

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50900/2023 (51) Int. Cl.: **G01H 5/00** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 09.11.2023 **G01N 29/00** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2025 **F41J 5/06** (2006.01)

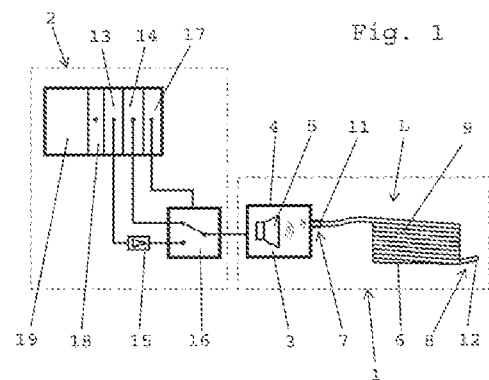
(56) Entgegenhaltungen:
CH 653441 A5
TU Ilmenau "Schallgeschwindigkeit in Gasen"
21.09.2022, Physikalisches Grundpraktikum,
Versuch 5, Institut für Physik; abgerufen am
14.10.2024 im Internet unter dem Link:
<[https://www.tu-
ilmenau.de/fileadmin/Bereiche/MN/phys/
Grundpraktikum/Dokumente/Anleitungen/M5.pdf](https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/Bereiche/MN/phys/Grundpraktikum/Dokumente/Anleitungen/M5.pdf)>
WO 9967629 A1
DE 202016008520 U1
ETH Zürich, "V050510 Schallgeschwindigkeit in
Gasen" Physikdepartment, kein Datum
zuordenbar; abgerufen im Internet am 14.10.2024
unter dem
Link:<[https://expweb.phys.ethz.ch/05/05/10/bes.p
df](https://expweb.phys.ethz.ch/05/05/10/bes.pdf)>

(73) Patentinhaber:
think and vision GmbH
8700 Leoben (AT)

(74) Vertreter:
BEER & PARTNER PATENTANWÄLTE KG
1070 Wien (AT)

(54) **Aufbau und Verfahren zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas**

(57) Ein Aufbau (1) zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas weist eine Sensoreinheit (3) zum Erzeugen eines akustischen Ausgangssignals und zum Erfassen eines akustischen Messsignals auf. Weiters weist der Aufbau (1) ein Kalibrierungselement (6) mit einer zwischen einem Eingang (7) und einem Ausgang (8) verlaufenden durchflutbaren Länge (L), die zumindest abschnittsweise von einer Rohrleitung (9) gebildet ist, auf. Der Eingang (7) ist akustisch leitend mit der Sensoreinheit (3) verbunden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Aufbau zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas, wobei der Aufbau eine Sensoreinheit zum Erzeugen eines akustischen Ausgangssignals und zum Erfassen eines akustischen Messsignals aufweist.

[0002] Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas.

[0003] Um bei Ölbohrlöchern die Leistung der Ölpumpe überprüfen zu können, ist es üblich, in regelmäßigen zeitlichen Abständen die Höhe des Flüssigkeitsstands im Bohrloch zu ermitteln. Anhand der Position des Flüssigkeitsspiegels lässt sich berechnen, ob bzw. wie hoch die Flüssigkeitssäule über dem unteren Rohrende des Rohres ist. Dieses Wissen hilft zu verhindern, dass die Ölpumpe trocken läuft. Auch andere Parameter lassen sich aus der Überwachung der Höhe des Flüssigkeitsstands im Bohrloch über einen bestimmten Zeitraum ableiten, wie z.B. die Reservoirzuflussleistung und der Skin-Faktor.

[0004] Um die Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Bohrloch messen zu können, wird in der Regel ein Druckimpuls (d.h. ein akustisches Signal) in das Bohrloch eingebracht und gemessen, wie lange es dauert, bis eine Reflexion des akustischen Signals (ein akustisches Echo) zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Da der Förderstrang das Bohrloch nicht gänzlich ausfüllt, ist um den Förderstrang herum ein mit einem Gas gefüllter kreisringförmiger Spalt bzw. Ringraum gebildet, über den sich das akustische Signal in die Tiefe und zurück fortpflanzen kann.

[0005] Wenn die Schallgeschwindigkeit in dem den Spalt ausfüllenden Gas bekannt ist, kann anhand der gemessenen Zeitdifferenz zwischen dem Aussenden und dem Empfang der Reflexion des akustischen Signals die Höhe des Flüssigkeitsspiegels wie folgt ermittelt werden:

$$D = v * t_R * 1/2,$$

wobei D die Entfernung zum Flüssigkeitsspiegel gemessen vom Ausgangsort des akustischen Signals, v die Schallgeschwindigkeit im Gas und t_R die gemessene Zeitdifferenz ist. (Der vom Signal zurückgelegte Weg wird mit $1/2$ multipliziert, da das akustische Signal sowohl zum Flüssigkeitsspiegel hin, als auch vom Flüssigkeitsspiegel zurückreisen muss.)

[0006] Das in dem Spalt zwischen Förderstrang und Bohrloch enthaltene Gas kann je nach Standort des Bohrloches und Art des erschlossenen Reservoirs (z.B. Ölreservoirs) eine andere Zusammensetzung aufweisen, sodass auch die Schallgeschwindigkeit in dem Gas (bzw. die Schallgeschwindigkeit des Gases) nicht von vornherein bekannt ist, sondern zwischen Bohrlochern variiert und vor Ort ermittelt werden muss. Dies geschieht in der Regel mittels „Rohrmuffen-Zählen“.

[0007] Beim „Rohrmuffen-Zählen“ wird ein Druckimpuls (d.h. ein akustisches Signal) in den Ringspalt zwischen Förderstrang und Bohrloch eingeleitet. Der Druckimpuls setzt sich nach unten in Richtung Ölreservoir fort und passiert dabei die Verbindungsstellen (die Muffe-Spitzenverbindungen) zwischen den rohrförmigen Teilstücken des Förderstrangs. An den Verbindungsstellen weist der Förderstrang aufgrund der aufgeweiteten Muffe des einen Teilstücks, in dem das Spitze des anschließenden Teilstücks steckt, eine Verbreiterung des Außendurchmessers auf, an der ein Teil des Druckimpulses reflektiert und somit in Richtung Ausgangsort des Druckimpulses zurückgelenkt wird. Eine Messeinheit (z.B. ein Piezo-Sensor, eine Lautsprecher Membran, etc.) erfasst aus dem Bohrloch austretende akustische Signale, und daher auch die Reflexionen, die an den einzelnen Verbreiterungen des Förderstranges entstehen. Über die ermittelte zeitliche Differenz zwischen dem Aussenden des Druckimpulses und dem Erfassen der Reflexionen (d.h. dem Auftreten von Spitzen in der Amplitude des erfassten akustischen Signals) und aufgrund der bekannten oder einer angenommenen Länge eines jeden einzelnen der Teilstücke des Förderstranges kann die Schallgeschwindigkeit des den Förderstrang umgebenden Gases bestimmt werden.

