



(10) DE 10 2012 220 468 B3 2014.03.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2012 220 468.7

(51) Int Cl.: **G01B 17/00 (2006.01)**

(22) Anmelddatum: 09.11.2012

G01B 3/20 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 27.03.2014

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

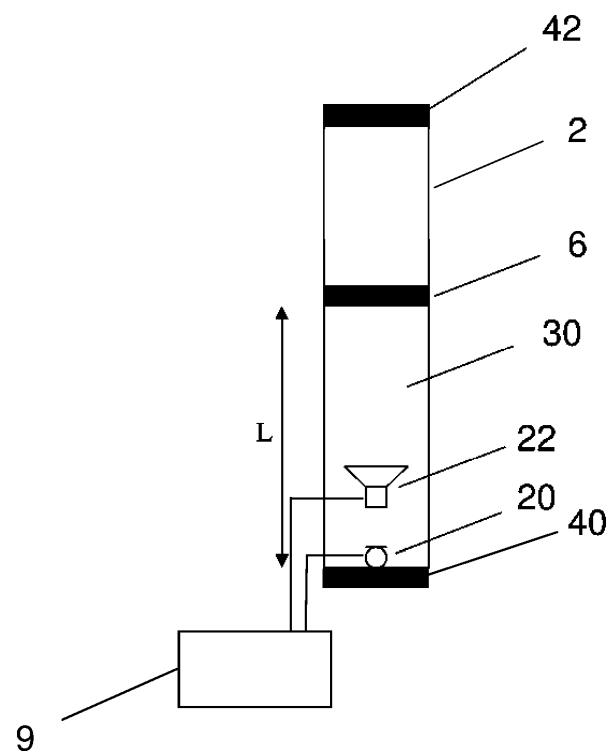
(73) Patentinhaber:
seca ag, Reinbach, CH

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	39 33 116	A1
AT	397 430	B
WO	98/ 17 974	A1
JP	S59- 72 013	A
JP	H05- 332 757	A

(74) Vertreter:
Uexküll & Stolberg, 22607, Hamburg, DE(72) Erfinder:
**Großmann, Jan-Erik, 22525, Hamburg, DE;
Jensen, Björn, 22043, Hamburg, DE; Lawitzke,
Peter, 23847, Rethwisch, DE**(54) Bezeichnung: **Längenmessgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Längenmessgerät mit einem Messschieber (4), einer linearen Führung in Form eines Hohlprofils (2), an dem der Messschieber außen verschiebbar gelagert ist, einem innerer Schieber (6), der im Inneren des Hohlprofils verschiebbar gelagert ist, einer Magnetenordnung, die Messschieber und inneren Schieber magnetisch koppelt, so dass der innere Schieber jeder Bewegung des Messschiebers entlang des Hohlprofils folgt, einer Messeinrichtung zur Messung der Position des inneren Schiebers entlang des Hohlprofils und einer im Außenraum des Hohlprofils sichtbaren Anzeige der durch die Messeinrichtung ermittelten Länge nach Maßgabe der gemessenen Position des inneren Schiebers, dadurch gekennzeichnet, dass das Hohlprofil an wenigstens einem Ende mit einer Endwand (40) versehen ist, dass der innere Schieber (6) den Querschnitt des Hohlprofils im Wesentlichen abdeckt, um im Innenraum des Hohlprofils zwischen Endwand und dem inneren Schieber einen akustischen Resonator (30) zu bilden, und dass die Messeinrichtung einen Lautsprecher (22) und ein Mikrofon (20) im Inneren des akustischen Resonators sowie eine damit verbundene Steuer- und Auswerteeinheit (9) aufweist, die dazu eingerichtet ist, den Lautsprecher (22) zur Abgabe eines akustischen Impulses zu veranlassen, mit dem Mikrofon (20) die Impulsantwort des akustischen Resonators (30) aufzunehmen, daraus die Grundfrequenz (f_0) des akustischen Resonators zu bestimmen und aus der Grundfrequenz die Länge des Resonators und damit die Position des inneren Schiebers (6) zu bestimmen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Längenmessgerät mit einem Messschieber, einer linearen Führung in Form eines Hohlprofils, an dem der Messschieber außen verschiebbar gelagert ist, um ihn in Anlage an ein bezüglich seiner Länge zu messendes Objekt bringen zu können, einem inneren Schieber, der im Inneren des Hohlprofils verschiebbar gelagert ist, einer Magnetanordnung, die Messschieber und inneren Schieber magnetisch koppelt, so dass der innere Schieber jeder Bewegung des Messschiebers entlang des Hohlprofils folgt, einer Messeinrichtung zur Messung der Position des inneren Schiebers entlang des Hohlprofils und einer im Außenraum des Hohlprofils sichtbaren Anzeige der durch die Messeinrichtung ermittelten Länge nach Maßgabe der gemessenen Position des inneren Schiebers.

