

(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
27. Mai 2010 (27.05.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/057480 A2

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001642

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. November 2009 (20.11.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 058 376.6
20. November 2008 (20.11.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): NIVUS GMBH [DE/DE]; Im Täle 2, 75031 Ep-
pingen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STEPPE, Udo
[DE/DE]; Ringstrasse 3, 75031 Eppingen (DE). DAHL-
KE, Andreas [DE/DE]; Hellbergstrasse 23, 75031 Eppin-
gen (DE). TEUFEL, Michael [DE/DE]; Drosselstrasse
14, 76703 Kraichtal (DE).

(74) Anwalt: PIETRUK, Claus, Peter; Heinrich-Lilienfein-
Weg 5, 76229 Karlsruhe (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (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, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING FLUID FLOW

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR FLUIDSTRÖMUNGSMESSUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining fluid flows, wherein ultrasonic impulses are radiated into the fluid in alternating directions by means of an ultrasonic phase array, and impulse responses from different directions are analyzed for determining a fluid flow. The total flow through the cross section of the fluid bed guiding the fluid is thereby determined by means of cross-correlation from the ultrasonic impulses from flow speeds for given volumes present in different directions, considering said cross section and considering the fluid bed walls and/or the presence or absence of sediments.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen, bei welchem Ultraschallimpulse mittels eines Ultraschall-Phasenarrays in wechselnde Richtungen in das Fluid eingestrahlt und Impulsantworten aus unterschiedlichen Richtungen zur Bestimmung einer Fluidströmung ausgewertet werden. Hierbei ist vorgesehen, dass aus den Ultraschallimpulsen unter Berücksichtigung des Querschnitts des eine Flüssigkeit führenden Fluidbettes und unter Berücksichtigung der Fluidbettwandung und/oder des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von Sedimenten der Gesamtdurchfluss durch diesen Querschnitt aus Strömungsgeschwindigkeiten für gegebene, in unterschiedlichen Richtungen befindlichen Volumina mittels Kreuzkorrelation bestimmt wird.



WO 2010/057480 A2

Titel: Verfahren und Vorrichtung zur Fluidströmungsmessung

Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Bestimmung von Fluidströmungen.

10

Es gibt eine Vielzahl von Anwendungen, bei denen es wünschenswert ist, Fluidströmungen genau erfassen zu können. Dazu gehört beispielsweise die Messung von Abwassermengen, die durch offene oder geschlossene Kanäle strömen, die Messung von durch ein Gewässer fließenden Wassermengen usw.

15

Es ist bereits vorgeschlagen worden, Strömungsmessungen unter Verwendung von Ultraschallsensoren durchzuführen.

20

So beschreibt die DE 197 40 549 A1 beispielsweise ein Verfahren zur Messung der Strömungscharakteristik eines Mediums in offenen Gerinnen, bei dem Ultraschallimpulse in ein Fluid eingestrahlt und aus diesem Impulsantworten empfangen werden, wobei die gewünschten Strömungscharakteristika durch Kreuzkorrelationen bestimmt werden. Weitere Dokumente, die sich mit Durchflussmessungen beschäftigen, sind beispielsweise die DE 40 16 529 C1, die einen Durchflussmesser für offene Kanäle betrifft, die DE 195 42 232 A1, die einen Ultraschalldurchflussmesser flüssiger oder gasförmiger Medien betrifft, die DE 44 43 483 A1, die ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Strömungsmessung in Flüssigkeiten betrifft, die DE 40 27 030 A1, die ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit betrifft, die DE 33 14 260 A1, die eine Vorrichtung zum Messen des pro Zeiteinheit durch einen

30

offenen Kanal strömenden Flüssigkeitsvolumens betrifft, die DE 32 23 393 A1, die ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Durchflussmenge in Flüssigkeiten betrifft, die FR 2 710 979 A1, die eine Anordnung zur Messung des Durchflusses bei schwankenden Wasserständen betrifft, die GB 2 029 030 A1, die einen Fluidflussmesser betrifft, die US 5 821 427, die eine Flüssigkeitsgeschwindigkeitsmessanordnung unter Verwendung von Kurvenanpassung von Spitzengeschwindigkeitsdetektion betrifft sowie die US 5 315 880

10 betreffend ein Verfahren zur Messung einer Fluidgeschwindigkeit durch Bestimmung der Dopplerfrequenzverschiebung von Mikrowellensignalen. Ein Durchflussmesser für einen offenen Graben ist aus der JP 57101720 A bekannt, eine Vorrichtung zum Messen von physikalischen Größen einer Flüssigkeit mit zwei

15 Ultraschallwellenwandlern ist aus der DE 2 703 439 B2 bekannt, ein Verfahren oder eine Vorrichtung zur Bestimmung des Durchflussvolumens in einem Kanal ist aus der DE 198 57 572 A1 bekannt und die DE 196 50 621 A1 betrifft eine Messvorrichtung zur Erfassung der Durchflussmenge. Die DE 196 49 931

20 A1 betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung einer Strömungsmenge. Hingewiesen sei auch auf die DE 101 34 264 B4 des Anmelders der vorliegenden Erfindung. Es sei darauf hingewiesen, dass aus den zitierten Schriften, etwa der DE 195 42 232 A1, Korrelationsverfahren und dergleichen zur Auswertung von Ultraschallimpulsantworten bekannt

25 sind und dass derartige Verfahren daher vorliegend als per se bekannt angenommen werden.