[0008] Der Nachteil am „Muffen-Zählen“ liegt darin, dass dieses Verfahren sehr fehleranfällig ist,

da deformierte Verbindungsstellen zwischen den Teilstücken des Förderstrangs, aber auch im Spalt befindliches Material sowie die Wände des Bohrloches, missverständliche, störende oder nicht einordenbare Reflexionen erzeugen können, was oft zu einer ungenauen Bestimmung der Schallgeschwindigkeit führt.

[0009] Aus CH 653 441 A5 ist eine Einrichtung zur Bestimmung der Schallausbreitungsgeschwindigkeit in einem sich ändernden Medium bekannt. Die Einrichtung weist ein Messrohr mit einer Stirnseitenöffnung auf, wobei von der Stirnseitenöffnung beabstandet ein Lautsprecher platziert und am Mantel des Messrohres ein Schallaufnehmer angeordnet ist. Nachteilig an einer derartigen Einrichtung ist, dass aufgrund der Ausgestaltung des Messrohres, dieses nur in einem gasdichten Behälter bzw. Raum verwendet werden kann, wenn mit der Einrichtung explosionsicher die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in einem zünd- oder explosionsfreudigen Gas gemessen werden soll. Weiters ist die Einrichtung gemäß CH 653 441 A5 aufgrund des Aufbaus der Einrichtung, insbesondere aufgrund der Ausgestaltung des Messrohres und aufgrund der Positionierung und Anordnung des Lautsprechers bzw. Schallaufnehmers, kompliziert, unpräzise und stör anfällig.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen Aufbau und ein Verfahren zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas zur Verfügung zu stellen, der/das die angesprochenen Probleme so weit wie möglich vermeidet. Insbesondere sollen ein Aufbau und ein Verfahren bereitgestellt werden, mit dem sich die Schallgeschwindigkeit in einem Gas einfach, rasch und präzise ermitteln lässt.

[0011] Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß mit einem Aufbau, der die Merkmale von Anspruch 1 aufweist, und mit einem Verfahren, das die Merkmale von Anspruch 10 aufweist.

[0012] Bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0013] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der Aufbau ein Kalibrierungselement mit einer zwischen einem Eingang und einem Ausgang verlaufenden vordefinierten, durchflutbaren Länge, die zumindest abschnittsweise von einer Rohrleitung gebildet ist, aufweist, und dass der Eingang akustisch leitend mit der Sensoreinheit verbunden ist.

[0014] Der erfindungsgemäße Aufbau kann beispielsweise verwendet werden, um die Schallgeschwindigkeit in einem Gas, das sich in einem Ringspalt bzw. Ringraum um den Förderstrang in einem Ölbohrloch befindet, zu bestimmen. Der Aufbau kann jedoch auch in anderen technischen Gebieten zum Einsatz kommen, prinzipiell überall dort, wo die Schallgeschwindigkeit eines Gases bestimmt werden muss, beispielsweise bei Gasbohrlöchern oder bei geothermalen Kraftwerken (für die Tiefenmessung).

[0015] Als „vordefinierte, durchflutbare Länge“ des Kalibrierungselementes wird im Rahmen der Erfindung ein nach außen im Wesentlichen abgeschlossenes, langgestrecktes Innenvolumen bzw. ein nach außen im Wesentlichen abgeschlossener Raum, das/der eine vordefinierte Längserstreckung aufweist und insbesondere nur an seinen Längsenden über den Eingang und den Ausgang des Kalibrierungselementes zugänglich ist, verstanden.

[0016] Dieses Innenvolumen ist vom Eingang zum Ausgang im Wesentlichen vollständig mit Gas durchflutbar, sodass die durchflutbare Länge beim gasdurchfluteten Kalibrierungselement vollständig mit dem Gas (zu dem die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden soll) gefüllt ist. Die durchflutbare Länge kann auch als gasdurchflutbare Länge bezeichnet werden.

[0017] Als „akustisch leitend“ wird im Rahmen der Erfindung verstanden, dass das Kalibrierungselement derart mit der Sensoreinheit verbunden ist, dass ein akustisches Signal von der Sensoreinheit durch den Eingang des Kalibrierungselementes in das in dem Kalibrierungselement enthaltene Gas eingeleitet werden kann und dass ein akustisches Signal von dem im Kalibrierungselement enthaltenen Gas zur Sensoreinheit zurückleitbar ist. Die Sensoreinheit muss nicht direkt am Eingang des Kalibrierungselementes angeordnet sein, sondern kann auch indirekt, z.B. über wenigstens eine Kammer und/oder wenigstens eine Leitung, mit dem Eingang in akustisch leitender Verbindung stehen.

[0018] Als Rohrleitung wird im Rahmen der Erfindung insbesondere ein im Wesentlichen starres Rohr verstanden, aber auch ein biegsames Rohr oder ein Schlauch.

[0019] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas. Für das Verfahren wird ein Aufbau verwendet, der eine Sensoreinheit zum Erzeugen eines akustischen Ausgangssignals und zum Erfassen eines akustischen Messsignals und weiters ein Kalibrierungselement aufweist, wobei das Kalibrierungselement eine zwischen einem Eingang und einem Ausgang verlaufende, durchflutbare Länge, die zumindest abschnittsweise von einer Rohrleitung gebildet ist, aufweist, und wobei der Eingang akustisch leitend mit der Sensoreinheit verbunden ist.

[0020] Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann die Schallgeschwindigkeit in dem Gas in den folgenden, zeitlich hintereinander erfolgenden, Schritten bestimmt werden:

[0021] Zuerst wird in einem Schritt a. das Kalibrierungselement über seine gesamte durchflutbare Länge mit dem Gas durchflutet (=gefüllt), d.h. vom Eingang über die Rohrleitung bis zum Ausgang.

[0022] Dann wird in einem Schritt b. mit der Sensoreinheit ein zeitlich begrenztes akustisches Ausgangssignals erzeugt und über den Eingang in das gasdurchflutete Kalibrierungselement eingeleitet.