[0002] Die Erfindung ist insbesondere auf Längenmessgeräte zur Messung der Körpergröße von Personen gerichtet. Solche Längenmessgeräte werden auch als Stadiometer bezeichnet. Ein typisches derartiges Längenmessgerät weist einen Messstab auf, der als vertikale lineare Führung für einen Messschieber (Kopfschieber) ausgebildet ist. Der Messstab ist vertikal ausgerichtet und an einer Wand montiert oder an einer Plattform befestigt. Zum Messen der Körpergröße tritt die Person vor den Messstab, wonach der Kopfschieber an dem Messstab heruntergeschoben wird, bis er in Auflage auf den Kopf der zu messenden Person kommt. An dem Messstab ist eine Messskala mit Skaleneinteilungsstrichen vorgesehen. In dem Messschieber ist wiederum eine Leseeinheit vorhanden, die die Skaleneinteilungsstriche beim Verschieben des Messschiebers an dem Messstab registriert und somit die inkrementelle Änderung der Position des Messschiebers erfasst. In den Skaleneinteilungsstrichen kann auch die absolute Höhe eines Skaleneinteilungsstrichs kodiert sein, so dass mit der Leseeinheit die Höhe des Kopfschiebers bestimmt werden kann, die dann auf einer Anzeige an dem Messschieber angezeigt wird.

[0003] Ein anderer Typ eines Längenmessgerätes für die Körpergröße weist ein Winkelstück auf, das von einer die Messung der Körperlänge durchführenden Person gehalten wird. Ein Schenkel des Winkelstücks wird in Auflage auf den Kopf der zu messenden Person gehalten. Von diesem Schenkel in Auflage auf dem Kopf steht ein zweiter Schenkel senkrecht ab, wobei das Winkelstück so gehalten wird, dass der zweite Schenkel vertikal auf den Boden gerichtet verläuft. In dem zweiten Schenkel ist eine Abstandsmesseinrichtung mit einem Ultraschallwandler vorgesehen, die aus der Laufzeit eines ausgesendeten Ultraschallsignals, das am Boden reflektiert wird und zum Ultraschallwandler zurückläuft, die Höhe des in Auflage auf dem Kopf der zu messenden Person befindlichen ersten Schenkels über dem Boden und damit die Körpergröße bestimmt und anzeigt. Ein Nachteil dieses Typs von Längenmessgerät besteht darin, dass Messungenauigkeiten dadurch auftreten können, dass die die Messung durchführende Person das Winkelstück nicht exakt so ausgerichtet hält, dass der zweite Schenkel genau vertikal auf den Boden gerichtet ist. Weiterhin ist nachteilig, dass wechselnde Umgebungsbedingungen (z. B. Staub oder anderer Verunreinigungen in der Luft) oder auf dem Boden liegende Gegenstände die Messung verfälschen können.