Aus der US-PS 5,521,833 ist ein Verfahren zur Bestimmung der dreidimensionalen Geschwindigkeit eines Fluids wie Luft oder

30 Wasser bekannt, wobei Signale bestimmter Frequenzen in zumindest drei unterschiedliche Richtungen mittels eines planaren

Übertragerarrays ausgesendet werden und die Übertrager verwendet werden, vom Fluid zurückgestreute akustische Signale aufzunehmen, wobei Signalzüge bei unterschiedlich bestimmten Frequenzen zuerst in einer ersten Richtung, dann in einer
5 zweiten Richtung bestimmten Richtung und schließlich in einer dritten bestimmten Richtung ausgestrahlt und nachfolgend alle von dem Fluid zurückgestreuten Signale aufgenommen werden. Es soll der maximale Messbereich auf diese Weise erweitert werden.

10

Aus der DE 10 2007 001 057 A1 ist eine Vorrichtung zur radioakustischen Fernmessung von mindestens zwei Komponenten eines Strömungsgeschwindigkeitsvektors bekannt. Dabei sollen zur höhenaufgelösten Fernerkundung von Windgeschwindigkeiten und
15 -richtungen elektromagnetische Wellen an in das Medium eingestrahlten Schallwellen zurückreflektiert werden. Diese Technik ist als RASS, radioakustisches Sondierungssystem bekannt. Die Schallwellen sollen mittels eines Arrays erzeugt werden.

20 Ungeachtet der Vielzahl von Dokumenten, die sich mit der Messung von Fluiden auch unter Verwendung von Ultraschallimpulsen befassen, ist es wünschenswert, die Fluidströmungsmessung noch weiter zu verbessern. So soll die Messung von Fluidströmungen auch einem nur wenig erfahrenen Nutzer möglich sein;
25 sie soll genau sein, insbesondere, wenn das Fluid über wechselnde Mengen an Sediment oder dergleichen strömt und/oder die Ultraschallsensoren durch Turbulenzen, Wellen oder dergleichen Schwankungen in ihrer Position unterworfen sind usw. Wünschenswert wäre es, zumindest einige dieser Probleme einer
30 zumindest partiellen Linderung zuzuführen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, Neues für die gewerbliche Anwendung bereitzustellen.

Die Lösung dieser Aufgabe wird in unabhängiger Form beansprucht. Bevorzugte Ausführungsformen finden sich in den Unteransprüchen.

Die vorliegende Erfindung schlägt somit in einem ersten Grundgedanken ein Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen, bei welchen Ultraschallimpulse in das Fluid eingestrahlt werden und eine Fluidströmung anhand der Impulsantworten erfasst wird, vor. Es ist bevorzugt, dass die Einstrahlungsrichtung mittels eines Ultraschall-Phasenarrays gewechselt und die Fluidströmung anhand von Impulsantworten aus unterschiedlichen Richtungen erfasst wird.

Es sei erwähnt, dass es nicht nur möglich sondern bevorzugt ist, Fluidströmungen in dem begrenzten Querschnitt eines offenen Rohres oder schmalen Gerinnes wie eines begrenzten Kanals oder eines strömenden, schmalen Gewässers mit zum Beispiel maximal 10 m, bevorzugt maximal 5 m Breite zu messen. Hier wirken sich Wandeffekte besonders stark aus. Diese können durch Vorgabe eines bekannten Querschnitts berücksichtigt werden; bevorzugt ist aber, wenn der Querschnitt mit dem Ultraschallarray selbst bestimmt wird. Dies verringert den Aufwand bei der Einrichtung und vereinfacht so die Anwendung, vor allem bei nicht bekanntem Querschnitt des Fluidbettes.

Bevorzugt ist auch die orts aufgelöste Messung von Geschwindigkeiten, da durch die Bestimmung von Geschwindigkeitsfeldern Turbulenzen bestimmt beziehungsweise Turbulenzmodelle bei der Bestimmung der Gesamtströmung herangezogen werden

können. Derartige Turbulenzmodelle brauchen Generalannahmen wie die der zwingenden, vollständigen Korrektheit der Navier-Stokes-Gleichungen aufgrund der Praxisabweichungen nicht zwingend zu verwenden. Es lassen sich so schnelle, genaue
5 Messungen dank Kreuzkorrelationsbestimmungen durchführen.

Die Einstrahlungsrichtung der Ultraschallimpulse kann durch die Verwendung von Ultraschallphasenarrays ohne mechanische Verstellung und daher insbesondere sehr schnell verändert
10 werden. Dies erlaubt wesentlich verbesserte Messungen. So kann entweder zusätzlich die Bewegung des Ultraschallsensors erfasst werden, beispielsweise mittels eines separaten Beschleunigungssensors, um dann auf die erfasste Bewegung zu kompensieren und damit eine Messung in stets die gleiche
15 Richtung zu ermöglichen. Schon dies verbessert die Messungen, ohne einen aktiven Eingriff eines Benutzers zu erfordern. Alternativ und/oder zusätzlich ist es möglich, durch die Messung in unterschiedliche Richtungen und Mittelung bzw. Integration einen exakteren Wert zu erfassen. Auch dies ist ohne
20 Eingriff eines Benutzers in automatisierter Weise möglich.

Die Anordnung ist mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Fluiden verwendbar. So kann es sich bei dem Fluid um ein Gas oder Gasgemisch handeln, insbesondere Erdgas und/oder Methan,
25 und/oder um eine Flüssigkeit, insbesondere Wasser und/oder wässerigen Lösungen und/oder Suspensionen, insbesondere Reinwasser, Trinkwasser, Abwasser; es sind aber auch Messungen von Chemikalien, zum Beispiel von Chemikalien für Prozesszwecke in der Industrie, möglich. Da in unterschiedliche Richtungen
30 gemessen werden kann, wodurch die Genauigkeit erhöht ist, kann insbesondere trotz Vorliegen von Turbulenzen eine Messung erfolgen.

Fluidströmungen können erfindungsgemäß in einer Vielzahl von unterschiedlichen Bedingungen und Anwendungen erfasst werden. Besonders relevant wird aber die Messung in offenen Gewässern, offenen Kanälen, Rohrleitungen und insbesondere Druck-

5 leitungen sein.

