrohr kann die Profilform näherungsweise durch Berücksichtigung eines Korrekturfaktors bei der Berechnung des mittleren Durchflusses bzw. der mittleren Durchflussgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Dieser kann von der gemessenen Laufzeit bzw. Geschwindigkeit abhängen. Eine entsprechende Berechnung ist jedoch insbesondere dann fehlerbehaftet, wenn die Strömung zwischen einer laminaren und einer turbulenten Strömung umschlagen kann, da
- 15 hierbei Hysteresen auftreten können, die durch einen solchen Korrekturfaktor nicht abgebildet werden können.

- Im Stand der Technik sind mehrere Ansätze bekannt, entsprechende Messfehler zu verringern. Beispielsweise wurden in dem Artikel L.C. Lynnworth, et al. „Ultrasonic flowmeters: Half-century progress report, 1955-2005“, Ultrasonics Vol. 44, Supplement 1, December 2006, e1371, Ultraschallzähler offenbart, die mehrere Sender und Empfänger und somit mehrere Ausbreitungspfade für die Ultraschallwellen aufweisen. Dieser Ansatz erhöht jedoch die Komplexität des Ultraschallzählers und somit auch die resultierenden
- 25 Herstellungskosten.

- Die Druckschrift DE 102008049891 B4 schlägt hingegen vor, eine Vorkonditionierung des Flusses vor der Durchflussmessung durchzuführen. Eine entsprechende Vorkonditionierung kann jedoch den Strömungswiderstand des Durchflussmessers erhöhen und erhöht
- 30 zudem ebenfalls die Komplexität der Messanordnung.

Zum Erreichen eines einfachen Messaufbaus schlägt die Druckschrift US 4735097 A vor, Ultraschallwandler zu nutzen, die außenseitig an dem Messrohr befestigt werden. Diese

werden genutzt, um geführte Wellen am Messrohr zu induzieren, wodurch eine geringere Genauigkeit bei der Anordnung der Ultraschallwandler am Messrohr erforderlich ist.

5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen Ultraschallzähler anzugeben, der eine verbesserte Messgenauigkeit ermöglicht und insbesondere weitgehend unempfindlich gegenüber einem Strömungsumschlag zwischen einer laminaren und einer turbulenten Strömung ist.

10 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Ultraschallzähler zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße mit einer Steuereinrichtung, einem Messrohr, das durch mehrere Seitenwände gebildet ist, wobei zueinander benachbarte Seitenwände gewinkelt zueinander stehen, und das durch das Fluid in eine Längsrichtung des Messrohrs durchströmbar ist, und einem ersten und einem zweiten Ultraschallwandler, die in der Längsrichtung voneinander beabstandet an dem Messrohr angeordnet sind, wobei der erste und der zweite Ultraschallwandler jeweils ein Wandlerelement oder eine vorgegebene Anordnung mehrerer Wandlerelemente umfasst, wobei
15 durch die Steuereinrichtung der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler ansteuerbar ist oder sind, um eine akustische in einer Seitenwand des Messrohrs geführte Welle anzuregen, die über das Fluid zu dem jeweils anderen Ultraschallwandler führbar und dort
20 durch die Steuereinrichtung zur Ermittlung einer Signallaufzeit erfassbar ist, wobei eine Anregungsbreite des ersten und/oder des zweiten Ultraschallwandlers, über die sich das Wandlerelement oder die Anordnung der Wandlerelemente erstreckt, wenigstens 50% der Breite einer Innenfläche jener Seitenwand ist, an der der jeweilige Ultraschallwandler angeordnet ist, und/oder wobei eine Ausbreitungsrichtung der durch den ersten und/oder
25 zweiten Ultraschallwandler anregbaren geführten Welle gewinkelt zu der Längsrichtung des Messrohres steht und/oder wobei durch den ersten und/oder den zweiten Ultraschallwandler die geführte Welle über einen vorgegebenen Winkelbereich abstrahlbar ist.

30 Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, eine Anregung von geführten Wellen in dem Messrohr, die, wie später noch genauer erläutert werden wird, zu einer in Ausbreitungsrichtung der geführten Wellen ausgedehnten Abstrahlung einer Kompressionswelle in das Fluid führen können, mit einer großen Anregungsbreite bzw. mit einer Anregung einer geführten Welle mit einer schrägen Ausbreitungsrichtung bzw. einer Abstrahlung über einen Winkelbereich zu kombinieren. Die Kombination dieser Ansätze führt dazu, dass ein
35 möglichst großer Teil des Strömungsprofils im Rahmen der Ultraschallmessung „abgetastet“ wird, wodurch automatisch bereits im Rahmen des Messprozesses verschiedene Tei-

le des Strömungsprofils berücksichtigt werden und über deren Strömungsgeschwindigkeit eine Mittelung erfolgt.

5 Zur Abtastung des Strömungsprofils in Richtung senkrecht zur Längsrichtung des Messrohres wird einerseits vorgeschlagen, einen Ultraschallwandler zu nutzen, der die zur Messung genutzte geführte Wellen über einen Großteil der Breite der Innenfläche der Seitenwand anregt. Somit wird ein relativ großer Teil der Breite der Seitenwand und, beispielsweise im Fall eines rechteckigen Messrohres, des gesamten Strömungsprofils, berücksichtigt. Als Breite der Innenfläche ist hierbei die Ausdehnung der Innenfläche senkrecht zur Längsrichtung des Messrohres, insbesondere im Bereich des jeweiligen Ultraschallwandlers, zu verstehen. Ergänzend oder alternativ kann die geführte Welle gewinkelt zu der Längsrichtung des Messrohres angeregt werden. Da die Seitenwände gewinkelt, insbesondere senkrecht, zueinander stehen, wird eine geführte Welle die sich entlang einer der Seitenwände ausbreitet, am seitlichen Rand dieser Seitenwand, an der diese gewinkelt an eine weitere Seitenwand stößt, zumindest teilweise reflektiert. Dies führt dazu, dass die geführte Welle zick-zack-förmig entlang jener Seitenwand verläuft, an der der anregende Ultraschallwandler angeordnet ist. Dies führt dazu, dass der Verlauf des Strömungsprofils über die gesamte Breite der Seitenwand senkrecht zur Längsrichtung des Messrohres die Laufzeit zwischen den Ultraschallwandlern beeinflussen und somit berücksichtigt werden kann.

Wesentlich ist hierbei, dass die Anregung von geführten Wellen der Seitenwand dazu führt, dass Kompressionswellen in das Fluid abgestrahlt werden. Als geführte Wellen können insbesondere Lamb-Wellen und/oder Rayleigh-Wellen angeregt werden. Eine Anregung von Lamb-Wellen erfolgt, wenn die Wanddicke mit der Wellenlänge der Transversalwelle des Festkörpers vergleichbar ist. Derartige geführte Wellen sind kombinierte Druck- und Scherwellen und führen somit auch zu Auslenkungen der Innenfläche der Seitenwand in Richtung des Fluids bzw. von dem Fluid weg. Durch diese Auslenkungen werden wiederum Kompressionswellen im Fluid ausgelöst. Der gesamte Bereich, innerhalb dem sich die geführte Welle auf der Seitenwand ausbreitet, kann somit als Anregungsfläche für eine Kompressionsschwingung des Fluids dienen.

Gemeinsam mit der oben erläuterten großen Anregungsbreite bzw. gewinkelten Abstrahlung kann somit eine Ultraschallabstrahlung im Wesentlichen über die gesamte Breite des Messrohres erreicht werden, womit im Rahmen der Ermittlung der Durchflussgröße das gesamte Strömungsprofil berücksichtigt werden kann. Analoges gilt für den Empfang der

Druckwelle an dem anderen Ultraschallwandler. Eine an der Seitenwand einlaufende Druckwelle trägt wiederum zur Anregung einer geführten Welle an der Seitenwand bei, wodurch auch die Empfangsfläche des jeweils empfangenden Ultraschallwandlers durch die Nutzung von induzierten geführten Wellen vergrößert werden kann.