[0004] Ein weiterer Typ eines Längenmessgerätes weist eine Plattform, auf die die zu messende Person tritt, und einen vertikal oberhalb der zu messenden Personen fest aufgehängten horizontalen Träger auf. An dem Träger ist eine Abstandsmesseinrichtung auf Basis von Ultraschallwellenlaufzeit angebracht, die auf den Kopf der auf der Plattform stehenden, zu messenden Person gerichtet ist. Die zu messende Person trägt eine Kappe, um eine wohldefinierte Reflexion der Ultraschallwellen von der Oberseite des Kopfes zu gewährleisten. Aus dem Abstand der Oberseite des Kopfes der Person zu der vertikal oberhalb der zu messenden Person fest installierten Abstandsmesseinrichtung lässt sich aus der Differenz der Aufhängungshöhe der Abstandsmesseinrichtung und dem gemessenen Abstand zur Oberseite des Kopfes die Körperlänge der zu messenden Person ableiten. Auch dieses Längenmessgerät ist fehleranfällig, da die Messung durch wechselnde Umgebungsbedingungen und störende Einflüsse in der offenen Messstrecke zwischen dem Ultraschallwandler und der Oberseite des Kopfes der zu messenden Person verfälscht werden kann.

[0005] Aus JP H05-332 757 A ist ein Verfahren zur Messung der Länge von Rohren bekannt. Es werden Schallwellen an einem Ende in das offene Rohr eingekoppelt, die an dem gegenüberliegenden offenen Ende teilweise reflektiert werden. Bei Wellenlängen, bei denen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge der doppelten Länge L des Rohres entspricht, treten stehende Wellen auf. Tritt bei der Wellenlänge λ_m eine stehende Welle auf und das nächste Mal bei der Wellenlänge λ_{m+1} , so ergibt sich dadurch die Länge des Rohres durch den Zusammenhang $L = \lambda_m \cdot \lambda_{m+1} / (2 \cdot (\lambda_m - \lambda_{m+1}))$.

[0006] Aus DE 39 33 116 A1 ist ein Verfahren zum Messen des Flüssigkeitspegels in einem Steigrohr bekannt. Das Steigrohr verläuft senkrecht in den Erdboden und in dessen unteres Ende tritt Grundwasser ein, dessen Pegel gemessen werden soll. Am oberen Ende werden Schallwellen in die obere Öffnung des Steigrohrs

ausgesendet und es wird festgestellt, bei welchen Frequenzen Resonanzen auftreten. Solche Resonanzen treten bei ungeradzahligen Vielfachen der Grundfrequenz f_0 in Form von Obertönen auf. Durch Erfassung aufeinanderfolgender Obertöne stehender Wellen lässt sich somit die Grundfrequenz und damit bei bekannter Schallgeschwindigkeit die zurückgelegte Strecke im Steigrohr bis zum Grundwasserspiegel berechnen. Dieses Messprinzip entspricht dem zuvor beschriebenen.

[0007] JP 559-72 013 A beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Länge eines eingegrabenen Rohres. Durch einen Lautsprecher wird Schall in ein Ende des Rohres eingekoppelt. An beiden Enden des Rohres befinden sich Mikrophone. Die von dem Lautsprecher ausgesandte Schallfrequenz wird variiert, und mit einem Phasendifferenzmessgerät die Phasendifferenz der von den beiden Mikrofonen an den beiden Enden aufgefangenen Schallwellen bestimmt. Resonanzen werden durch Phasendifferenz Null festgestellt und aus aufeinanderfolgenden Resonanzen kann auf Grundlage des gleichen Prinzips wie zuvor beschrieben, die Länge des Rohres bestimmt werden.

[0008] Aus AT 397 430 B ist wiederum ein Verfahren zur Bestimmung des Flüssigkeitsspiegels in einem Rohr bekannt. Am oberen Ende des Rohres wird mit einem Lautsprecher Schall mit bekannter Frequenz eingestrahlt und das reflektierte Schallsignal ebenfalls am oberen Ende des Rohres mit einem Mikrofon gemessen. Die Frequenz des eingestrahlten Schallsignals wird kontinuierlich oder schrittweise geändert und jeweils die Amplitude des reflektierten Signals bestimmt. Auf diese Weise können wiederum aufeinanderfolgende Resonanzen (stehende Wellen) als aufeinanderfolgende Maxima in der Amplitude der reflektierten Signale bestimmt und daraus nach dem gleichen Prinzip wie zuvor beschrieben die zurückgelegte Länge in dem Rohr bis zum Flüssigkeitsspiegel bestimmt werden.