Es wird einzuschätzen sein, dass die Entfernung, in welcher Fluidströmungen in der Umgebung als jeweiligen Ultraschall-

10 Phasenarrays gut messbar ist, von der Leistung der Ultraschallimpulse, der Qualität der zur Ultraschallarray-Erregung und Impulsauswertung verwendeten Elektronik usw. abhängen wird. Wenn in einem Abstand von drei bis fünf, bevorzugt maximal zehn Metern die Fluidströmung bestimmt wird, ist dies

15 für eine Vielzahl von Anwendungen ausreichend und erfordert keinen großen apparativen Aufwand. Dies ist für Messungen an offenen Gerinnen auf dem Festland besonders vorteilhaft.

Die Ultraschallimpulse werden typisch mit einer Frequenz von

20 über 200 kHz und unter 4 000 kHz, bevorzugt um 1 000 kHz mit einer Bandbreite von $\pm 200 - 500$ kHz in das Fluid eingestrahlt werden. Diese Frequenzen lassen sich ohne weiteres erzeugen. Der bevorzugte Frequenzbereich ermöglicht es auch, die Frequenzen zu wechseln, die in das Fluid eingestrahlt

25 werden. Dies ist vorteilhaft, weil es bevorzugt ist, wenn die Ultraschallimpulse mit über der Zeit variierenden Frequenzen in das Fluid eingestrahlt werden, insbesondere mit einem Frequenzhub von über einigen 100 kHz, bevorzugt um 400 bis 1 000 kHz, hinreichend hohe Grundfrequenzen vorausgesetzt.

Dabei können die Ultraschallimpulsfrequenzen sprungartig und/oder chirpartig geändert werden. Dies bringt erhebliche Vorteile bei der Auswertung.

- 5 Es sei darauf hingewiesen, dass die Emissionsrichtung bei Phasenarrays von der Frequenz der emittierten Impulse abhängt. Beim „Chirpen“, das heißt der Durchstimmung der Frequenz während eines einzelnen Impulses, wird also die Emissionskeule wandern. Darauf kann kompensiert werden, und zwar
- 10 entweder, indem während der Durchstimmung die Phasenlage unterschiedlicher Elemente des Ultraschallphasenarrays angepasst, das heißt verändert wird und/oder, indem bei der Auswertung berücksichtigt wird, dass die Impulssignalantworten aus sich ändernden Richtungen kommen. Da die Abhängigkeit der
- 15 Emissionsrichtung von der Emissionsfrequenz für ein jeweils gegebenes Ultraschallphasenarray aber ohne weiteres bestimmbar ist, ist die Kompensation problemfrei, das heißt insbesondere ohne einen komplizierten Eingriff eines Benutzers einer erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich. Es sei darauf hin-
- 20 gewiesen, dass ein chirpartiges Durchstimmen sowohl stetig als auch in kleinen, insbesondere quasikontinuierlichen Schritten möglich ist.

- Die Einstrahlrichtung wird bevorzugt sprungartig gewechselt.
- 25 Dies ist bevorzugt gegenüber einem allmählichen Überstreichen eines Bereiches. Es brauchen also erfindungsgemäß nicht zwei unmittelbar nebeneinander liegende Richtungen abgetastet zu werden, sondern es ist statt dessen möglich, stärker voneinander differierende Richtungen abzutasten. Dies ist vorteil-
- 30 haft, weil auf diese Weise benachbart liegende Richtungen zu unterschiedlichen Zeiten abgetastet werden, was einerseits eine bessere Kompensation auf Sensorbewegungen erlaubt und

auch bei Turbulenzen in der Strömung eine verbesserte Messung gewährleistet. So können durch „Springen“ der Richtung die Differenzen der Strömungsgeschwindigkeit an unterschiedlichen Stellen sehr gut erfasst werden, das heißt es können Strömungsvektoren besonders leicht und gut gemessen werden. Es ist möglich, ein bestimmtes Sprungmuster, mit dem nach und nach alle oder fast alle Richtungen abgetastet werden, immer wieder zu wiederholen oder aber das Sprungmuster selbst über die Zeit gleichfalls zu variieren, so dass Fehler durch periodische Störungen noch besser vermieden werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass es möglich ist, die Dichte von ultraschall-streuenden Partikeln oder dergleichen im Fluid zu bestimmen beziehungsweise aus den Ultraschall streuenden beziehungsweise absorbierenden Partikeln oder dergleichen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Fluidzusammensetzung zu bestimmen. Da für viele Fluide wie zum Beispiel Abwasser oder Ölgemische bekannt ist, welche Partikelbelastung mit welcher chemischen Belastung bzw. Zusammensetzung einhergeht, kann durch entsprechende Bestimmungen auf die chemische Zusammensetzung des Fluids geschlossen werden. Insbesondere kann zum Beispiel ein Feststoffgehalt in Wasser, insbesondere Abwasser bestimmt werden.

Ein Ultraschall-Phasenarray weist mehrere linear oder, bevorzugt, zweidimensional angeordnete Ultraschall emittierende und/oder empfangende Elemente auf. Es ist bevorzugt, wenn dabei alle Elemente des Ultraschall-Phasenarrays möglichst gleich verstärkt werden. Dabei ist es nicht erforderlich, dass bei Verstärkung der empfangenden Signale allen Elementen des Ultraschall-Phasenarrays gleiche Verstärkungsfaktoren zugeordnet werden, sondern dass die Verstärkung der einzelnen

Elemente so gewählt wird, dass alle Elemente unter sonst gleichen Bedingungen das gleiche Ausgangssignal erzeugen. Dies ist etwa vorteilhaft für die Digitalisierung der Signale, um eine Signalauswertung unter Ausführung einer Kreuzkorrelation vornehmen zu können.