5

Der Übergang zwischen einer geführten Welle einer Wand und einem angrenzenden Fluid ist beispielsweise in dem Artikel G. Lindner, „Sensors and actuators based on surface acoustic waves propagating along solid-liquid interfaces“, Journal of Physics D, Vol. 41, No. 12, 2008, S. 123002, dargestellt und soll im Folgenden nur grob wiedergegeben werden. Breitet sich eine geführte Welle entlang einer ein Fluidvolumen begrenzenden Wand aus, so wird eine Kompressionswelle unter dem sogenannten Rayleigh-Winkel, dessen Sinus von dem Verhältnis der Schallgeschwindigkeit in dem Fluid zu der Phasengeschwindigkeit der in der Wand geführten Welle abhängt, in das Fluid abgestrahlt. Werden nun Laufzeiten zwischen dem ersten und dem zweiten Ultraschallwandler gemessen und
10
15
der Laufzeitunterschied zwischen den beiden Transportrichtungen berechnet, so ergibt sich für den Laufzeitunterschied für einen einzelnen Ultraschallstrahl, der durch die geführte Welle ausgelöst wurde, der folgende Zusammenhang:

$$\Delta t = \int \left(\frac{1}{c_f - v_p(l)} - \frac{1}{c_f + v_p(l)} \right) dl \approx \frac{2L\overline{v_p}}{c_f^2}$$

20

Hierbei ist c_f die Schallgeschwindigkeit in dem Fluid, $v_p(l)$ die Geschwindigkeit des Fluids parallel zur Strahlrichtung an der Stelle l entlang des Ultraschallstrahls, L die Gesamtlänge des Pfades des Ultraschallstrahls in dem Fluid und $\overline{v_p}$ die entlang des Pfades gemittelte Strömungsgeschwindigkeit des Fluids parallel zur Strahlausbreitungsrichtung. Die näherungsweise Lösung geht davon aus, dass die Schallgeschwindigkeit im Medium wesentlich größer als die Flussgeschwindigkeit parallel zur Strahlausbreitungsrichtung ist.
25
Durch Umstellen dieser Gleichung kann somit $\overline{v_p}$ aus dem ermittelten Laufzeitunterschied berechnet werden und somit auch die über den Strahlpfad gemittelte Strömungsgeschwindigkeit in die Längsrichtung des Messrohres. Würde davon ausgegangen, dass
30
diese gleich der tatsächlichen mittleren Strömungsgeschwindigkeit ist, könnte ein Durchflussvolumen durch eine Multiplikation dieser Größe mit der Innenfläche des Messrohres berechnet werden. Da dies wie eingangs erläutert bei einer Nutzung einzelner Messstrahlen jedoch nicht der Fall ist, wird typischerweise ein zusätzlicher Kalibrierungsfaktor ge-

nutzt, der von der mittleren Geschwindigkeit entlang des Messstrahles und der Pfadlänge abhängen kann.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren geht die oben erläuterte Integration über einen
5 Messpfad in eine Integration über ein Messvolumen über bzw. es erfolgt zusätzlich eine
Integration über die Anregungsfläche und die von dieser ausgesendeten Messstrahlen.
Eine Anregung erfolgt über die gesamte Anregungsbreite sowie über den Ausbreitungs-
pfad der geführten Welle. Somit werden wesentlich größere Teile des Strömungsquer-
schnitts bei der Ermittlung des Laufzeitunterschieds berücksichtigt, womit die berechnete
10 mittlere Geschwindigkeit $\overline{v_p}$ die mittlere Geschwindigkeit in einem Volumen ist, das einen
Großteil des Strömungsquerschnitts berücksichtigt. Die Auswirkungen des Strömungspro-
fils können somit weit besser berücksichtigt werden.

Der Übergangsbereich zwischen benachbarten, zueinander gewinkelt stehenden Seiten-
15 wänden des Messrohrs kann (innen wie außen) in Form einer ausgeprägten Kante ausge-
führt sein. Er kann aber auch – mehr oder weniger – abgerundet ausgebildet sein (innen
und/oder außen). Die Seitenwände selbst können plan oder (insbesondere nach außen)
gewölbt ausgeführt sein, wobei der Krümmungsradius der Wölbung deutlich größer ist als
der des Übergangsbereichs, so dass sich der Querschnitt des Messrohrs merklich von
20 einer runden oder elliptischen Form unterscheidet.

Die Innenflächen der Seitenwände, aus denen das Messrohr zusammengesetzt ist, kön-
nen rechteckig sein oder eine Trapezform aufweisen. Die Trapezform kann insbesondere
25 nur einen geringen Öffnungswinkel gegenüber der rechteckigen Form von 1 bis 2 Grad
aufweisen, um den Strömungsquerschnitt des Messrohrs in Durchflussrichtung geringfü-
gig zu vergrößern oder zu verkleinern und somit die Strömung zu stabilisieren. Die Sei-
tenwände können zumindest an ihrer Innenfläche eben sein.

Das Messrohr kann zwei, insbesondere parallele, gegenüberliegende Seitenwände auf-
30 weisen (evtl. mit abgerundeten Ecken und/oder nach außen gewölbten Seiten). Der erste
und zweite Ultraschallwandler können gemeinsam an einer dieser Seitenwände oder an
unterschiedlichen dieser Seitenwände angeordnet sein. Die durch die gegenüberliegen-
den Seitenwände aufgespannte Querschnittsfläche kann wenigstens 75% der durch-
strömten Querschnittsfläche des Messrohres sein.

35

Das Messrohr kann einen rechteckigen Rohrquerschnitt aufweisen. Insbesondere kann der Querschnitt des Messrohrs über die gesamte Rohrlänge oder zumindest in dem Bereich zwischen dem ersten und dem zweiten Ultraschallwandler konstant sein. Wie voran-

5 gehend erläutert kann auch eine geringfügige Weitung oder Verengung des Rohrquerschnitts erfolgen, um eine Strömung zu stabilisieren.

Es ist möglich, dass das Wandlerelement oder die Wandlerelemente zur Anregung der geführten Welle verformbar ist oder sind, wobei das Wandlerelement oder die Wandlerelemente jeweils eine runde oder elliptische Kontaktfläche zur Kopplung mit der Seitenwand aufweist oder aufweisen. Alternativ oder ergänzend können die Wandlerelemente des ersten und/oder des zweiten Ultraschallwandlers linienförmig in parabelförmig konkavem Bogen oder v-förmig angeordnet sein.

10

Das Wandlerelement kann zur Anregung der geführten Welle verformbar sein und eine rechteckige Kontaktfläche zur Kopplung mit der Seitenwand aufweisen, wobei zwei Seiten der Kontaktfläche senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung stehen, wobei die Seitenlänge dieser Seiten der Anregungsbreite entspricht. Das Wandlerelement kann direkt mit der Seitenwand gekoppelt sein, beispielsweise auf diese aufgeklebt sein, oder indirekt über ein Kopplungselement mit der Seitenwand verbunden sein. Das Anregungselement kann

15

20 beispielsweise ein Piezoaktor sein, der durch eine entsprechende Ansteuerung durch die Steuereinrichtung seine Ausdehnung ändern kann. Beispielsweise kann ein Interdigitaltransducer genutzt werden, der kammartige ineinander greifende Steuerleitungen aufweist, um eine Anregung mit einer bestimmten Anregungsmoden zu erreichen.

Die Ausbreitungsrichtung der durch den ersten und/oder zweiten Ultraschallwandler anregbaren geführten Welle kann in einem Winkel zwischen 10° und 80° , insbesondere zwischen 40° und 50° zu der Längsrichtung des Messrohrs stehen. Durch eine ausreichend große Wahl des Winkels zwischen Ausbreitungsrichtung und Längsrichtung kann erreicht werden, dass auch bei einer relativ starken Dämpfung der geführten Welle in

25

30 Ausbreitungsrichtung zumindest große Teile der Innenfläche der Seitenwand durch die geführte Welle überstrichen werden, womit eine Anregung von Druckwellen im Fluid über die gesamte Breite der Seitenwand erfolgen kann. Winkel zwischen Ausbreitungsrichtung und Längsrichtung des Messrohres im Bereich von ca. 45° sind besonders dann vorteilhaft, wenn, wie später noch genauer erläutert werden wird, geführte Wellen in verschiedene Ausbreitungsrichtungen abgestrahlt werden, um die Abdeckung des Durchfluss-

35

querschnitts weiter zu verbessern.

Der vorgegebene Winkelbereich kann 360° sein. Insbesondere kann die geführte Welle gleichmäßig in alle Richtungen in die Seitenwand eingekoppelt werden.