[0009] Aus WO 98/17974 A1 ist ein Längenmessgerät mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 bekannt. Dieses Längenmessgerät ist nicht als Längenmessgerät für Personen ausgebildet. Vielmehr soll die Position eines Messschiebers verfolgt werden. Das Längenmessgerät hat eine lineare Führung in Form eines hohlen Gehäuses, an dem der Messschieber außen verschiebbar gelagert ist. Im Inneren des Gehäuses ist ein innerer Schieber darin verschiebbar gelagert. Eine Magnetenordnung koppelt den Messschieber und den inneren Schieber magnetisch, so dass der innere Schieber jeder Bewegung des Messschiebers entlang der Führung folgt. Der innere Schieber ist in Schleifkontakt mit einem linearen Potentiometer, um ein Spannungssignal bereitzustellen, das proportional zu einer Position des inneren Schiebers ist. Aus dem Potentiometersignal wird die Position des inneren Schiebers und damit die des damit gekoppelten Messschiebers entlang der linearen Führung abgeleitet. Durch die Messung der Position des inneren Schiebers im Inneren des Gehäuses sind zwar gewissen Störfaktoren wie Rauch oder Staub, die nicht in das Innere des Gehäuses eindringen, in ihrem Einfluss auf die Messgenauigkeit reduziert. Das Potentiometer weist Schleifkontakte auf, die Abrieb erzeugen und dadurch mit der Zeit verschleißt. Um dem entgegen zu wirken, müssen hochwertige Materialien eingesetzt werden, was natürlich die Herstellungskosten erhöht. Aber auch unter diesen Bedingungen kann der Verschleiß zu einer Verschlechterung der Messgenauigkeit führen.

[0010] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Längenmessgerät so auszubilden, dass es unabhängig von veränderlichen Umgebungsbedingungen eine hohe Messgenauigkeit bietet und keine verschleißbedingte Beeinträchtigung der Messgenauigkeit zeigt.

[0011] Zur Lösung dieser Ausgabe dient ein Längenmessgerät mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

[0012] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Hohlprofil an wenigstens einem Ende mit einer Endwand versehen ist. Ferner deckt der innere Schieber den Querschnitt des Hohlprofils im Wesentlichen ab, so dass im Innenraum des Hohlprofils zwischen der Endwand und dem inneren Schieber ein geschlossener Hohlraum gebildet ist, der als akustischer Resonator dienen kann. Die Messeinrichtung weist einen Lautsprecher und ein Mikrofon im Inneren des akustischen Resonators zwischen der Endwand und dem inneren Schieber auf. Eine mit dem Mikrofon und dem Lautsprecher verbundene Steuer- und Auswerteeinheit ist dazu eingerichtet, den Lautsprecher zur Abgabe eines akustischen Impulses zu veranlassen und dann mit dem Mikrofon die Impulsantwort des akustischen Resonators aufzunehmen. Die Steuer- und Auswerteeinheit ist weiter dazu eingerichtet, aus der Impulsantwort des akustischen Resonators dessen Grundfrequenz zu bestimmen und aus der Grundfrequenz die Länge des Resonators und damit die Position des inneren Schiebers entlang des Hohlprofils zu bestimmen. Unter Grundfrequenz wird hier die niedrigste Eigenfrequenz verstanden, entsprechend einer stehenden Welle, deren Wellenlänge doppelt so lang wie der akustische Resonator ist.