[0023] Die Sensoreinheit ist in der Lage, in einem Schritt c. direkt nach dem Erzeugen und Aussenden des akustischen Ausgangssignals (oder auch schon währenddessen) ein aus dem Eingang austretendes akustisches Messsignal zu erfassen. Die Sensoreinheit kann dafür von einem Sendemodus in einen Empfangsmodus umgestellt werden oder dazu eingerichtet sein, parallel akustische Signale zu erzeugen und gleichzeitig auch akustische Signale zu empfangen. Das erfasste akustische Messsignal wird insbesondere aufgezeichnet bzw. zumindest zwischengespeichert.

[0024] Mit einer mit dem (erfindungsgemäßen) Aufbau verbundenen Steuereinheit wird in einem Schritt d. eine Signalveränderung im akustischen Messsignal ermittelt, die aufgrund einer Reflexion des akustischen Ausgangssignals am Ausgang des Kalibrierungselementes erzeugt wird oder auftritt. Diese Signalveränderung ist ein Echo des akustischen Ausgangssignals, das im Bereich des Ausgangs des Kalibrierungselementes zurückgeworfen wird.

[0025] In der Praxis bedeutet dies, dass die Sensoreinheit direkt nach dem Aussenden des Ausgangssignals das akustische Messsignal erfasst, das zunächst eine unauffällig (d.h. durchgehend auf einem sehr niedrigen Level) verlaufende Amplitude und/oder ein im Wesentlichen gleichbleibendes Frequenzspektrum aufweist. Nach einem bestimmten Zeitintervall, nämlich der Zeit, die es benötigt bis das akustische Ausgangssignal die durchflutbare Länge des Kalibrierungselementes in Richtung Ausgangs zurückgelegt hat, im Bereich des Ausgangs reflektiert wird und wieder in umgekehrte Richtung bis zum Eingang zurückreist, tritt plötzlich ein Amplitudenanstieg bzw. eine Amplitudenspitze und/oder eine Veränderung im Frequenzspektrum auf, die von der Steuereinheit als Signalveränderung registriert wird/werden.

[0026] Die Steuereinheit bestimmt in einem Schritt e. mit Hilfe einer Berechnungslogik eine zeitliche Differenz zwischen dem Einleiten des akustischen Ausgangssignals in das Kalibrierungselement und dem Detektieren der Signalveränderung, d.h. das Zeitintervall bis zum Auftreten der Signalveränderung. Das Einleiten des akustischen Signals passiert insbesondere (nahezu) zeitgleich mit dem Erzeugen des akustischen Signals (d.h. das akustische Signal wird vorzugsweise direkt vor der Kalibrierungsbox erzeugt).

[0027] Anschließend wird in einem Schritt f. die Schallgeschwindigkeit im Gas mit der Berechnungslogik auf Grundlage der bestimmten zeitlichen Differenz und der bekannten durchflutbaren Länge des Kalibrierungselementes berechnet. Dafür wird im Wesentlichen die folgende Berechnungsformel verwendet:

$$v = (2 * L) / T$$

wobei v die Schallgeschwindigkeit im Gas, L die bekannte durchflutbare Länge des Kalibrierungs-

elementes (die vom akustischen Signal bis zum Ausgang hin und wieder zurück zurückgelegt wird) und T die bestimmte zeitlichen Differenz zwischen dem Einleiten (insbesondere Generieren) des akustischen Ausgangssignals und dem Detektieren der Signalveränderung ist.

[0028] Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglichen somit eine möglichst einfache und ggf. auch präzise Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in einem Gas, insbesondere in einem einen Förderstrang in einem Bohrloch umgebenden Gas oder Gasgemisch (das beispielsweise gänzlich oder teilweise aus Methan besteht).

[0029] Zum Durchfluten der durchflutbaren Länge des Kalibrierungselementes kann der Aufbau mit dem Bohrloch oder einer anderen das Gas führenden Vorrichtung verbunden werden, wobei das Gas entweder selbstständig (aufgrund eines bestehenden Überdruckes oder Gasstroms) in das Kalibrierungselement hineinströmt und dieses durchflutet oder mittels einer Vorrichtung in das Kalibrierungselement hineingepumpt wird.

[0030] Die Sensoreinheit umfasst vorzugsweise eine Druckbox mit integriertem Lautsprecher, der sowohl akustische Signale erzeugen als auch empfangen kann (d.h. aus elektronischen Signalen akustische Signale erzeugen kann und vice versa). Alternativ dazu kann die Sensoreinheit auch eine Einrichtung zum Erzeugen von akustischen Signalen und eine andere, davon separate, Einrichtung zum Empfangen von akustischen Signalen aufweisen.

[0031] Besonders bevorzugt ist es, wenn die Rohrleitung im Kalibrierungselement in mehreren übereinanderliegenden und/oder nebeneinanderliegenden Windungen aufgewickelt ist. Das bedeutet insbesondere, dass die Rohrleitung in der aufgewickelten Form fixiert ist. Durch die aufgewickelte Form der Rohrleitung nimmt diese nur einen geringen Platz ein, wobei gleichzeitig die durchflutbare Länge des Kalibrierungselementes ausreichend lang ist, um eine präzise Bestimmung der Schallgeschwindigkeit zu ermöglichen. Der erfindungsgemäße Aufbau kann daher als Ganzes recht kompakt und klein ausgeführt sein.

[0032] Vorzugsweise weist die Rohrleitung ein proximales Rohrende im Bereich des Eingangs auf. Dieses proximale Rohrende kann den Eingang des Kalibrierungselementes bilden, alternativ dazu kann aber auch an das proximale Rohrende ein insbesondere schlauchförmiges Verbindungselement mit einem Ende angeschlossen sein bzw. anschließbar sein, dessen anderes (nicht am proximalen Rohrende angeschlossenes) Ende den Eingang des Kalibrierungselementes bildet. Ein insbesondere schlauchförmiges Verbindungselement ermöglicht eine besonders flexible Möglichkeit des Verbindens des Kalibrierungselementes mit der Sensoreinheit. Wenn das proximale Rohrende direkt den Eingang des Kalibrierungselementes bildet, werden hingegen weniger Bauteile benötigt, wodurch geringere Kosten entstehen.