Es ist möglich, dass durch Einstrahlung von Ultraschallimpulsen in unterschiedliche Richtungen - und der Auswertung der dazu gewonnenen Impulsantworten - ein Strömungsprofil erstellt wird und/oder Turbulenzen erfasst werden. Dies erhöht die Genauigkeit der Messungen, die durchgeführt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass das Ultraschallphasenarray ein-dimensional sein kann, das heißt dass ein Linien-Array verwendbar ist; in einem solchen Fall kann ein fächerartiges Überstreichen einer Ebene erfolgen. Mit einem zweiten Linien-Array, das zum Beispiel komplementär aufgespannt ist, lassen sich Geschwindigkeitsvektoren im gesamten durchströmten Strömungsquerschnitt bestimmen. Typisch werden aber zweidimensionale Felder von Ultraschallsendern/-Empfängern verwendet werden. Hier lassen sich Strömungsmuster dreidimensional ohne mechanische Bewegung des Sensorfeldes erfassen und damit Turbulenzen usw. besonders gut bestimmen. Wenn Korrelationsmessungen durchgeführt werden, ist es vorteilhaft, Auswertefenster unter Berücksichtigung ermittelter Turbulenzen und/oder Strömungsprofile anzupassen. Dies erlaubt es, die Auswertefenster im Laufe einer andauernden Messung zu verkleinern und damit die Auswertezeit und die Wiederholfrequenz bzw. Abtast-rate zu erhöhen. Dass die Auswertefenster nicht lediglich automatisch verkleinert werden können, sondern in gleicher Weise vergrößerbar sind, sei erwähnt.

Es ist möglich, den Signaluntergrund zu erfassen und bei der Signalauswertung zu berücksichtigen. Dazu kann beispielsweise eine Messung ohne vorherige Emission von Ultraschallsignalen erfolgen. Die dabei erhaltenen Signale stellen einen zum Beispiel zu subtrahierenden Untergrund dar, durch dessen Berücksichtigung die Messgenauigkeit weiter erhöht werden kann.

Es ist möglich und bevorzugt, wenn mit dem Verfahren der vorliegenden Erfindung Sedimente erfasst werden. Auf diese Weise können die durch Ablagerungen in Rohrleitungen, Gewässern usw. bedingten Querschnittsverkleinerungen berücksichtigt werden, die bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit eine Verringerung der Gesamtströmungsmenge bedingen. Die Erfassung von Sedimenten trägt damit zur Erhöhung der Messgenauigkeit weiter bei.

Es ist möglich, die Impulsantworten beziehungsweise die bei deren Analyse ermittelten Strömungsdaten auch zur Bestimmung von festen Marken und/oder zur Lagebestimmung des Ultraschall-Phasenarrays heranzuziehen. So wird die Lage von Sedimenten sich kurzfristig nicht verändern. Wenn nun ein Sensor, der auf der Oberfläche eines Fluids aufschwimmt, zum Beispiel schaukelt, wird dies zu einer vermeintlichen Bewegung der Sedimente führen; da eine solche aber nicht auftreten wird, kann darauf geschlossen werden, dass der Sensor sich bewegt hat, was kompensiert werden kann. Die hohe Messrate, mit der in unterschiedliche Richtungen abgetastet werden kann, erlaubt dabei in vorteilhafter Weise, dass auch vergleichsweise schnelle Bewegungen erfasst werden können. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass erforderlichenfalls auch ein Beschleunigungsmesser oder dergleichen in den Sensor beziehungsweise dessen Gehäuse integriert werden kann, um auf Be-

wegungen desselben zu kompensieren. Die Integration kann dabei zum Beispiel durch Einbau auf eine Trägerplatine oder dergleichen erfolgen oder durch Integration auf ein und demselben Chip geschehen.

5

Schutz wird im übrigen auch beansprucht für eine Fluidströmungsmessanordnung, insbesondere zur Ausführung nach einem der vorhergehend beschriebenen Verfahren mit einem Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel zum Senden von Ultraschallimpulsen in Fluide und zum Empfangen von Ultraschallimpulsantworten aus dem Fluid und einem Auswertemittel zur Bestimmung von Fluidströmungen zur Auswertung der Ultraschallimpulsantworten. Es ist bevorzugt, dass das Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel als zweidimensionales Ultraschallarray ausgebildet ist und das Auswertemittel zum Auswerten von Impulsantworten aus unterschiedlichen Richtungen. Das Ultraschallimpulssendemittel wird typisch ein mehrdimensionales Ultraschallphasenarray sein.

20 Die Erfindung wird im folgenden nur beispielhaft mit Bezug auf die Zeichnung beschrieben, wobei dargestellt ist durch

Fig. 1 eine Messanordnung der vorliegenden Erfindung während einer Messung.

25

Nach Fig. 1 umfasst eine allgemein mit 1 bezeichnete Fluidströmungsmessanordnung 1 ein Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel 2 zum Senden von Ultraschallimpulsen 3 in Fluide 4 und zum Empfangen von Ultraschallimpulsantworten aus dem Fluid und einem Auswertemittel 5 zur Bestimmung von Fluidströmungen zur Auswertung der Ultraschallimpulsantworten, wobei das Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel 2 als

Ultraschallarray ausgebildet ist und das Auswertemittel zum Auswerten von Impulsantworten aus unterschiedlichen Richtungen 6.