- 5 Die Anregungsbreite des ersten und/oder zweiten Ultraschallwandlers kann wenigstens 70 % oder 80 % der Breite der Innenfläche jener Seitenwand sein, an der der jeweilige Ultraschallwandler angeordnet ist. Insbesondere kann die Anregungsbreite gleich der Breite der Innenfläche oder zumindest 90 % hiervon sein. Hierdurch wird selbst bei einer parallel zur Längsrichtung des Messrohres verlaufenden Abstrahlrichtung der geführten
- 10 Welle erreicht, dass auch die Randbereiche des Strömungsprofils bei der Ermittlung der Signallaufzeit und somit der Durchflussgröße berücksichtigt werden können.

Der erste und/oder zweite Ultraschallwandler können durch die Steuereinrichtung derart ansteuerbar sein, dass gleichzeitig oder zeitversetzt zwei geführte Wellen des Messrohres mit senkrecht zueinander stehenden Ausbreitungsrichtungen durch den jeweiligen Ultra-

15 schallwandler anregbar sind. Somit werden zwei unterschiedliche Ausbreitungspfade für die geführte Welle realisiert und es wird jener Bereich, in dem Druckwellen in das zu messende Fluid abgestrahlt werden, vergrößert. Soweit der jeweilige Ultraschallwandler ein Wandlerelement ist oder umfasst, kann dieses somit, insbesondere unabhängig vonei-

20 nander, in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen anregbar sein. Vorzugsweise ist die Wellenlänge der in beide Richtungen abgestrahlten geführten Wellen gleich.

Die Anregungsbreiten für beide durch den Ultraschallwandler anregbaren geführten Wellen können gleich sein. Es kann somit insbesondere ein quadratisches Wandlerelement

25 als Teil des Ultraschallwandlers oder als Ultraschallwandler genutzt werden. Vorzugsweise wird zudem in beide Ausbreitungsrichtungen die gleiche Schwingungsmode angeregt, das heißt, die angeregten geführten Wellen weisen die gleiche Wellenlänge auf.

Die Steuereinrichtung und der erste und/oder zweite Ultraschallwandler können dazu ein-

30 gerichtet sein, eine Lamb-Welle anzuregen. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der Ultraschallwandler außerhalb des fluiddurchströmten Innenraums des Messrohres angeordnet sein soll. Ist die Dicke der Seitenwand vergleichbar mit der Wellenlänge der Transversalwelle des isotropen Festkörpers, so können Lamb-Wellen angeregt werden, welche eine Deformation beider Oberflächen der Seitenwand zur Folge haben. Mit zu-

35 nehmender Dicke der Seitenwand findet ein kontinuierlicher Übergang zur Anregung von

Rayleigh-Wellen (Oberflächenwellen) statt. Eine Amplitude von Oberflächenwellen fällt in dicken Materialien exponentiell mit zunehmender Tiefe ab.

5 Der erste und/oder zweite Ultraschallwandler können an der Außenseite des Messrohrs angeordnet sein. Insbesondere kann der Innenraum des Messrohrs, also das fluiddurchströmte Volumen, über die gesamte Länge des Messrohrs oder zumindest in einem Messabschnitt zwischen dem ersten und dem zweiten Ultraschallwandler, abgesehen von den das Messrohr begrenzten Seitenwänden, vollständig frei sein. Hierdurch können sehr geringe Strömungswiderstände erreicht werden. Zudem können relativ einfache ausgebildete Ultraschallwandler genutzt werden, da diese nicht gegenüber dem Fluid abgedichtet werden müssen.

10 Das Fluid kann eine Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, ein Gas oder ein Gasgemisch, beispielsweise Erdgas, sein.

15

Der erste und/oder zweite Ultraschallwandler können durch die Steuereinrichtung derart ansteuerbar sein, dass eine geführte Welle mit genau einer Mode und/oder zwei geführte Wellen mit jeweils genau einer Mode und mit senkrecht zueinander stehenden Ausbreitungsrichtungen anregbar sind. Eine derartige modenselektive Anregung ist vorteilhaft, da der Winkel, in dem eine durch die geführte Welle ausgelöste Druckwelle in das Fluid bezüglich der Ausbreitungsrichtung der geführten Welle abgestrahlt wird, wie eingangs erläutert, von der Phasengeschwindigkeit der geführten Welle und somit typischerweise von deren Anregungsmodus abhängt. Am empfangenden Ultraschallwandler würde bei einer Nutzung mehrerer Moden somit eine Überlagerung von Empfangssignalen empfangen werden, die das Fluid mit unterschiedlichen Winkeln bezüglich der Strömungsrichtung durchlaufen haben. Es ist prinzipiell möglich, aus einem derartigen Empfangssignal die Laufzeiten für die einzelnen Moden zu rekonstruieren und unter Umständen sogar zusätzliche Informationen über das Fluid zu gewinnen. Dies erhöht jedoch die Komplexität der Signalauswertung deutlich und kann daher zu einer weniger robusten Messung führen.

20

25

30 Vorzugsweise wird somit nur eine einzelne Mode zur Messung benutzt. Eine modenselektive Anregung ist, wie erläutert, beispielsweise durch Interdigitaltransducer möglich.

Neben dem erfindungsgemäßen Ultraschallzähler betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße, wobei ein Ultraschallzähler mit einer Steuereinrichtung, einem Messrohr, das durch mehrere Seitenwände gebildet wird, wobei zueinander benachbarte Seitenwände gewinkelt zuei-

35

nander stehen, und das durch das Fluid in eine Längsrichtung des Messrohrs durchströmt wird, und einem ersten und einem zweiten Ultraschallwandler, die in der Längsrichtung voneinander beabstandet an dem Messrohr angeordnet sind, wobei der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler jeweils ein Wandlerelement oder eine vorgegebene Anordnung mehrerer Wandlerelemente umfasst, verwendet wird, wobei durch die Steuereinrichtung der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler angesteuert werden, um eine akustische in einer Seitenwand des Messrohrs geführte Welle anzuregen, die über das Fluid zu dem jeweils anderen Ultraschallwandler geführt und dort durch die Steuereinrichtung zur Ermittlung einer Signallaufzeit erfasst wird, wobei die Durchflussgröße in Abhängigkeit der Signallaufzeit ermittelt wird, wobei eine Anregungsbreite, über die sich das Wandlerelement oder die Anordnung der Wandlerelemente erstreckt, wenigstens 50 % der Breite einer Innenfläche jener Seitenwand angeregt wird, an der der jeweilige Ultraschallwandler angeordnet ist und/oder wobei die geführte Welle mit einer Ausbreitungsrichtung ist, die gewinkelt zu der Längsrichtung des Messrohres steht und/oder wobei durch den ersten und/oder den zweiten Ultraschallwandler die geführte Welle über einen vorgegebenen Winkelbereich abgestrahlt wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können die zum erfindungsgemäßen Ultraschallzähler erläuterten Vorteile erreicht werden. Es kann zudem mit Merkmalen weitergebildet werden, die zum erfindungsgemäßen Ultraschallzähler erläutert wurden.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den folgenden Ausführungsbeispielen sowie den dazugehörigen Zeichnungen. Hierbei zeigen schematisch:

- 25 Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallzählers, durch den ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ausführbar ist,
- 30 Figuren 2 und 3 Detailansichten des in Fig. 1 gezeigten Ultraschallzählers aus unterschiedlichen Blickrichtungen, und
- Figuren 4 bis 9 Detailansichten von weiteren Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Ultraschallzählers.

35 Fig. 1 zeigt einen Ultraschallzähler 1 zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße. Der Ultraschallzähler 1 weist eine Steuereinrichtung 2,

ein Messrohr 3 und einen ersten und zweiten Ultraschallwandler 5, 6 auf. Das Fluid wird in einem Innenraum 4 des Messrohrs 3 in Längsrichtung 14 des Messrohrs 3 geführt.