[0033] Im Rahmen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass an dem proximalen Rohrende der Rohrleitung ein Verschlussventil (d.h. ein proximales Verschlussventil) angeordnet ist. Ein derartiges Verschlussventil kann ein kontinuierliches Durchfluten des Kalibrierungselementes und daher einen kontinuierlichen Gasaustritt aus dem Aufbau verhindern. Vorzugsweise wird der Aufbau zuerst an eine das Gas führende Vorrichtung bzw. Einrichtung (z.B. das Bohrloch) angeschlossen und erst kurz vor der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Gas das Verschlussventil am proximalen Rohrende geöffnet.

[0034] In einer möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Rohrleitung ein distales Rohrende im Bereich des Ausgangs aufweist. Der Ausgang kann direkt vom distalen Rohrende gebildet sein. Stattdessen kann aber auch ein mit einem Ende an das distale Rohrende angeschlossenes, insbesondere rohrförmiges, Lüftungselement mit seinem anderen, nicht angeschlossenen Ende den Ausgang bilden. Das Lüftungselement dient insbesondere dazu, den Strom des beim Durchfluten des Kalibrierungselementes aus dem Ausgang austretenden Gases von einer den Aufbau benutzenden Person wegzulenken bzw. das Gas aus der Kalibrierungsbox hinauszuführen.

[0035] Im Rahmen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass an dem distalen Rohrende der Rohrleitung ein Verschlussventil (d.h. ein distales Verschlussventil) angeordnet ist. Bei einem derartigen Aufbau kann ein akustisches Signal, das die durchflutbare Länge des Kalibrierungs-

elementes durchläuft, am verschlossenen Verschlussventil reflektiert werden. Das Verschlussventil am distalen Rohrende kann auch ein Überdruckventil sein.

[0036] Bei Ausführungsformen mit einem proximalen und einem distalen Verschlussventil können diese beim Entfernen der Kalibrierungsbox vom Bohrstrang geschlossen werden, damit das in der durchflutbaren Länge enthaltene Gas nicht austritt bzw. in gesicherter Umgebung oder im Freien ausgelassen oder ausgespült werden kann.

[0037] Besonders bevorzugt ist wenigstens ein Teil der Rohrleitung in einem Gehäuse angeordnet. Bei Ausführungsformen, bei denen der Eingang am Verbindungselement und/oder der Ausgang am Lüftungselement ausgebildet ist, kann insbesondere die gesamte Rohrleitung (ggf. mit dem am proximalen Rohrende und/oder dem distalen Rohrende angeordneten Verschlussventil) innerhalb des Gehäuses angeordnet sein. Ein derartiges Gehäuse schützt das Kalibrierungselement und ermöglicht einen einfachen Transport desselben. Besonders bevorzugt ist bei derartigen Ausführungsformen, wenn die Rohrleitung - wie bereits beschrieben - in Windungen aufgewickelt und in dem Gehäuse gegen ein Abwickeln fixiert ist.

[0038] Möglich, wenn auch nicht bevorzugt, sind Ausführungsformen, bei denen ein Stück der Rohrleitung im Bereich des Eingangs und/oder ein Stück der Rohrleitung im Bereich des Ausganges aus dem Gehäuse hinausragt. Bei derartigen Ausführungsformen kann auf ein Verbindungselement und/oder ein Lüftungselement verzichtet werden.

[0039] Wenn die Rohrleitung wenigstens ein Verschlussventil wie oben beschrieben aufweist, kann das Gehäuse insbesondere offenbar und schließbar (z.B. über einen Deckel) sein, um Zugriff auf das/die im Gehäuse angeordnete/n Ventil/e zu haben.

[0040] Im Rahmen der Erfindung weist die Rohrleitung bevorzugt eine Länge von wenigstens 0,5 m, vorzugsweise wenigstens 2 m, insbesondere wenigstens 5 m auf. Ebenso weist die Rohrleitung bevorzugt eine Länge von maximal 100 m, insbesondere von maximal 70 m, auf. Besonders bevorzugt ist die Rohrleitung ca. 50 m lang. Eine derartig lange Rohrleitung ermöglicht die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Gas mit ausreichend hoher Präzision, ohne dass der erfindungsgemäße Aufbau unhandlich bzw. zu groß/schwer wird.

[0041] Besonders bevorzugt weist die Rohrleitung einen Innendurchmesser von maximal 20 mm, vorzugsweise maximal 15 mm, insbesondere maximal 10 mm, auf. Ein derartiger Innendurchmesser ist für eine möglichst präzise Bestimmung der Schallgeschwindigkeit ausreichend und ermöglicht gleichzeitig eine platz- und gewichtsparende Ausführungsform des Aufbaus. Im Rahmen der Erfindung sind auch Ausführungsformen mit einer Rohrleitung mit größerem Innendurchmesser denkbar, beispielsweise maximal 30 mm oder maximal 40 mm, derartige Ausführungsformen sind jedoch recht groß bzw. schwer.

[0042] Der erfindungsgemäße Aufbau zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas ist insbesondere dafür geeignet bzw. vorgesehen, um in dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet zu werden bzw. um das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen. Es versteht sich, dass Merkmale, die nur zum Aufbau beschrieben sind, auch in adäquater Weise beim Verfahren verwirklicht werden können und umgekehrt.

[0043] Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann die Reflexion, aufgrund derer eine Signalveränderung auftritt, das auf einen verschlossenen Ausgang des Kalibrierungselementes stoßende und daran zurückgeworfene akustische Ausgangssignal sein. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Rohrleitung des Kalibrierungselementes mit einem Verschlussventil an ihrem distalen Rohrende ausgestattet ist, das nach dem vollständigen Durchfluten des Kalibrierungselementes und vor dem Erzeugen des akustischen Ausgangssignals verschlossen wird.

[0044] Die Reflexion, aufgrund derer eine Signalveränderung auftritt, kann jedoch auch eine Druckwelle sein, die aufgrund einer Reflexion am offenen Rohrende gebildet wird. Bei dieser Variante kann vorgesehen sein, dass das Gas im Wesentlichen kontinuierlich, d.h. auch während der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, durch das Kalibrierungselement strömt.