- 5 Die Fluidströmungsmessanordnung 1 dient vorliegend zur Messung von Fluidmengen, die durch ein Fluidbett strömen. Prinzipiell ist die Fluidströmungsmessanordnung geeignet, mit einer Vielzahl von Fluidbetten eingesetzt zu werden; dargestellt ist in den Figuren als Fluidbett 4a das Bett eines offenen Kanals, in dem der Sensor der Fluidströmungsmessanordnung 1 schwimmt. Die Fluidströmungsmessanordnung umfasst dazu für das Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel 2 ein geeignetes, fluiddichtes Gehäuse und eine Verbindung, die davon weg führt. Diese Verbindung kann zwar, wenn es gewünscht ist, drahtlos sein; in einem solchen Fall wird das Sensorgehäuse mit einer geeigneten Energieversorgung versehen sein. Es sei erwähnt, dass eine Auswertung oder Vorauswertung am Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel 2 bevorzugt ist und dieses mit entsprechenden Schaltungen usw. einen gemeinsam umhüllten Sensor bilden kann, wodurch erforderlichenfalls nur eine Übertragung von Fluidströmungsdaten, beispielsweise als Gesamtströmungsdaten erforderlich ist. Falls gewünscht, kann im übrigen auch eine Aufzeichnung der Daten erfolgen und ein Auslesen nach Beendigung einer Messung und Anschluss an eine geeignete Schnittstelle vorgenommen werden.

Bevorzugt, typisch und dargestellt ist aber, dass der Sensor in seinem fluiddichten Gehäuse lediglich eine Signalkonditionierung 7, beispielsweise eine Verstärkung der mit den einzelnen Ultraschallphasenarray-Elementen empfangenen Signale, eine Verknüpfungsstufe und eine Digitalisierung umfasst und dann die digitalisierten Daten für eine weitere Auswertung

über einen hier mehradrigen Leiter 8 an eine hinreichend leistungsstarke Zentralrecheneinheit, die als Auswertemittel 5 dient, speist, in der die Daten miteinander verknüpft werden, um dort aus den (digitalisierten) Impulsantworten, die aus den unterschiedlichen Richtungen empfangen werden, fluidströmungsindikative Werte zu bestimmen. Auf diese Weise kann zugleich das Forttreiben des Sensors verhindert werden.

Neben der Signalgenerierung und -konditionierung kann aber auch die gesamte weitere Auswertung im Sensor erfolgen, das Forttreiben des Sensors kann dann zum Beispiel mit der Strom-/Spannungsversorgung verhindert werden.

Das Ultraschallimpulssende-/-empfangsmittel 2 zum Senden von Ultraschallimpulsen 3 ist im vorliegenden Fall als zweidimensionales Array von Ultraschallemittierenden und empfangenden Elementen ausgebildet. Dem Array ist ein Frequenzgenerator (nicht gezeigt) zugeordnet, der eine einstellbare Ultraschall-Frequenz erzeugt, im dargestellten Ausführungsbeispiel zum Beispiel zwischen 800 und 1 200 kHz. Der Frequenzgenerator erlaubt die Änderung, und damit auch die Durchstimmbarkeit der erzeugten Frequenz während des Impulses, das heißt er chirpt um einem von einer Steuerung vorgebbaren Frequenzbetrag. Jedes Element des Arrays ist über einen durch Programmierung einstellbaren Phasenschieber (nicht gezeigt) und einen Verstärker mit dem Frequenzgenerator verbunden. Die Phasenschieber sind von einer Steuerung (nicht gezeigt) programmierbar, mit welcher die relative Phasenlage zweier Elemente zueinander so genau einstellbar ist, dass sich bei Überlagerung der aus allen Elementen emittierten Ultraschallwellen eine Emission in der Flüssigkeit in einer gewünschten Richtung ergibt. Es sei darauf hingewiesen, dass sich bei chirpenden Impulsen - das heißt, dass sich während eines Im-

pulses die abgestrahlte Frequenz ändert - und gleich bleiben-
der Einstellung der Phasenschieber die Richtung der Einstrah-
lung von Ultraschallimpulsen ändern wird. Diese Richtungsän-
derung wird im Allgemeinen klein sein, und da der entspre-
5 chende Chirpfrequenz-Richtungszusammenhang bekannt, bezie-
hungsweise für ein gegebenes Array bestimmbar ist, kann dar-
auf kompensiert werden. Die Verstärkung der vom Generator
erzeugten Ultraschallfrequenz ist ausreichend, um die einzel-
nen Elemente so stark zu erregen, dass ein hinreichend star-
10 ker Ultraschallimpuls in das Fluid emittiert wird.

Die Ultraschallimpulse 3 durchlaufen das Fluid 4. Dabei sind
sie durch das Fluid und die darin befindlichen Partikel 9 ei-
ner Absorption/Reflektion sowie einer Dopplerverschiebung un-
15 terworfen. Aus den emittierten Ultraschallimpulsen gelangen
so Ultraschallimpulsantworten zurück an den Sensor, wo sie
von den Elementen des Ultraschallphasenarrays empfangen wer-
den.

20 Die Fluide 4 sind im dargestellten Ausführungsbeispiel Abwäs-
ser in offenen Kanälen, hier beispielsweise in Kläranlagen,
in denen sie durch die offenen Kanäle Klärbecken zugeführt
werden.

25 Das Auswertemittel 5 umfasst einen Rechner zur Auswertung der
vom Sensor empfangenen und dort konditionierten Impulsantwor-
ten. Das Auswertemittel 5 ist dazu ausgebildet, die Strö-
mungsgeschwindigkeit in Volumina zu bestimmen, die entlang
der jeweils angestrahlten Richtung liegen; es ist weiter dazu
30 ausgebildet, anhand der bestimmten Strömungsgeschwindigkeiten
von Volumina auf das Vorhandensein von Turbulenzen im erfass-
ten Fluidvolumen zu schließen, Auswertefenster unter Berück-

sichtigung momentan oder typisch vorhandener Turbulenzen anzupassen und unter Integration der Strömungsmenge über die einzelnen Volumina die Gesamtströmungsmengen durch einen Querschnitt des Fluidbettes zu bestimmen. Weiter ist das Auswertemittel dazu bestimmt, das Vorhandensein von Sedimenten zu berücksichtigen, das heißt eines am Boden befindlichen Bereiches mit Fließgeschwindigkeit Null und hoher Reflektivität, ohne dass es erforderlich ist, Informationen über die Fluidbettgeometrie vorzugeben.