Um eine Durchflussgröße, insbesondere ein Durchflussvolumen, zu ermitteln, kann durch die Steuereinrichtung 2 eine Laufzeitdifferenz der Signallaufzeit von dem ersten Ultraschallwandler 5 zu dem zweiten Ultraschallwandler 6 und umgekehrt ermittelt werden. Hierbei wird ausgenutzt, dass diese Laufzeit von einer Geschwindigkeitskomponente des Fluids parallel zu einer Ausbreitungsrichtung eines Ultraschallstrahls 12 durch das Fluid abhängt. Aus dieser Laufzeit kann somit eine gemittelte Fluidgeschwindigkeit in Richtung des jeweiligen Ultraschallstrahls 12 über den Pfad des jeweiligen Ultraschallstrahls 12 und somit näherungsweise eine gemittelte Strömungsgeschwindigkeit in dem von dem Ultraschallstrahl 12 durchquerten Volumen ermittelt werden. Problematisch ist bei üblichen Ultraschallzählern, die einen einzelnen Ultraschallstrahl für diese Messung nutzen, dass dieser nur einen sehr kleinen Teil des Strömungsquerschnitts des Messrohres 3 durchquert, womit über Bereiche außerhalb des Ultraschallstrahls 12 keine Informationen vorliegen.

Um dem entgegenzuwirken, wird durch den ersten Ultraschallwandler 5 nicht direkt ein Ultraschallstrahl 12, also eine Druckwelle, in dem Fluid induziert. Stattdessen wird durch den Ultraschallwandler 5 eine schematisch durch ihre Ausbreitungsrichtung 11 dargestellte geführte Welle des Messrohrs 3 bzw. insbesondere der in Fig. 2 gezeigten Seitenwand 7 des Messrohrs 3 angeregt. Hierzu wird ein Ultraschallwandler 5 genutzt, der ein Wandlerelement aufweist, das senkrecht zur Seitenwand 7 und/oder in die Längsrichtung 14 des Messrohres 3 verformbar ist. Das Wandlerelement ist über eine rechteckige Kontaktfläche, deren Abmessung der in Fig. 3 gezeigten Draufsicht des Ultraschallwandlers 5 entsprechen, derart mit der Seitenfläche 7 gekoppelt, dass eine Verformung des Wandlerelements auch zu einer Verformung der Seitenwand im Bereich der Kontaktfläche führt. Die Anregung erfolgt mit einer Frequenz, die derart gewählt ist, dass eine Lamb-Welle in der Seitenwand 7 angeregt wird. Solche Wellen können angeregt werden, wenn die Dicke 15 der Seitenwand 7 vergleichbar mit der Wellenlänge der Transversalwelle des Festkörpers ist, welche sich aus dem Verhältnis der Schallgeschwindigkeit der Transversalwelle des Festkörpers und der angeregten Frequenz ergibt.

Bei einer Lamb-Welle handelt es sich um eine kombinierte Scher- und Druckwelle. Somit resultieren aus der entlang der Seitenwand 7 laufenden geführten Welle eine lokale Verformung der Innenfläche 8 der Seitenwand 7. Aus dieser resultiert wiederum die Abstrah-

lung einer Druckwelle in das Fluid im gesamten Bereich, innerhalb dem sich die geführte Welle ausbreitet. Dies ist in Fig. 1 schematisch durch die in Längsrichtung 14 beabstandeten Ultraschallstrahlen 12 dargestellt. Die Abstrahlung der entsprechenden Druckwellen erfolgt in dem Rayleigh-Winkel 27, der von der Schallgeschwindigkeit im Fluid und der
5 Phasengeschwindigkeit der geführten Welle abhängt. Für eine bestimmte Anregungsmoder resultiert somit bei einem bekannten untersuchten Fluid ein bekannter Abstrahlwinkel. Somit kann, wie bei anderen Ultraschallzählern üblich, auch in diesem Fall eine Signallaufzeit für das Signal ermittelt und hieraus beispielsweise ein Durchfluss berechnet werden. Im Unterschied zu üblichen Durchflusszählern wird hierbei jedoch zusätzlich über
10 den Ausbreitungsabschnitt der geführten Welle entlang der Ausbreitungsrichtung 11 gemittelt.

Empfangsseitig wird ebenfalls das Prinzip der geführten Wellen genutzt. Wie durch den Pfeil 13 angedeutet, wird durch die einlaufenden Druckwellen aus dem Fluid im Bereich
15 des zweiten Ultraschallwandlers 6 eine in Richtung des zweiten Ultraschallwandlers 6 laufende geführte Welle induziert, die durch die Steuereinrichtung über den zweiten Ultraschallwandler 6 erfasst werden kann. Aus dem beschriebenen Vorgehen resultiert somit eine Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeiten in einem größeren Teil des Messbereichs in dem Messrohr 3 zwischen dem ersten und dem zweiten Ultraschallwandler 5, 6.
20

Wie in Fig. 2 dargestellt ist, wird ein rechteckiger Rohrquerschnitt des Messrohrs 3 verwendet (wobei die Ecken – innen und/oder außen - mehr oder weniger stark abgerundet ausgeführt sein können). Um auch möglichst große Teile des Strömungsquerschnitts
25 senkrecht zur Ausbreitungsrichtung 11 der geführten Welle zu berücksichtigen, wird ein Ultraschallwandler 5 genutzt, dessen Anregungsbreite sich über einen großen Teil der Breite 9 der Innenfläche 8 jener Seitenwand 7 erstreckt, an der er angeordnet ist. Somit werden auch in Querrichtung des Messrohrs 3 große Teile des Strömungsprofils im Rahmen der Ermittlung der Signallaufzeit und somit beispielsweise der Strömungsgeschwindigkeit bzw. des Volumenflusses mit berücksichtigt.
30

Fig. 3 zeigt eine äußere Draufsicht auf die Seitenwand 7 des Messrohres 3 im Bereich des Ultraschallwandlers 5. Durch die gestrichelten Linien ist die Breite 9 der Innenfläche 8 der Seitenwand 7 verdeutlicht. Wie in Fig. 3 deutlich zu erkennen ist, wird durch eine
35 Wahl einer ausreichenden Anregungsbreite 10 des Ultraschallwandlers 5 ermöglicht, nahezu das gesamte Strömungsprofil des Fluids im Rahmen der Berücksichtigung der Signal-

laufzeit und somit der Durchflussgröße zu berücksichtigen. Zudem ist leicht erkennbar, dass sogar noch größere Anregungsbreiten für den Ultraschallwandler 5 gewählt werden können. Beispielsweise kann die Anregungsbreite 10 sich über die gesamte Breite 9 der Innenfläche 8 oder sogar darüber hinaus erstrecken.

5

Insbesondere dann, wenn ein Messrohr 3 mit einem großen Rohrquerschnitt verwendet werden soll, kann die Verwendung eines Ultraschallwandlers mit einer ausreichend großen Breite technisch relativ aufwendig sein. In den folgenden Ausführungsbeispielen, die in Fig. 4 und 5 dargestellt sind, kann jedoch auch in diesen Fällen erreicht werden, dass
10 im Wesentlichen die gesamte Breite des Querschnitts bei der Ermittlung der Signallaufzeit und somit der Durchflussgröße berücksichtigt wird. In dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Anregungsbreite 17 des Ultraschallwandlers 16 deutlich geringer als die Breite 9 der Innenfläche 8 der Seitenwand 7 des Messrohres 3. Um dennoch das Strömungsprofil auf seiner gesamten Breite 9 zu erfassen, wird der Ultraschallwandler 16
15 so auf der Seitenfläche 7 angeordnet bzw. durch die nicht gezeigte Steuereinrichtung angesteuert, dass eine geführte Welle mit einer Ausbreitungsrichtung 18 abbestrahlt wird, die mit der Längsrichtung 14 den Abstrahlwinkel 19 einschließt. Die geführte Welle bzw. die durch sie ausgelöste Druckwellen in dem Fluid weisen somit eine Ausbreitungsrichtung auf, die gewinkelt zu der Längsrichtung 14 steht. Die geführte Welle bzw. die Druck-
20 wellen breiten sich somit bis zur den seitlichen Seitenwänden des Messrohres 3 aus, werden an diesen reflektiert und ändern ihre Ausbreitungsrichtung. Die Breite 9 wird somit durch die zwischen den seitlichen Seitenwänden reflektierenden Druckwellen bzw. die zwischen diesen reflektierte geführte Welle überstrichen.

25 Um die Messgenauigkeit des Ultraschallzählers zu verbessern, kann optional eine zusätzliche Laufzeitmessung mit Hilfe eines weiteren Ultraschallwandlers 34 durchgeführt werden. Dieser kann, wie in Fig. 1 dargestellt ist, z. B. an einer dem Ultraschallwandler 5 gegenüberliegenden Seitenwand angeordnet sein.