[0013] Der innere Schieber deckt den Querschnitt im Wesentlichen ab, um auftreffende Schallwellen effektiv zu reflektieren, kann aber auch eine kleine Öffnung haben, z. B. um bei seiner Bewegung Luft durchzulassen.

[0014] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die Steuer- und Auswerteeinheit dazu eingerichtet, die aufgenommene Impulsantwort des akustischen Resonators durch eine Fourier-Transformation in ein Frequenzspektrum zu transformieren und in dem Frequenzspektrum die Grundfrequenz zu bestimmten. Vorzugsweise wird die Fourier-Transformation in Form einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) oder einer schnellen Fourier-Transformation (FFT) durchgeführt.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuer- und Auswerteeinheit dazu eingerichtet, bei der Bestimmung der Grundfrequenz in dem Frequenzspektrum den Abstand von zwei aufeinanderfolgenden Maxima zu bestimmen. Der Abstand kann dazu verwendet werden, um zu jedem Maximum im Frequenzspektrum festzustellen, um die wievielte Oberwelle es sich handelt. Mit dieser Information kann dann aus jedem Maximum eine Grundfrequenz bestimmt werden, und diese dann zu einer Grundfrequenz gemittelt werden. Es können auch mehrere Abstände aufeinanderfolgender Maxima gemittelt werden, um die Grundfrequenz zu bestimmen.

[0016] Vorzugsweise ist die Steuer- und Auswerteeinheit dazu eingerichtet, die Bandbreite des über das Mikrophon erzeugten akustischen Impulses so zu wählen, dass die kleinste enthaltene Wellenlänge größer als der doppelte Durchmesser des Hohlprofils ist.

[0017] Dadurch wird gewährleistet, dass sich der Schall in dem Hohlprofil als ebene Welle ausbreitet. Bei kürzeren Wellenlängen könnte der Schall auch zwischen den Wänden des Hohlprofils reflektiert werden und damit auch weitere Moden anregen, deren Schallgeschwindigkeit in Längsrichtung des Hohlprofils kleiner als die Schallgeschwindigkeit einer ebenen Welle sind; diese würden das Messverfahren zwar nicht verfälschend beeinflussen, da sie bei der Fourier-Transformation ja getrennt würden und dann nur nicht zur Auswertung herangezogen werden sollten. Die Schallenergie solcher eventueller weiteren Moden wäre dann aber nicht für die Messung nutzbar und somit sinnlos erzeugt, weswegen die Anregung einer reinen ebenen Welle bevorzugt ist.

[0018] In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Hohlprofil auch am anderen Ende mit einer zweiten Endwand versehen, um im Innenraum des Hohlprofils zwischen der zweiten Endwand und dem inneren Schieber einen zweiten akustischen Resonator zu bilden. In diesem zweiten akustischen Resonator sind ein zweiter Lautsprecher und ein zweites Mikrophon angeordnet. Die Steuer- und Auswerteeinheit ist weiter dazu eingerichtet, den zweiten Lautsprecher zur Abgabe eines akustischen Impulses zu veranlassen, mit dem zweiten Mikrophon die Impulsantwort des zweiten akustischen Resonators aufzunehmen, daraus die Grundfrequenz des zweiten akustischen Resonators zu bestimmen und aus der Grundfrequenz die Länge des zweiten Resonators und damit die Position des inneren Schiebers entlang des Hohlprofils zu bestimmen. Bei einer derartigen Längenmessvorrichtung kann dann die Steuer- und Auswerteeinheit vorteilhaft weiter dazu eingerichtet sein, mithilfe der bestimmten Längen des akustischen Resonators, des zweiten akustischen Resonators, der bekannten Länge des Hohlprofils zwischen der Endwand und der zweiten Endwand und der bekannten axialen Länge des inneren Schiebers eine Kalibration der Längenbestimmungen durchführen zu können.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Magnetenordnung wenigstens einen Permanentmagneten an dem Messschieber und einen Permanentmagneten an dem inneren Schieber auf, die so angeordnet sind, dass entgegengesetzte Pole der beiden Permanentmagnete aufeinander zu weisend zueinander ausgerichtet sind. Vorzugsweise sind jeweils vier Permanentmagnete an dem inneren Schieber und an dem Messschieber so zueinander angeordnet, dass jeweils ein Paar eines Permanentmagneten an dem Messschieber und an dem inneren Schieber mit entgegengesetzten Polen aufeinander zu weisend zueinander ausgerichtet ist. Alternativ weist die Magnetenordnung nur einen Permanentmagneten an einem von Messschieber und innerem Schieber auf, wobei dann die andere Komponente von Messschieber und innerem Schieber ferro- oder paramagnetisches Material enthält, so dass Messschieber und innerer Schieber magnetisch gekoppelt sind.