10

Die Steuerung im Sensor ist dazu ausgebildet, durch entsprechende Einstellungen der Phasenschieber eine Emission in unterschiedliche Richtungen 6 zu bewirken und aus diesen Richtungen 6 Impulsantworten zu empfangen. Dabei wechseln die Richtungen nicht wie per se ebenfalls möglich, durch fächerartiges Überstreichen, sondern es werden beabstandete Punkte auf einer Ebene angestrahlt, wie in Fig. 1 anhand der die jeweilige Hauptachse der sukzessive emittierten Ultraschall-Strahlkeulen kennzeichnenden Linien 6a - 6f ersichtlich; dass die Steuerung so ausgebildet ist, dass nach und nach alle Punkte einer vorgegebenen Projektionsfläche 10 angestrahlt werden, wird einsichtig sein.

25

Die Anordnung wird verwendet wie folgt:

30

Zunächst wird der fluiddicht und schwimffähig umhüllte Sensor in das Fluid verbracht, was durch Einwerfen des bereits mit dem Auswertemittel verbundenen Sensors geschehen kann. Durch die Auswerteleitung ist der Sensor zugleich am Abtreiben gehindert.

- Dann wird die Steuerung aktiviert und im Frequenzgenerator werden chirpende Impulse erzeugt. Zugleich werden die den einzelnen Elementen zugeordneten Phasenschieber so eingestellt, dass sich für eine Mittelfrequenz eine erste Emissionsrichtung ergibt. Die Impulserzeugung wird für eine bestimmte Dauer - die Impulsdauer- fortgesetzt und während dieser Zeit werden die Elemente des Ultraschallphasenarrays mit Ultraschallleistung beaufschlagt, wobei die Frequenz der Ultraschallwellen durch die jeweilige Frequenz am Frequenzgenerator und die relative Phasenlage zueinander durch die Phasenschieber so bestimmt wird, dass sich (für eine gegebene Mittelfrequenz) eine Emission in eine gewünschte Richtung, zum Beispiel 6a, ergibt.
- 15 Nach Ablauf der Impulsdauer wird dann der Frequenzgenerator abgeschaltet und die Leistungsbeaufschlagung der Elemente beendet. Zugleich wird begonnen, das jetzt an den Elementen vorhandene Signal als Impulsantwortsignal zu konditionieren, das heißt zu verstärken und zu digitalisieren. Das digitalisierte Signal wird dann mit weiterer Information, etwa
- 20 betreffend die jeweils angestrahlte Richtung, an das Auswertemittel übertragen.
- Nach Ablauf einer Impulsantwortzeit wird eine neue Phaseneinstellung an den Phasenschiebern vorgenommen und eine Ultraschall-Einstrahlung in eine andere Richtung, zum Beispiel 6b, wie zuvor beschrieben vorgenommen. Die andere Richtung wird so gewählt, dass auf einer Projektionsfläche um den Sensor herum verschiedene Punkte angestrahlt werden, aber die Möglichkeit besteht, aus den für in unterschiedlichen Richtungen
- 30 6a, 6b liegenden Volumina 11a, 11b Differenzgeschwindigkeiten zu bestimmen.

Auf diese Weise werden nach und nach alle Richtungen, die mit dem Sensor erreicht werden sollen, abgetastet.

5 Weiter wird regelmäßig eine Abtastung nach unterschiedlichen Richtungen 6c bis 6f vorgenommen, ohne dass zuvor Impulse ausgestrahlt wurden. Dies erlaubt es, den Signaluntergrund, der beispielsweise durch Eigenrauschen von Elementen und der Signalkonditionierungselektronik hervorgerufen wird, zu sub-
10 trahieren.

Es ist einsichtig, dass wahlweise ein eigener Signaluntergrund für jede Richtung bestimmbar ist, was eine bestmögliche Anpassung erlaubt, aber die Abtastrate wegen der erhöhten
15 Zeitdauer für Signaluntergrundmessungen verringert. Alternativ wäre es möglich, nur wenige Messungen in unterschiedlichen Richtungen vorzunehmen und erforderlichenfalls eine Interpolation zwischen dem Signaluntergrund unterschiedlicher Richtungen vorzunehmen. Dies kann bereits hilfreich sein, um
20 lokale Unterschiede zu berücksichtigen. Noch einfacher wird die Berücksichtigung des Signaluntergrundes, wenn nur eine einzige Signaluntergrundmessung global für alle Richtungen vorgenommen wird. Welche Art der Untergrundbestimmung im einzelnen am sinnvollsten ist, wird unter anderem vom Verhalten
25 des Untergrundes abhängig sein. So wird es bei ausgeprägter Richtungsstabilität, das heißt zumindest weitgehend isotropem Untergrund, aber zugleich starker zeitlicher Variabilität bevorzugt sein, den Signaluntergrund global zu berücksichtigen, aber häufig zu erfassen. Ist hingegen eine große Richtungsab-
30 hängigkeit gegeben, die aber weitgehend zeitlich konstant ist, kann eine gelegentliche Erfassung des Untergrundes in unterschiedlichen Richtungen bevorzugt sein. Es sei darauf

hingewiesen, dass das Untergrundverhalten wiederum von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst sein kann, wie mögliche Temperaturschwankungen des Fluids, Einstreuungen usw. Dass die Untergrundberücksichtigung im Laufe einer Messung geändert werden kann, zum Beispiel weil sich der Untergrund zeitlich stabilisiert, aber statt dessen Richtungsschwankungen auftreten, sei erwähnt.