30 Die Abdeckung der Breite 9 bzw. des gesamten Innenraums des Messrohres 3 kann weiter verbessert werden, wenn, wie in Fig. 5 gezeigt, ein Ultraschallwandler 20 verwendet wird, der durch die Steuereinrichtung derart angesteuert wird, dass gleichzeitig oder zeitversetzt zwei geführte Wellen mit senkrecht zueinander stehenden Ausbreitungsrichtungen 21, 22 abgestrahlt werden. Diese geführten Wellen können vorzugsweise mit einem
35 jeweiligen Abstrahlwinkel 23, 24 zu einer Längsrichtung 14 des Messrohres 3 von ungefähr 45 ° abgestrahlt werden. Hierdurch wird eine symmetrische Ausbreitung erreicht. Die

Wellenlänge der abgestrahlten geführten Wellen sowie die Anregungsbreiten 25, 26 sind gleich.

- 5 In einem weiteren nicht gezeigten Ausführungsbeispiel wäre es auch möglich, dass ein rechteckiger Ultraschallwandler 20 verwendet wird, dessen Anregungsbreiten 25, 26 voneinander unterschiedlich sind. In diesem Fall können in die beiden Ausbreitungsrichtungen 21, 22 geführte Wellen mit voneinander unterschiedlichen Wellenlängen abgestrahlt werden.
- 10 Fig. 6 zeigt eine Detailansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Ultraschallzählers. Die Darstellung entspricht weitgehend der in Fig. 3 gezeigten Darstellung, wobei statt dem in Fig. 3 gezeigten Ultraschallwandler 5 mit einem einzelnen breiten, rechteckigen Anregungselement ein Ultraschallwandler 28 genutzt wird, der eine Vielzahl einzelner, insbesondere runder bzw. zylinderförmiger oder auch rechteckiger bzw. quaderförmiger, 15 quadratischer bzw. kubischer oder elliptischer, Wandlerelemente 29 aufweist. Die Wandlerelemente 29 sind linienförmig angeordnet und die Anordnung der Wandlerelemente 29 erstreckt sich über eine Anregungsbreite 30, die nur geringfügig schmaler ist als die Breite 9 der Seitenwand 7.
- 20 Im einfachsten Fall können die einzelnen Wandlerelemente 29 mit dem gleichen Steuerungssignal angesteuert werden, womit eine geführte Welle in der Seitenwand 7 resultiert, die im Wesentlichen in Längsrichtung des Messrohrs 3 verläuft. Es ist jedoch auch möglich, die geführte Welle gewinkelt in die Seitenwand 7 einzukoppeln, beispielsweise indem ein definierter Phasenversatz für die einzelnen Wandlerelemente 29 vorgegeben wird. In einem nicht gezeigten alternativen Ausführungsbeispiel wäre es auch möglich, die linienförmige Anordnung der Wandlerelemente 29 zur Querrichtung des Messrohres 3 gewinkelt anzuordnen, um eine gewinkelte Abstrahlung zur Längsrichtung 14 des Messrohres 3 zu erreichen.
- 25 30 Fig. 7 zeigt eine Variante des in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiels. Hierbei wird ein Ultraschallwandler 31 genutzt, dessen Wandlerelemente 32 V-förmig angeordnet sind (eine parabelförmige oder konkave Anordnung ist ebenfalls möglich). Die Anregungsbreite 33 entspricht hierbei wiederum nahezu der Breite 9 der Seitenwand 7. Durch die V-förmige Anordnung wird bei einer gemeinsamen Ansteuerung der Wandlerelemente 32 35 mit dem gleichen Anregungssignal in Längsrichtung 14 des Messrohres 3 ein Phasenver-

satz zwischen den verschiedenen abgestrahlten geführten Wellen erreicht, so dass diese derart überlagert werden können, dass ein Abstrahlwinkel angepasst wird.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Ultraschallzähler ist in Fig. 8 dargestellt. Hierbei wird ein Ultraschallwandler 35 genutzt, der ein einzelnes, zylinderförmiges Wandlerelement aufweist. Aufgrund der Zylinderform des Wandlerelements erfolgt eine Abstrahlung der geführten Welle in den Winkelbereich 36 von 360°. Mit anderen Worten erfolgt eine Abstrahlung isotrop in alle Raumrichtungen. Durch Reflexionen am Rand der Seitenwand 7, wie mit Bezug auf Fig. 4 erläutert wurde, wird auch hierbei eine Ausbreitung der geführten Welle im Wesentlichen über die gesamte Breite 9 der Seitenwand 7 erreicht, womit auch über die gesamte Breite 9 Schwingungen in das Fluid eingekoppelt werden. Es wird somit ermöglicht, mit geringem technischen Aufwand die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids im Wesentlichen im gesamten Strömungsquerschnitt des Messrohres 3 zu berücksichtigen.

15

Die bisherigen Erläuterungen gingen davon aus, dass eine Laufzeit gemessen wird, nachdem die durch das Fluid geführte Kompressionswelle wenigstens einmal an einer Seitenwand reflektiert wurde. Dies ist jedoch für das erläuterte Messprinzip nicht erforderlich, so dass auch eine Anordnung, wie sie in Fig. 9 gezeigt ist, genutzt werden kann. Die grundsätzliche Struktur entspricht hierbei der in Fig. 1 gezeigten Struktur, wobei der erste und zweite Ultraschallwandler 5, 6 hierbei an einander gegenüberliegenden Seitenwänden angeordnet sind. In einem nicht gezeigten Ausführungsbeispiel wäre es auch möglich, eine solche Anordnung zu nutzen, wobei die Ultraschallwellen während der Ausbreitung durch das Fluid mehrfach an den Seitenwänden reflektiert werden.

25

Bezugszeichenliste

	1	Ultraschallzähler
	2	Steuereinrichtung
5	3	Messrohr
	4	Innenraum
	5	erster Ultraschallwandler
	6	zweiter Ultraschallwandler
	7	Seitenwand
10	8	Innenfläche
	9	Breite
	10	Anregungsbreite
	11	Ausbreitungsrichtung
	12	Ultraschallstrahl
15	13	Pfeil
	14	Längsrichtung
	15	Dicke
	16	Ultraschallwandler
	17	Anregungsbreite
20	18	Ausbreitungsrichtung
	19	Abstrahlwinkel
	20	Ultraschallwandler
	21	Ausbreitungsrichtung
	22	Ausbreitungsrichtung
25	23	Abstrahlwinkel
	24	Abstrahlwinkel
	25	Anregungsbreite
	26	Anregungsbreite
	27	Rayleigh-Winkel
30	28	Ultraschallwandler
	29	Wandlerelement
	30	Anregungsbreite
	31	Ultraschallwandler
	32	Wandlerelement
35	33	Anregungsbreite
	34	Ultraschallwandler

- 35 Ultraschallwandler
- 36 Winkelbereich

Patentansprüche

1. Ultraschallzähler zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße mit einer Steuereinrichtung (2), einem Messrohr (3), das
5 durch mehrere Seitenwände (7) gebildet ist, wobei zueinander benachbarte Seitenwände gewinkelt zueinander stehen, und das durch das Fluid in einer Längsrichtung (14) des Messrohrs (3) durchströmbar ist, und einem ersten und einem zweiten Ultraschallwandler (5, 6), die in der Längsrichtung (14) voneinander beab-
10 standet an dem Messrohr (3) angeordnet sind, wobei der erste und der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) jeweils ein Wandlerelement (29, 32) oder eine vorgegebene Anordnung mehrerer Wandlerelemente (29, 32) umfasst, wobei durch die Steuereinrichtung (2) der erste und/oder der zweite Ultraschall-
15 wandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) ansteuerbar ist oder sind, um eine akustische in einer Seitenwand (7) des Messrohrs (3) geführte Welle anzuregen, die über das Fluid zu dem jeweils anderen Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) führ-
20 bar und dort durch die Steuereinrichtung (2) zur Ermittlung einer Signallaufzeit erfassbar ist, wobei eine Anregungsbreite (10, 17, 30, 33) des ersten und/oder des zweiten Ultraschallwandlers (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34), über die sich das Wand-
lerelement (29, 32) oder die Anordnung der Wandlerelemente (29, 32) erstreckt, wenigstens 50% der Breite (9) einer Innenfläche (8) jener Seitenwand (7) ist, an
25 der der jeweilige Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) angeordnet ist, und/oder wobei eine Ausbreitungsrichtung (11, 18, 21, 22) der durch den ersten und/oder zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) anregbaren ge-
führten Welle gewinkelt zu der Längsrichtung (14) des Messrohres (3) steht
30 und/oder wobei durch den ersten und/oder den zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) die geführte Welle über einen vorgegebenen Winkelbereich (36) abstrahlbar ist.
2. Ultraschallzähler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Messrohr
30 (3) einen rechteckigen Rohrquerschnitt aufweist.
3. Ultraschallzähler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das
35 Wandlerelement (29, 31) oder die Wandlerelemente (29, 31) zur Anregung der geführten Welle verformbar ist oder sind, wobei das Wandlerelement (29, 31) oder die Wandlerelemente (29, 31) jeweils eine runde oder elliptische Kontaktfläche zur Kopplung mit der Seitenwand (7) aufweist oder aufweisen.

4. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandlerelemente (29, 31) des ersten und/oder des zweiten Ultraschallwandlers (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) linienförmig, parabelförmig, in konkavem Bogen oder v-förmig angeordnet sind.
- 5
5. Ultraschallzähler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Wandlerelement (29, 31) zur Anregung der geführten Welle verformbar ist und eine rechteckige Kontaktfläche zur Kopplung mit der Seitenwand (7) aufweist, wobei zwei Seiten der Kontaktfläche senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung (11, 18, 21, 22) stehen, wobei die Seitenlänge dieser Seiten der Anregungsbreite (10, 17, 25, 26) entspricht.
- 10
6. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausbreitungsrichtung (11, 18, 21, 22) der durch den ersten und/oder zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) anregbaren geführten Welle in einem Winkel zwischen 10° und 80° , insbesondere zwischen 40° und 50° , zu der Längsrichtung (14) des Messrohres (3) steht.
- 15
7. Ultraschallzähler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgegebene Winkelbereich (36) 360° ist.
- 20
8. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregungsbreite (10, 17, 25, 26, 30, 33) des ersten und/oder des zweiten Ultraschallwandlers (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) wenigstens 70% oder wenigstens 80% der Breite (9) der Innenfläche (8) jener Seitenwand (7) ist, an der der jeweilige Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) angeordnet ist.
- 25
9. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) durch die Steuereinrichtung (2) derart ansteuerbar sind, dass gleichzeitig oder zeitversetzt zwei geführte Wellen mit senkrecht zueinander stehenden Ausbreitungsrichtungen (21, 22) durch den jeweiligen Ultraschallwandler (20) anregbar sind.
- 30
- 35

10. Ultraschallzähler nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregungsbreiten (25, 26) für beide durch den Ultraschallwandler (20) anregbaren geführten Wellen gleich sind.
- 5 11. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (2) und der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) dazu eingerichtet sind, eine Lamb-Welle anzuregen.
- 10 12. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) an der Außenseite des Messrohres (3) angeordnet sind.
- 15 13. Ultraschallzähler nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) durch die Steuereinrichtung (2) derart ansteuerbar sind, dass eine geführte Welle mit genau einer Mode und/oder zwei geführte Wellen mit jeweils genau einer Mode und mit senkrecht zueinander stehenden Ausbreitungsrichtungen (21, 22) anregbar sind.
- 20 14. Verfahren zur Erfassung einer von einem Durchfluss eines Fluids abhängigen Durchflussgröße, wobei ein Ultraschallzähler (1) mit einer Steuereinrichtung (2), einem Messrohr (3), das durch mehrere Seitenwände (7) gebildet wird, wobei zueinander benachbarte Seitenwände (7) gewinkelt zueinander stehen, und das durch das Fluid in eine Längsrichtung (14) des Messrohrs (3) durchströmt wird, und einem ersten und einem zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35), die in der Längsrichtung (14) voneinander beabstandet an dem Messrohr (3) angeordnet sind, wobei der erste und der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) jeweils ein Wandlerelement (29, 31) oder eine vorgegebene Anordnung mehrerer Wandlerelemente (29, 31) umfasst, verwendet wird, wobei durch die Steuereinrichtung (2) der erste und/oder der zweite Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) angesteuert werden, um eine akustische in einer Seitenwand (7) des Messrohrs (3) geführte Welle anzuregen, die über das Fluid zu dem jeweils anderen Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) geführt und dort durch die Steuereinrichtung (2) zur Ermittlung einer Signallaufzeit erfasst wird, wobei die Durchflussgröße in Abhängigkeit der Signallaufzeit ermittelt wird, wobei
- 25
- 30
- 35

eine Anregungsbreite (19, 17, 25, 26, 30, 33), über die sich das Wandlerelement (29, 31) oder die Anordnung der Wandlerelemente (29, 31) erstreckt, wenigstens 50% der Breite (9) einer Innenfläche (8) jener Seitenwand (7) ist, an der der jeweilige Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) angeordnet ist und/oder wobei

5 die geführte Welle mit einer Ausbreitungsrichtung (11, 18, 21, 22) angeregt wird, die gewinkelt zu der Längsrichtung (14) des Messrohres (3) steht und/oder wobei durch den ersten und/oder den zweiten Ultraschallwandler (5, 6, 16, 20, 28, 31, 34, 35) die geführte Welle über einen vorgegebenen Winkelbereich abgestrahlt

10 wird.