[0020] Die äußeren Abmessungen des inneren Schiebers sind vorzugsweise an die inneren Abmessungen des Hohlprofils angepasst, so dass der innere Schieber möglichst spielfrei, aber gleitfähig in dem Hohlprofil sitzt. Entsprechend sind die inneren Abmessungen des Messschiebers so an die äußeren Abmessungen des Hohlprofils angepasst, dass der Messschieber mit möglichst geringem Spiel, aber gleitfähig außen auf dem Hohlprofil gelagert ist.

[0021] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0022] **Fig. 1** eine schematische Ansicht eines Längenmessgerätes zeigt,

[0023] **Fig. 2** eine Explosionsdarstellung von Teilen des Längenmessgerätes im Bereich des Messschiebers im Längsschnitt zeigt,

[0024] **Fig. 3** eine Querschnittsansicht des Längenmessgerätes im Bereich von innerem Schieber und Messschieber zeigt, wobei die Schieberkomponenten selbst nicht dargestellt sind, sondern lediglich die in ihnen angeordneten Permanentmagnete,

[0025] **Fig. 4** eine schematische Ansicht des Hohlprofils einer Längenmessvorrichtung im Längsschnitt zeigt,

[0026] **Fig. 5** den zeitlichen Amplitudenverlauf eines den Lautsprecher zur Abgabe eines akustischen Impulses anregenden Signals als Funktion der Zeit zeigt,

[0027] **Fig. 6** das aufgenommene Mikrophonsignal der Impulsantwort des akustischen Resonators in dem Hohlprofil zeigt,

[0028] **Fig. 7** die Impulsantwort des akustischen Resonators aus **Fig. 6** transformiert in ein Frequenzspektrum zeigt und

[0029] **Fig. 8** eine schematische Ansicht des Hohlprofils im Längsschnitt einer weiteren Ausführungsform für eine Längenmessvorrichtung zeigt.

[0030] **Fig. 1** zeigt eine Seitenansicht eines Längenmessgerätes, das zum Beispiel an einer Wand befestigt sein kann. Das Längenmessgerät weist ein Hohlprofil **2** als lineare Führung auf, auf der außen verschiebbar ein Messschieber **4** gelagert ist, der eine Kopfplatte **3** trägt. Der Messschieber **4** wird soweit abgesenkt, bis die Kopfplatte **3** oben auf dem Kopf der zu messenden Person aufliegt.

[0031] In dem Hohlprofil **2**, das in diesem Ausführungsbeispiel im Querschnitt kreisringförmig ist, ist ein innerer Schieber **6** verschiebbar gelagert (siehe **Fig. 2**). Der innere Schieber **6** ist im Querschnitt scheibenförmig oder, wie hier dargestellt, mit einer geschlossenen unteren Endwand versehen, so dass der innere Schieber **6** den Querschnitt des Hohlprofils **2** abdeckt. Die äußeren Abmessungen des inneren Schiebers **6** sind an die inneren Abmessungen des Hohlprofils **2** angepasst, so dass der innere Schieber **6** mit möglichst geringem Spiel, aber gleitfähig im Innenraum des Hohlprofils **2** sitzt. Entsprechend sind die inneren Abmessungen des Messschiebers **4** an die äußeren Abmessungen des Hohlprofils **2** angepasst, so dass der Messschieber **4** mit möglichst geringem Spiel, aber gleitfähig auf dem äußeren Umfang des Hohlprofils **2** gelagert ist.