Aus den Impulsantworten die für eine jeweilige Richtung erhalten werden, werden dann in der Auswerteeinheit unter Berücksichtigung des gegebenenfalls gewichtet richtungsinterpolierten Signal-Untergrundes in per se bekannter Weise Strömungsgeschwindigkeiten für gegebene Volumina bestimmt. Dabei kann anhand jener Volumina, die eine Strömungsgeschwindigkeit Null besitzen und besonders weit vom Sensor liegen, auf das Vorhandensein von Ablagerungen, das heißt Sedimenten und dergleichen geschlossen werden. Aus der Lage einer Oberfläche, die von diesen Volumina aufgespannt wird, kann dann rückgeschlossen werden, ob der Sensor sich bewegt hat oder nicht. Auf eine etwaige Schaukelbewegung kann dabei bei einer hinreichend hohen Abtastrate kompensiert werden, indem eine Rotationstransformation um den Sensor dergestalt durchgeführt wird, dass sich eine konstante, typische mittlere Lage der Sedimentoberfläche ergibt. Dass bei Nichtvorhandensein von Sedimenten einleuchtenderweise eine Fluidbettwandung als Fixfläche herangezogen werden kann, sei erwähnt. Gleichfalls erwähnt seien andere Transformationen, um zum Beispiel auf translative Bewegungen um eine Mittellage zu kompensieren.

Im übrigen ist es möglich, gegebenenfalls eine Schaukelfrequenz zu bestimmen und zu unterschiedlichen Zeiten während einer Abtastung aufgenommene Signale auf unterschiedliche

Weise zu kompensieren. Dies ist besonders bei sprunghaftem Wechsel der Richtungen vorteilhaft.

5 Nach der gegebenenfalls durchgeführten und bevorzugten, wenn auch nicht zwingenden Kompensation auf die Untergrundsignale und die Schwankungen, kann ein Strömungsmuster erstellt werden und der Gesamtdurchfluss durch einen Querschnitt des Fluidbettes bestimmt werden. Dabei können insbesondere auch
10 Differenzgeschwindigkeiten von unterschiedlichen Volumina und damit Geschwindigkeitsvektoren in der Flüssigkeit ermittelt werden.

Auf diese Weise wird eine erhöhte Genauigkeit bei der Messung ermöglicht.

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen, bei welchem
Ultraschallimpulse mittels eines Ultraschall-Phasenarrays
5 in wechselnde Richtungen in das Fluid eingestrahlt und
Impulsantworten aus unterschiedlichen Richtungen zur Be-
stimmung einer Fluidströmung ausgewertet werden,
dadurch gekennzeichnet, dass
aus den Ultraschallimpulsen unter Berücksichtigung des
10 Querschnitts des eine Flüssigkeit führenden Fluidbettes
und
unter Berücksichtigung der Fluidbettwandung und/oder des
Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von Sedimenten
der Gesamtdurchfluss durch diesen Querschnitt aus Strö-
15 mungsgeschwindigkeiten für gegebene, in unterschiedlichen
Richtungen befindlichen Volumina mittels Kreuzkorrelation
bestimmt wird.
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch ge-
20 kennzeichnet, dass anhand jener Volumina, die eine Strö-
mungsgeschwindigkeit von Null oder nahe Null besitzen und
gegebenenfalls besonders weit vom Sensor liegen, auf das
Vorhandensein von Sedimenten, Fluidbettwandungen und der-
gleichen geschlossen und bevorzugt auch der Querschnitt
25 des eine Flüssigkeit führenden Fluidbettes bestimmt wird.
3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch ge-
kennzeichnet, dass aus der Lage einer Oberfläche, die von
eine Strömungsgeschwindigkeit Null oder nahe Null besit-
30 zenden und bevorzugt zugleich besonders weit vom Sensor
liegenden Volumina aufgespannt wird, rückgeschlossen
wird, ob sich der Sensor bewegt hat.

4. Verfahren zur Bestimmung von Fluidbettströmungen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des Gesamtdurchflusses durch einen Querschnitt des Fluidbettes ein Strömungsmuster bestimmt und/oder ein Strömungsgeschwindigkeitsvektor oder eine Mehrzahl von Strömungsvektoren bestimmt und/oder eine Strömungsgeschwindigkeit als Differenz von an unterschiedlichen Orten bestimmten Strömungsgeschwindigkeiten bestimmt wird, insbesondere bei sprungartigem Wechsel der Einstrahlrichtung für jene Richtungen, zwischen welchen jeweils gesprungen wird, und/oder ein Strömungsprofil erstellt wird und/oder Turbulenzen erfasst werden und/oder Informationen über Turbulenzen in der Strömung und/oder die Strömungskontur und/oder Totzonen zur Fensterverkleinerung bei Korrelationsmessungen herangezogen und/oder Sedimentationen erfasst werden, und/oder eine Analyse ermittelter Strömungsdaten und/oder Impulsantworten zur Bestimmung von festen Marken und/oder zur Lagebestimmung des Ultraschall-Phasenarrays vorgenommen wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fluidströmung in einem Abstand von drei bis fünf, bevorzugt maximal zehn Metern erfasst wird, bevorzugt in einem von offenen Gewässern, offenen Kanälen, Rohrleitungen, insbesondere Druckleitungen.
6. Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

dass es sich bei dem Fluid handelt um eines aus der Gruppe von Gasen, insbesondere Erdgas und/oder Methan, und/oder Flüssigkeiten, insbesondere Wasser und/oder wässrigen Lösungen und/oder Suspensionen, insbesondere Reinwasser, Trinkwasser, Abwasser und/oder Chemikalien, die Dichte von ultraschall-streuenden Partikeln oder dergleichen im Fluid bestimmt wird, wobei bevorzugt unter Auswertung der Dichte der ultraschall-streuenden Partikel und/oder dergleichen auf eine chemische Zusammensetzung des Fluids geschlossen wird.

7. Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Ultraschallimpulse mit einer Frequenz von über 200 kHz und/oder unter 4 000 kHz, bevorzugt um 1 000 kHz mit einer Bandbreite von $\pm 200 - 500$ kHz in das Fluid eingestrahlt werden und/oder Ultraschallimpulse mit über der Zeit variierenden Frequenzen in das Fluid eingestrahlt werden, insbesondere mit einem Frequenzhub von über einigen 100 kHz, bevorzugt um 400 - 1 000 kHz, wobei bevorzugt die Ultraschallimpulsfrequenzen sprunghaft und/oder chirp-artig geändert werden und/oder auf das Wandern der Ultraschallemissionskeule bei Variation der Frequenz der in das Fluid ausgesendeten Ultraschallimpulse kompensiert wird.

8. Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstrahlrichtung sprunghaft gewechselt wird.

9. Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

alle Elemente des Ultraschall-Phasenarrays möglichst gleich verstärkt werden und/oder der Signaluntergrund erfasst und bei der Signalauswertung berücksichtigt wird.

- 5 10. Verfahren zur Bestimmung von Fluidströmungen nach einem der vorgehenden Ansprüche, worin das Ultraschall-Phasenarray zur Ultraschallimpulseinstrahlung eingesetzt wird, wobei es bevorzugt sendet und empfängt.
- 10 11. Fluidströmungsmessanordnung, insbesondere zur Ausführung nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche mit einem Ultraschallimpulsende-/empfangsmittel zum Senden von Ultraschallimpulsen in Fluide und zum Empfangen von Ultraschallimpulsantworten aus Fluiden und einem Auswertemittel zur Bestimmung von Fluidströmungen zur Auswertung der Ultraschallimpulsantworten, dadurch gekennzeichnet, dass das Ultraschallimpulssende-/empfangsmittel als Ultraschallarray ausgebildet ist und das Auswertemittel zum Auswerten von Impulsantworten aus unterschiedlichen Richtungen.
- 15
- 20

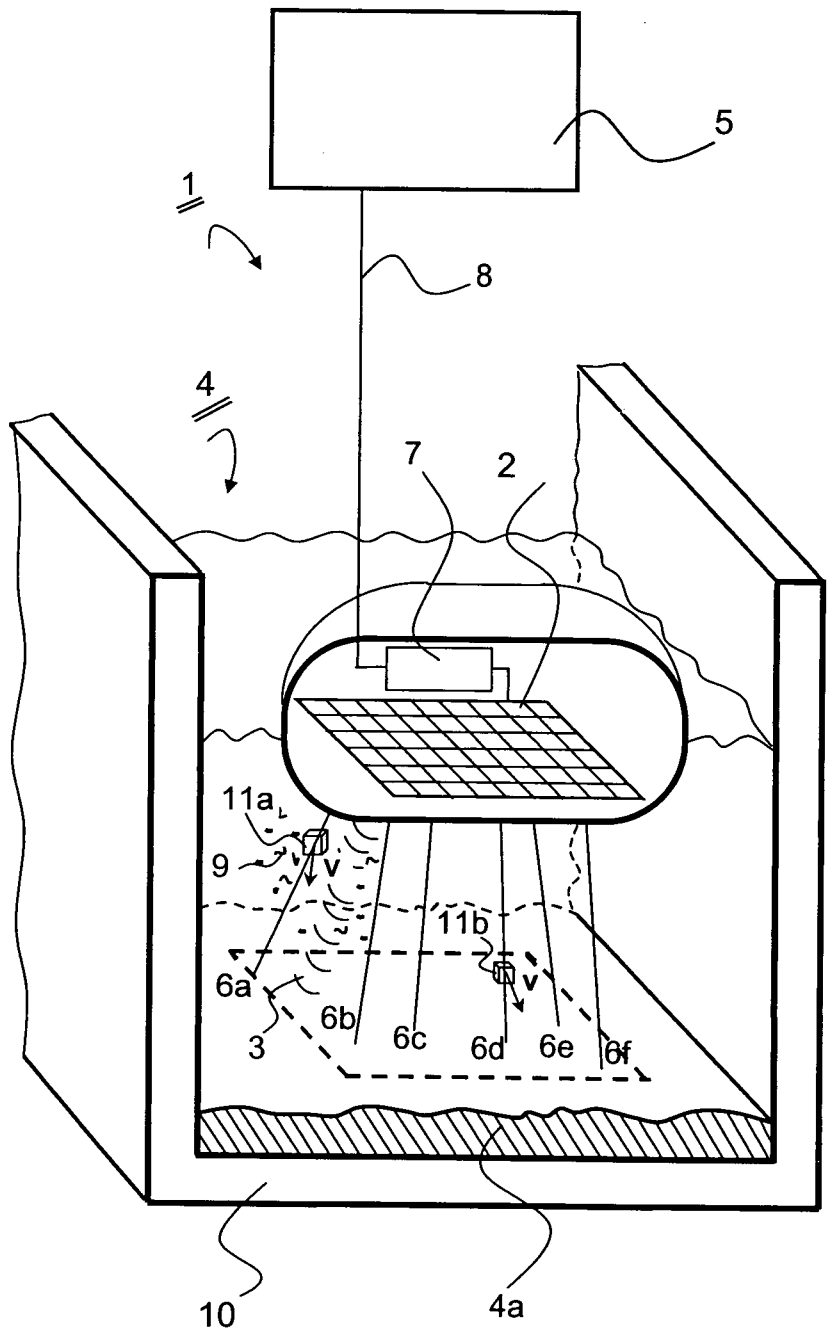


Fig. 1