10

15

FIG. 1

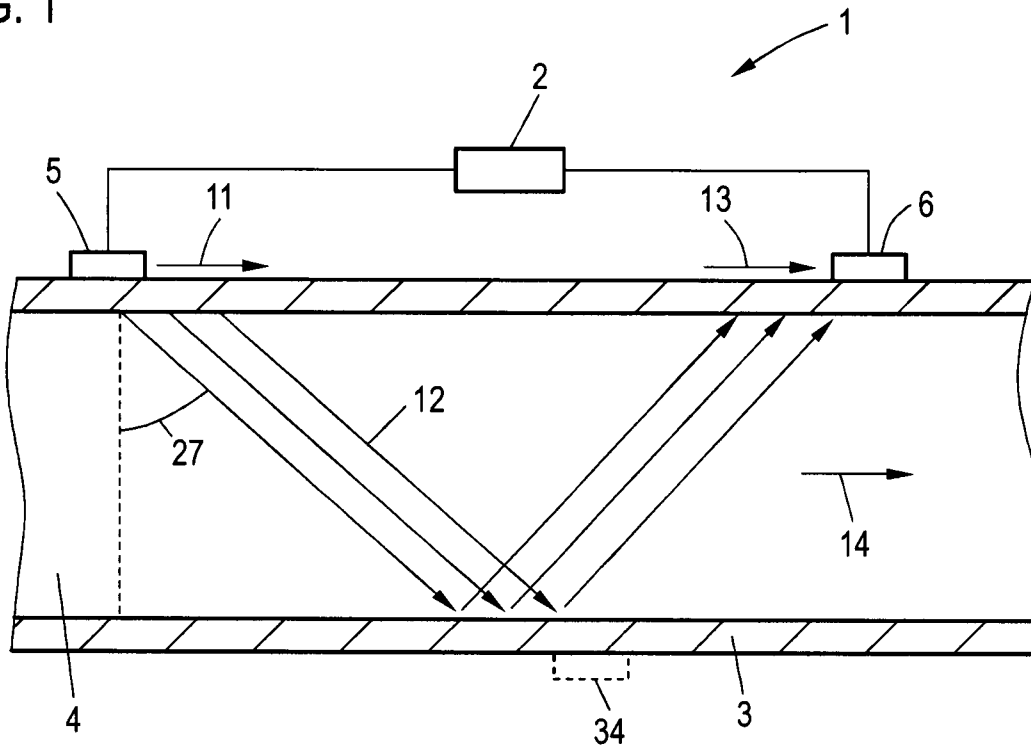


FIG. 2

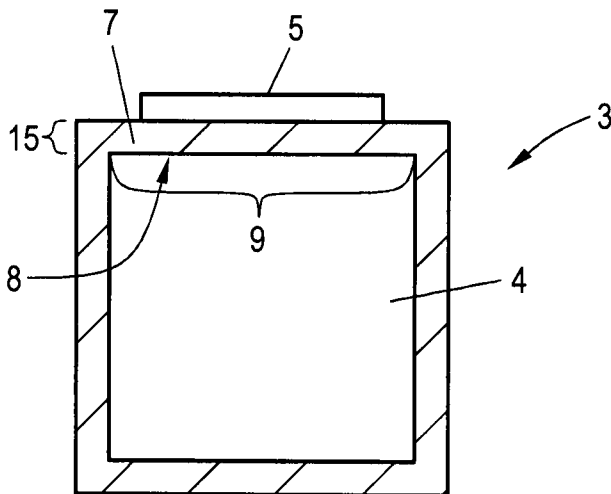


FIG. 3

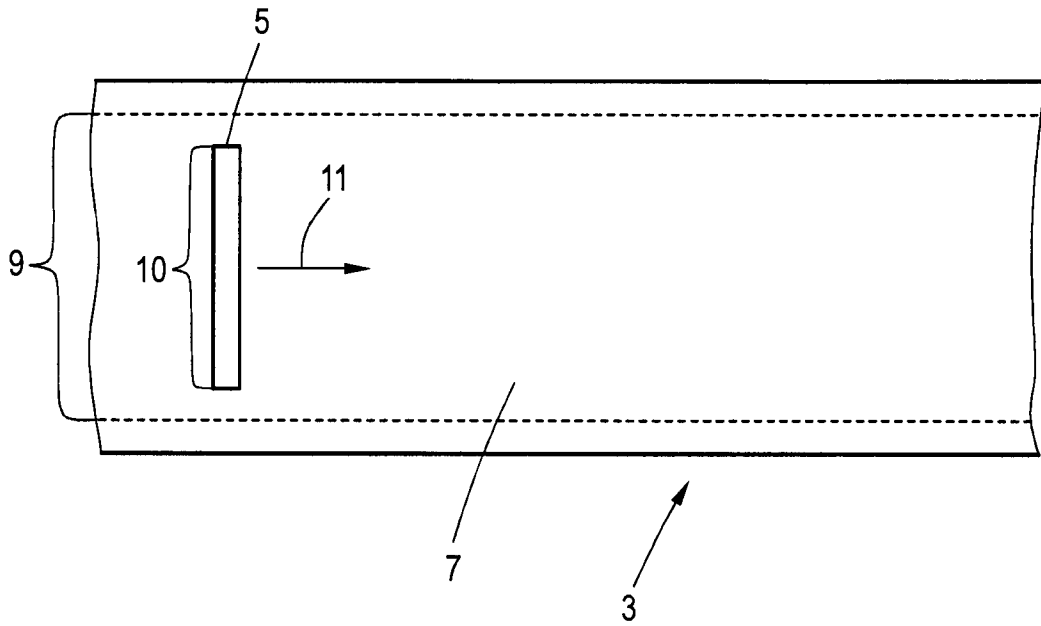


FIG. 4

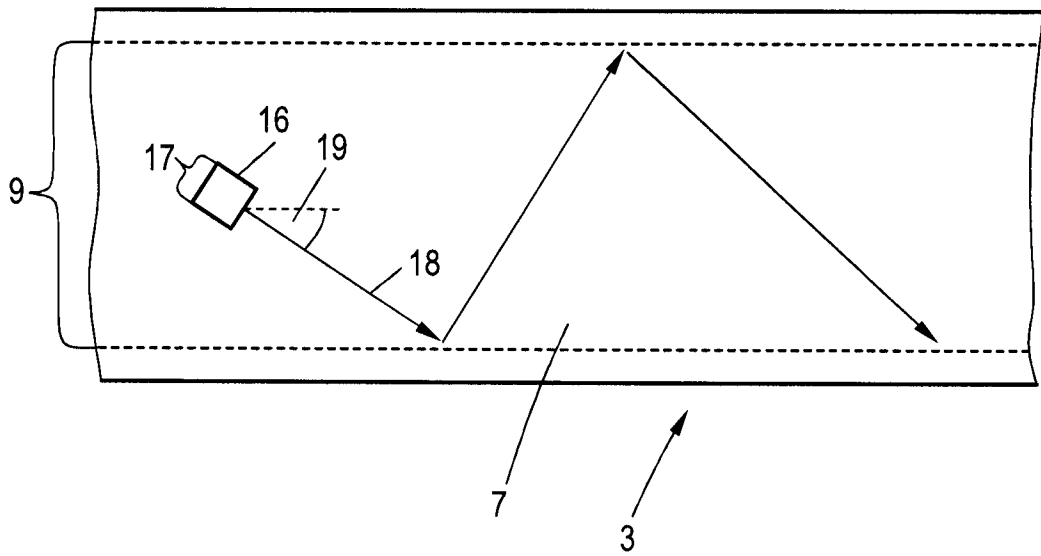


FIG. 5

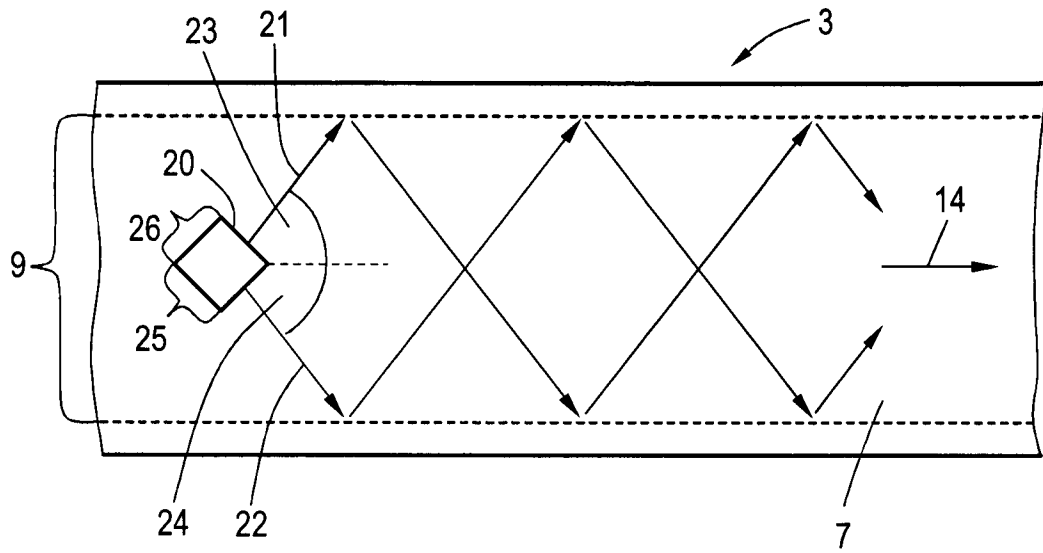


FIG. 6

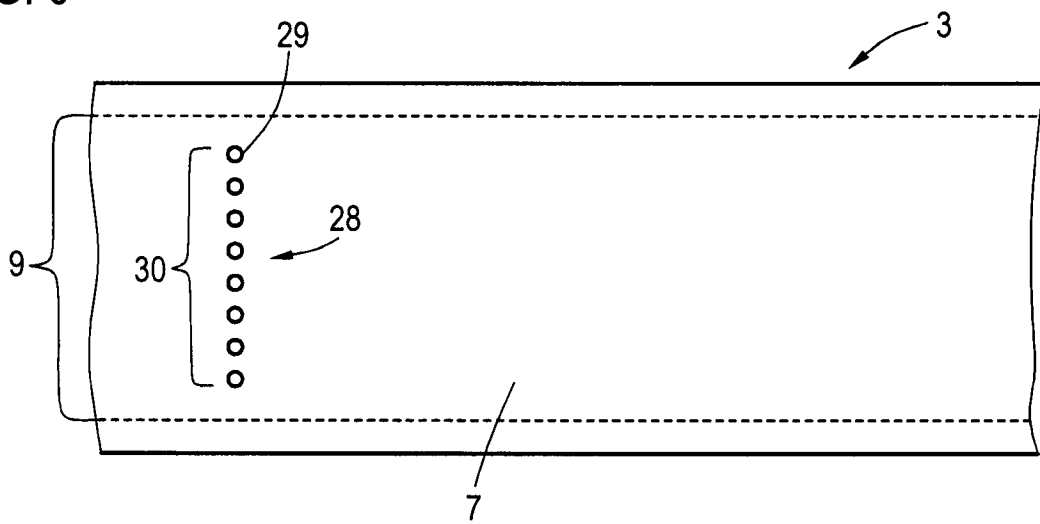


FIG. 7

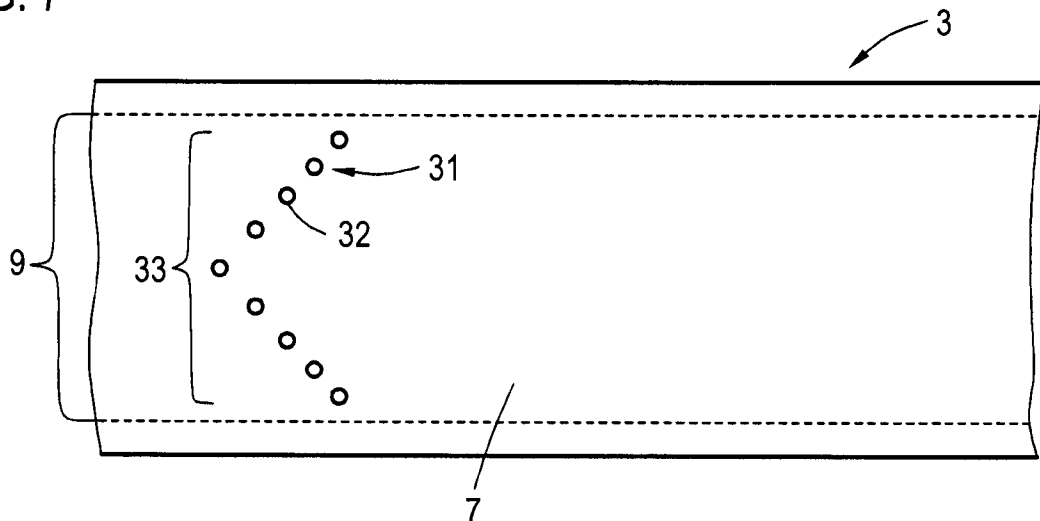


FIG. 8

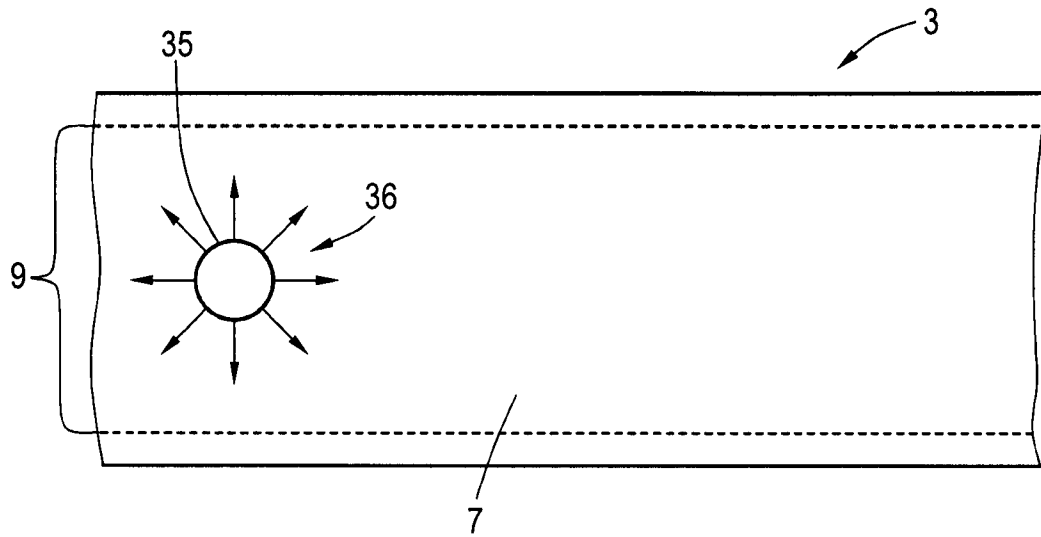
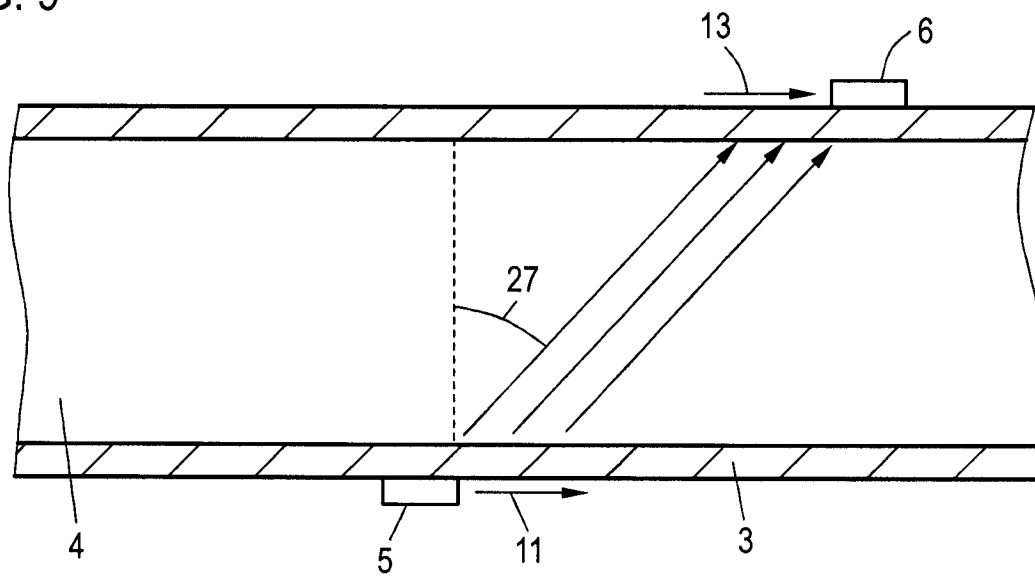


FIG. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/000007

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01F1/66
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2009 048646 A1 (SENSACTION AG [DE]) 31 March 2011 (2011-03-31) figure 2 paragraph [0021]	1-14
X	WO 2014/021846 A1 (SIEMENS AG [DE]; SCHAEFER ROBERT [US]; WUTHIJAROEN JOSEPH [US]) 6 February 2014 (2014-02-06) figure 2 paragraph [0021]	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 18 April 2018	Date of mailing of the international search report 24/04/2018
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Quertemont, Eric

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/000007

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GERHARD LINDNER: "TOPICAL REVIEW; Sensors and actuators based on surface acoustic waves propagating along solid-liquid interfaces", JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING LTD, GB, vol. 41, no. 12, 21 June 2008 (2008-06-21) , page 123002, XP020133344, ISSN: 0022-3727 cited in the application figure 18	1-14
X	----- US 2011/271769 A1 (KIPPERSUND REMI ANDRE [NO] ET AL) 10 November 2011 (2011-11-10) figure 2	1-14
A	----- US 6 044 714 A (LOWELL FRANCIS [US] ET AL) 4 April 2000 (2000-04-04) figure 1 -----	4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/000007