[0045] Beim erfindungsgemäßen Verfahren weist das akustische Ausgangssignal bevorzugt eine

vordefinierte zeitliche Dauer auf, wobei es bei einer ersten Frequenz beginnt und bei einer zweiten Frequenz endet. Die zweite Frequenz kann von der ersten Frequenz verschieden, insbesondere höher, sein (sich veränderndes Frequenzband) oder gleich der ersten Frequenz sein (konstantes Frequenzband). Das Durchlaufen eines Frequenzspektrums beim Erzeugen des akustischen Ausgangssignals erzeugt eine besonders gut messbare Reflexion bzw. eine besonders eindeutig ermittelbare Signalveränderung, da damit sichergestellt wird, dass das Ausgangssignal mit jener (vorher nicht bekannten) Frequenz auf den Ausgang trifft, bei der die stärkste Reflexion (insbesondere durch Zurückwerfen am verschlossenen Ausgang oder durch Austritt aus dem offenen Ausgang) erzeugt wird.

[0046] Bevorzugt ist es, wenn beim erfindungsgemäßen Verfahren die vordefinierte zeitliche Dauer des akustischen Ausgangssignals maximal 250 Millisekunden, vorzugsweise maximal 200 Millisekunden, insbesondere maximal 150 Millisekunden, beträgt. Die Dauer kann auch weniger als 150 Millisekunden, z.B. zwischen 50 und 100 Millisekunden betragen (aber auch weniger als 50 Millisekunden). Insbesondere ist die vordefinierte zeitliche Dauer kürzer als jene Zeit, die das akustische Signal benötigt, um sich entlang der durchflutbaren Länge bis zum Ausgang und wieder zurück zu bewegen, und daher abhängig von der Länge der durchflutbaren Länge bzw. abhängig von der Länge der Rohrleitung. Dies soll sicherstellen, dass das Erzeugen des akustischen Ausgangssignals endet, bevor die Reflexion des Beginns des Ausgangssignals den Eingang des Kalibrierungselementes erreicht.

[0047] Die erste Frequenz beträgt bevorzugt mindestens 1 Hertz (Hz), vorzugsweise mindestens 3 Hertz, insbesondere ca. 5 Hertz, und die zweite Frequenz beträgt bevorzugt maximal 200 Hertz, vorzugsweise maximal 100 Hertz, insbesondere ca. 50 Hertz. Ein akustisches Ausgangssignal, das ein derartiges Frequenzspektrum aufweist, erzeugt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine besonders starke Reflexion, die zu einer deutlichen Signalveränderung führt.

[0048] Wenn die Frequenz bzw. das Frequenzband des akustischen Ausgangssignals gleichbleibend ist, weist das Ausgangssignal eine Frequenz zwischen 1 und 100 Hertz, vorzugsweise zwischen 5 und 50 Hertz, insbesondere zwischen 10 und 30 Hertz (beispielsweise ca. 20 Hertz) auf.

[0049] Insbesondere wird das akustische Ausgangssignal in der Sensoreinheit aus einem elektronischen Ausgangssignal (einem Audiosignal) generiert und das erfasste akustische Messsignal in der Sensoreinheit in ein elektronisches Messsignal umgewandelt.

[0050] Das elektronische Ausgangssignal kann beispielsweise durch einen über die Steuereinheit gesteuerten analogen Ausgang erzeugt (und insbesondere über einen vor der Sensoreinheit angeordneten Verstärker verstärkt) und das elektronische Messsignal an einem von der Steuereinheit überwachten analogen Eingang erfasst werden.

[0051] Insbesondere können der analoge Aus- und Eingang über ein Schaltrelais mit der Sensoreinheit verbunden sein, wobei das Schaltrelais durch ein ebenfalls von der Steuereinheit erzeugtes digitales Ausgangssignal zwischen einer Verbindung des analogen Ausgangs mit der Sensoreinheit und einer Verbindung des analogen Eingangs mit der Sensoreinheit hin und her geschaltet werden kann. Zwischen dem analogen Ausgang und dem Schaltrelais ist vorzugsweise ein Verstärker zum Verstärken des elektronischen Ausgangssignals (d.h. des analogen Audiosignals) vorgesehen.

[0052] Die Berechnungslogik ist insbesondere in einer Recheneinheit der Steuereinheit implementiert.

[0053] Weiters kann die Steuereinheit mit einem Temperatursensor zum Messen der Temperatur des Gases, zu dem die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden soll, verbunden sein bzw. einen derartigen Temperatursensor aufweisen.

[0054] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die angeschlossenen Zeichnungen, in welchen bevorzugte Ausführungsformen dargestellt sind. Es zeigt:

- [0055]** Fig. 1 eine stark vereinfachte Konzeptansicht einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Aufbaus in Verbindung mit einer Steuereinheit,
- [0056]** Fig. 2 eine stark vereinfachte Draufsicht auf ein Kalibrierungselement des erfindungsgemäßen Aufbaus, und
- [0057]** Fig. 3 ein Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0058] Fig. 1 zeigt den erfindungsgemäßen Aufbau 1 in einer stark vereinfachten Konzeptansicht, wobei der erfindungsgemäße Aufbau 1 mit einer Steuereinheit 2 verbunden ist. Sowohl der erfindungsgemäße Aufbau 1 als auch die Steuereinheit 2 sind in Fig. 1 durch strichlierte Eingrenzungen jeweils als Funktionsgruppe gekennzeichnet.

[0059] Der erfindungsgemäße Aufbau 1 weist eine Sensoreinheit 3 auf, die in der dargestellten Ausführungsform aus einer Druckbox 4 mit integriertem Lautsprecher 5 besteht. Der Lautsprecher 5 kann akustische Signale sowohl erzeugen als auch empfangen.

[0060] Mit der Sensoreinheit 3 ist ein Kalibrierungselement 6 verbunden, das einen Eingang 7 und einen Ausgang 8 aufweist. Zwischen dem Eingang 7 und dem Ausgang 8 weist das Kalibrierungselement 6 eine durchflutbare Länge L auf, die im Einsatzzustand des erfindungsgemäßen Aufbaus 1 mit einem Gas durchflutet ist.

[0061] Die durchflutbare Länge L wird zumindest abschnittsweise von einer Rohrleitung 9 gebildet.

[0062] In Fig. 1 wird die durchflutbare Länge L gänzlich von der Rohrleitung 9 gebildet, wobei der Eingang 7 des Kalibrierungselementes 6 an einem an der Sensoreinheit 3 angeschlossenen proximalen Rohrende 11 und der Ausgang 8 des Kalibrierungselementes 6 an einem frei wegragenden distalen Rohrende 12 ausgebildet ist (bzw. durch dieses gebildet ist).