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102009048646 A1	31-03-2011	DE 102009048646 A1	31-03-2011
		WO 2011039311 A2	07-04-2011

WO 2014021846 A1	06-02-2014	NONE	

US 2011271769 A1	10-11-2011	NONE	

US 6044714 A	04-04-2000	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01F1/66
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2009 048646 A1 (SENSACTION AG [DE]) 31. März 2011 (2011-03-31) Abbildung 2 Absatz [0021]	1-14
X	WO 2014/021846 A1 (SIEMENS AG [DE]; SCHAEFER ROBERT [US]; WUTHIJAROEN JOSEPH [US]) 6. Februar 2014 (2014-02-06) Abbildung 2 Absatz [0021]	1-14
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. April 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/04/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Quertemont, Eric

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>GERHARD LINDNER: "TOPICAL REVIEW; Sensors and actuators based on surface acoustic waves propagating along solid-liquid interfaces", JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING LTD, GB, Bd. 41, Nr. 12, 21. Juni 2008 (2008-06-21) , Seite 123002, XP020133344, ISSN: 0022-3727 in der Anmeldung erwähnt Abbildung 18</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14
X	<p>US 2011/271769 A1 (KIPPERSUND REMI ANDRE [NO] ET AL) 10. November 2011 (2011-11-10) Abbildung 2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14
A	<p>US 6 044 714 A (LOWELL FRANCIS [US] ET AL) 4. April 2000 (2000-04-04) Abbildung 1</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/000007

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009048646 A1	31-03-2011	DE 102009048646 A1	31-03-2011
		WO 2011039311 A2	07-04-2011

WO 2014021846 A1	06-02-2014	KEINE	

US 2011271769 A1	10-11-2011	KEINE	

US 6044714 A	04-04-2000	KEINE	