[0063] Der Eingang 7 des Kalibrierungselementes 6 ist akustisch leitend mit der Sensoreinheit 3 verbunden, d.h. dass ein akustisches Signal von der Sensoreinheit 3 in die durchflutbare Länge L des Kalibrierungselementes 3 einleitbar ist. Das akustische Signal kann sich somit entlang der durchflutbaren Länge L durch das im Kalibrierungselement 6 aufgenommene Gas fortpflanzen bzw. fortbewegen. Ebenso ist ein sich vom Ausgang 8 zum Eingang 7 durch das in der durchflutbaren Länge L aufgenommene Gas fortpflanzendes, akustisches Signal aus dem Kalibrierungselement 6 in die Sensoreinheit 3 zurückleitbar.

[0064] Die mit dem erfindungsgemäßen Aufbau 1 verbundene und für das erfindungsgemäße Verfahren benötigte Steuereinheit 2 weist in der dargestellten Ausführungsform einen analogen Ausgang 13 und einen analogen Eingang 14, jeweils zum Erzeugen und Empfangen eines elektrischen Signals, auf.

[0065] Der analoge Ausgang 13 ist zum Verstärken des analogen Audiosignals (Ausgangssignals) über einen Verstärker 15 mit einem Relaischalter 16 verbunden. Auch der analoge Eingang 14 ist mit dem Relaischalter 16 verbunden, ebenso wie ein digitaler Ausgang 17 der Steuereinheit 2. Über ein durch den digitalen Ausgang 17 erzeugtes, digitales Signal kann der Relaischalter 16 zwischen einer ersten leitenden Verbindung des analogen Ausgangs 13 mit der Sensoreinheit 3 und einer zweiten leitenden Verbindung des analogen Eingangs 14 mit der Sensoreinheit 3 hin und her geschaltet werden.

[0066] In der dargestellten Ausführungsform weist die Steuereinheit 2 weiters einen Temperatursensor 18 zum Erfassen der Temperatur des in der durchströmbaren Länge L aufgenommenen Gases auf, damit festgestellt und festgehalten werden kann, bei welcher Temperatur das Gas die mit dem Aufbau bzw. dem Verfahren bestimmte Schallgeschwindigkeit aufweist. Die Messung kann jedoch auch ohne einen Temperatursensor 18 durchgeführt werden.

[0067] Die Steuereinheit 2 weist weiters eine, insbesondere in einer Recheneinheit 19 implementierte, Berechnungslogik zum Berechnen der Schallgeschwindigkeit des Gases bzw. im Gas auf.

[0068] Fig. 3 zeigt ein Flussdiagramm des Ablaufes eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit den Verfahrensschritten a. bis f., die in zeitlicher Reihenfolge hintereinander stattfinden.

[0069] Zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in dem Gas wird das Gas zuerst in einem Schritt a. in das Kalibrierungselement 6 (über dessen Eingang 7) eingeleitet, bis das Kalibrierungselement 6 über seine gesamte durchflutbare Länge L mit dem Gas durchflutet ist.

[0070] Anschließend wird von der Steuereinheit 2 ein analoges elektrisches Ausgangssignal erzeugt, über den Verstärker 15 verstärkt und über den Relaischalter 16 (der eine leitende Verbindung zwischen dem analogen Ausgang 13 und der Sensoreinheit 3 herstellt) an die Sensoreinheit 3 eingeleitet.

[0071] In der Sensoreinheit 3 wird in einem Schritt b. aus dem elektrischen Ausgangssignal ein akustisches Ausgangssignal erzeugt, das eine vordefinierte zeitliche Dauer aufweist und das beispielsweise über diese Dauer von einer ersten Frequenz zu einer zweiten Frequenz ansteigt. Das akustische Ausgangssignal wird während seiner vordefinierten Dauer in das Kalibrierungselement 6 eingeleitet und pflanzt sich durch die durchströmbare Länge L in Richtung Ausgang 8 des Kalibrierungselementes 6 fort.

[0072] Direkt nach dem Erzeugen des akustischen Ausgangssignals (d.h. nach Ablauf der vordefinierten zeitlichen Dauer) wird der Relaischalter 16 (der ein oder mehrere Relais aufweisen kann) durch ein digitales Signal vom digitalen Ausgang 17 umgeschaltet, sodass eine leitende Verbindung zwischen dem analogen Eingang 14 und der Sensoreinheit 3 hergestellt ist. Ab diesem Zeitpunkt (oder auch schon während des Erzeugens des akustischen Ausgangssignals) erfasst die Sensoreinheit 3 in einem Schritt c. ein aus dem Eingang 7 des Kalibrierungselementes 6 austretendes akustisches Messsignal.

[0073] Am offenen Ausgang 8 des Kalibrierungselementes 6 - der in der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform das distale Rohrende 12 ist bzw. am distalen Rohrende 12 ausgebildet ist - findet eine Reflexion statt. Eine durch diese Reflexion am offenen Rohrende gebildete und in umgekehrte Richtung, d.h. vom Ausgang 8 zum Eingang 7 des Kalibrierungselementes 6, laufende Druckwelle, die als Reflexion bzw. Echo des akustischen Ausgangssignals angesehen werden kann, pflanzt sich in Richtung Eingang 7 fort.

[0074] Die Reflexion des akustischen Ausgangssignals erzeugt eine Signalveränderung (d.h. einen Amplitudenanstieg) in dem von der Sensoreinheit 3 erfassten akustischen Messsignal und ebenso in dem an die Steuereinheit 2 weitergeleiteten elektronischen Messsignal. Die durch die Reflexion des akustischen Ausgangssignals erzeugte Signalveränderung wird in einem Schritt d. mit der Steuereinheit 2 ermittelt.

[0075] Die Berechnungslogik bestimmt in einem Schritt e. eine zeitliche Differenz zwischen dem Einleiten (insbesondere Generieren) des akustischen Ausgangssignals und dem Auftreten der Signalveränderung und berechnet in einem Schritt f. anhand dieser zeitlichen Differenz und der bekannten Distanz zwischen dem Eingang 7 und dem Ausgang 8 des Kalibrierungselementes 6, d.h. der durchflutbaren Länge L, die Schallgeschwindigkeit im Gas.

[0076] Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des im erfindungsgemäßen Aufbau 1 zum Einsatz kommenden Kalibrierungselementes 6.

[0077] In dieser Ausführungsform ist das Kalibrierungselement 6 in einem Gehäuse 21 angeordnet, das insbesondere mit Hilfe eines nicht dargestellten Deckels oder Schiebers öffnen- und schließbar ist.

[0078] Die Rohrleitung 9 ist in mehreren über- und/oder nebeneinander liegenden Windungen aufgewickelt und mit Befestigungen 22 in dem Gehäuse 21 fixiert.

[0079] Am proximalen Rohrende 11, d.h. jenem Ende der Rohrleitung 9, das bei an die Sensoreinheit 3 angeschlossenem Kalibrierungselement 6 (in Strömungsrichtung gesehen) näher an der Sensoreinheit 3 und im Bereich des Eingangs 7 des Kalibrierungselementes 6 angeordnet ist, ist ein proximales Verschlussventil 23 angeordnet.

[0080] Ein durch eine Öffnung im Gehäuse 21 hindurchgeführtes, schlauchförmiges Verbindungselement 24 verbindet das proximale Verschlussventil 23 mit der Sensoreinheit 3, sodass ein an der Sensoreinheit 3 angeschlossenes Ende des Verbindungselementes 24 den Eingang 7

des Kalibrierungselementes 6 bildet.

[0081] Auch an das distale Rohrende 12 der Rohrleitung 9, d.h. an jenes Ende der Rohrleitung 9, das bei an die Sensoreinheit 3 angeschlossenem Kalibrierungselement 6 (in Strömungsrichtung gesehen) weiter weg von der Sensoreinheit 3 und im Bereich des Ausgangs 8 des Kalibrierungselementes 6 angeordnet ist, ist ein distales Verschlussventil 25 angeordnet.

[0082] An das distale Verschlussventil 25 ist ein rohrförmiges Lüftungselement 26 angeschlossen, das durch eine weitere Öffnung im Gehäuse hinausgeführt ist und dessen nicht an das distale Verschlussventil 25 angeschlossenes Ende den Ausgang 8 des Kalibrierungselementes 6 bildet.

[0083] Die durchflutbare Länge L des Kalibrierungselementes 6 ist bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 somit durch eine Länge des Verbindungselementes 25, eine Länge der Rohrleitung 9 und eine Länge des Lüftungselementes 26 gebildet.

BEZUGSZEICHENLISTE:

- 1 Aufbau
 - 2 Steuereinheit
 - 3 Sensoreinheit
 - 4 Druckbox
 - 5 Lautsprecher
 - 6 Kalibrierungselement
 - 7 Eingang
 - 8 Ausgang
 - 9 Rohrleitung
 - 10 ---
 - 11 proximales Rohrende
 - 12 distales Rohrende
 - 13 analoger Ausgang
 - 14 analoger Eingang
 - 15 Verstärker
 - 16 Relaisschalter
 - 17 digitaler Ausgang
 - 18 Temperatursensor
 - 19 Recheneinheit
 - 20 ---
 - 21 Gehäuse
 - 22 Befestigung
 - 23 proximales Verschlussventil
 - 24 Verbindungselement
 - 25 distales Verschlussventil
 - 26 Lüftungselement
- L durchflutbare Länge

Patentansprüche

1. Aufbau (1) zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas, wobei der Aufbau (1) eine Sensoreinheit (3) zum Erzeugen eines akustischen Ausgangssignals und zum Erfassen eines akustischen Messsignals aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aufbau (1) ein Kalibrierungselement (6) mit einer zwischen einem Eingang (7) und einem Ausgang (8) verlaufenden vordefinierten durchflutbaren Länge (L), die zumindest abschnittsweise von einer Rohrleitung (9) gebildet ist, aufweist, und dass der Eingang (7) akustisch leitend mit der Sensoreinheit (3) verbunden ist.
2. Aufbau nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrleitung (9) im Kalibrierungselement (6) in mehreren übereinanderliegenden oder nebeneinanderliegenden Windungen aufgewickelt ist.
3. Aufbau nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrleitung (9) ein proximales Rohrende (11) im Bereich des Eingangs (7) aufweist, und dass das proximale Rohrende (11) den Eingang (7) bildet, oder dass an das proximale Rohrende (11) ein insbesondere schlauchförmiges Verbindungselement (24) mit einem Ende angeschlossen ist, dessen anderes Ende den Eingang (7) bildet.
4. Aufbau nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem proximalen Rohrende (11) der Rohrleitung (9) ein proximales Verschlussventil (23) angeordnet ist.
5. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrleitung (9) ein distales Rohrende (12) im Bereich des Ausgangs (8) aufweist, und dass das distale Rohrende (12) den Ausgang (8) bildet, oder dass an das distale Rohrende (12) ein insbesondere rohrförmiges Lüftungselement (26) mit einem Ende angeschlossen ist, dessen anderes Ende den Ausgang (8) bildet.
6. Aufbau nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem distalen Rohrende (12) der Rohrleitung (9) ein distales Verschlussventil (25) angeordnet ist.
7. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrleitung (9) in einem Gehäuse (21) angeordnet ist.
8. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrleitung (9) eine Länge von wenigstens 5 m und/oder eine Länge von maximal 60 m aufweist.
9. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrleitung (9) einen Innendurchmesser von maximal 20 mm, vorzugsweise maximal 15 mm, insbesondere maximal 10 mm, aufweist.
10. Verfahren zum Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in einem Gas, wobei für das Verfahren ein Aufbau (1) verwendet wird, der eine Sensoreinheit (3) zum Erzeugen eines akustischen Ausgangssignals und zum Erfassen eines akustischen Messsignals und weiters ein Kalibrierungselement (6) aufweist, wobei das Kalibrierungselement (6) eine zwischen einem Eingang (7) und einem Ausgang (8) verlaufende vordefinierte durchflutbare Länge (L), die zumindest abschnittsweise von einer Rohrleitung (9) gebildet ist, aufweist, und wobei der Eingang (7) akustisch leitend mit der Sensoreinheit (3) verbunden ist, **gekennzeichnet durch** die zeitlich hintereinander erfolgenden Schritte:
 - a. Durchfluten des Kalibrierungselementes (6) über seine gesamte durchflutbare Länge (L) mit dem Gas,
 - b. Erzeugen eines zeitlich begrenzten akustischen Ausgangssignals mit der Sensoreinheit (3) und Einleiten des akustischen Signals über den Eingang (7) in das gasdurchflutete Kalibrierungselement (6),
 - c. Erfassen eines direkt nach dem Aussenden des akustischen Ausgangssignals aus dem Eingang (7) austretenden akustischen Messsignals,
 - d. Ermitteln einer durch eine Reflexion des akustischen Ausgangssignals am Ausgang (8) des Kalibrierungselementes (6) erzeugten Signalveränderung im akustischen Messsignal mit einer Steuereinheit (2),

- e. Bestimmen einer zeitlichen Differenz zwischen dem Einleiten des akustischen Ausgangssignals in das Kalibrierungselement (6) und dem Auftreten der Signalveränderung mit einer Berechnungslogik der Steuereinheit (2), und
 - f. Berechnen der Schallgeschwindigkeit im Gas mit der Berechnungslogik auf Grundlage der bestimmten zeitlichen Differenz und der bekannten vordefinierten durchflutbaren Länge (L) des Kalibrierungselementes (6).
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Durchführung des Verfahrens ein Aufbau (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 verwendet wird.
 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflexion das auf einen verschlossenen Ausgang (8) des Kalibrierungselementes (6) stoßende und daran zurückgeworfene akustische Ausgangssignal ist oder dass die Reflexion eine Druckwelle ist, die aufgrund einer Reflexion am offenen Ausgang (8) gebildet wird.
 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das akustische Ausgangssignal eine vordefinierte zeitliche Dauer aufweist, wobei es bei einer ersten Frequenz beginnt und bei einer, vorzugsweise von der ersten Frequenz verschiedenen, zweiten Frequenz endet.
 14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vordefinierte zeitliche Dauer maximal 250 Millisekunden, vorzugsweise maximal 200 Millisekunden, insbesondere maximal 150 Millisekunden, beträgt.
 15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Frequenz mindestens 1 Hertz, vorzugsweise mindestens 3 Hertz, insbesondere 5 Hertz, und die zweite Frequenz maximal 200 Hertz, vorzugsweise maximal 100 Hertz, insbesondere 50 Hertz, beträgt.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

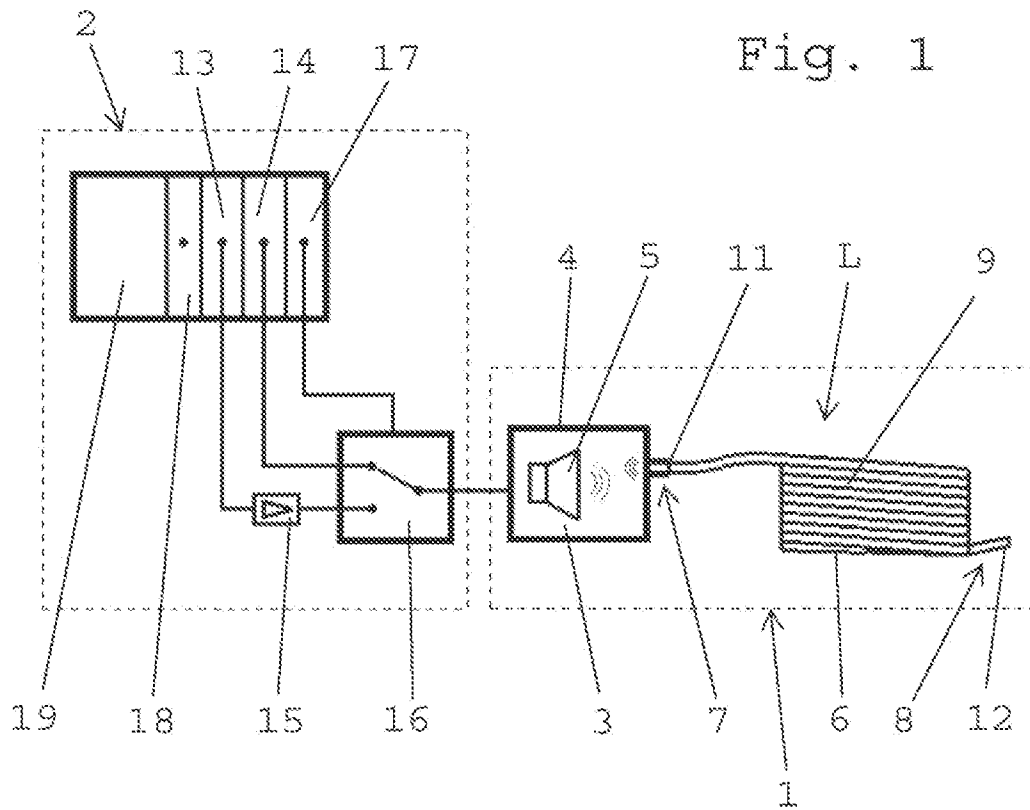
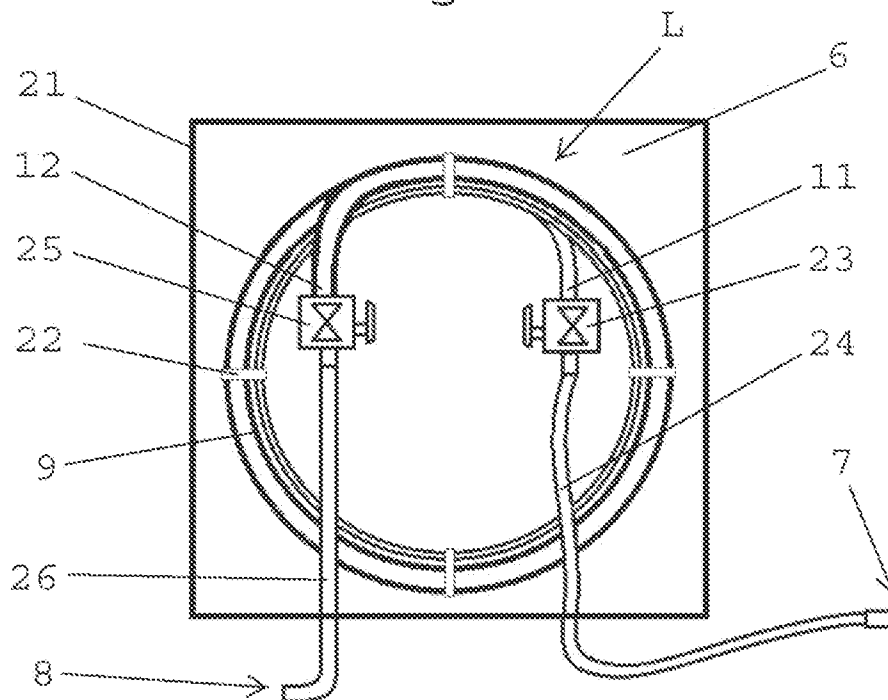


Fig. 2



2/2

Fig. 3