[0032] **Fig. 3** zeigt einen Querschnitt durch das Hohlprofil **2** im Bereich des Messschiebers **4** und des inneren Schiebers **6**, wobei die Messschieber- und die innere Schieberkomponente selbst nicht dargestellt sind, sondern nur die Magnetanordnung aus mehreren Permanentmagneten, die in dem inneren Schieber und dem Messschieber eingebracht sind. In dem inneren Schieber **6** sind um den Umfang herum verteilt vier Permanentmagnete **7** eingebracht, die in einem Abstand von 90° zueinander um den Umfang verteilt sind. Entsprechend sind in dem Messschieber **4** ebenfalls vier Permanentmagnete **5** eingebracht, die in entsprechenden Abständen von 90° um den äußeren Messschieber verteilt angeordnet sind. Dabei ist die Anordnung der Permanentmagnete so, dass einander gegenüberliegende Permanentmagnete **5** und **7** des Messschiebers **4** und des inneren Schiebers **6** mit entgegen gesetzten Polen aufeinander zu ausgerichtet sind. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird dies dadurch erreicht, dass die Permanentmagnete **7** des inneren Schiebers mit einem magnetischen Pol, in diesem Beispiel mit dem Nordpol, nach außen ausgerichtet sind, während die Permanentmagnete **5** ebenfalls mit diesem Magnetenpol, hier dem Nordpol, nach außen gerichtet angeordnet sind, so dass sich jeweils ein Paar von Permanentmagneten **5** und **7** mit entgegen gesetzten Polen aufeinander zu gerichtet gegenüberliegt. Auf diese Weise sind der Messschieber **4** und der innere Schieber **6** magnetisch miteinander gekoppelt. Dadurch folgt der innere Schieber **6** jeder Bewegung des Messschiebers **4** entlang des Hohlprofils **2**. In **Fig. 2** ist jeweils nur einer der Permanentmagnete **5** und **7** gezeigt.

[0033] Grundsätzlich können natürlich auch mehr oder weniger als vier Permanentmagnete pro Schieberkomponente vorgesehen sein, z. B. nur jeweils ein Permanentmagnet in dem Messschieber **4** und dem inneren Schieber **6**. Es ist sogar möglich, dass überhaupt nur ein Magnet entweder in dem inneren Schieber **6** oder in

dem Messschieber **4** vorgesehen ist und die andere Schieberkomponente ohne eigenen Magneten ferro- oder paramagnetisches Material enthält, so dass eine magnetische Anziehung zwischen dem inneren Schieber **6** und dem Messschieber **4** bewirkt wird. Der oder die Magnete der Magnetenordnung sind vorzugsweise Permanentmagnete, grundsätzlich sind aber auch Elektromagnete einsetzbar.

[0034] **Fig. 4** zeigt eine schematische Längsschnittsansicht eines Hohlprofils **2** einer Längenmessvorrichtung. In diesem Ausführungsbeispiel ist der innere Schieber **6** einfach scheibenförmig ausgebildet und deckt den Querschnitt des Hohlprofils **2** ab. Das Hohlprofil **2** ist am unteren Ende mit einer geschlossenen Endwand **40** versehen, so dass zwischen der Endwand **40** und dem inneren Schieber **6** ein geschlossener Raum in dem Hohlprofil gebildet ist, der als akustischer Resonator betrachtet werden kann. Zu der Messeinrichtung zur Bestimmung der Position des inneren Schiebers **6** entlang der Längsrichtung des Hohlprofils **2** gehören ein Lautsprecher **22** und ein Mikrophon **20**, die im Inneren des akustischen Resonators **30** angeordnet sind. Der Lautsprecher **22** und das Mikrophon **20** sind mit einer Steuer- und Auswerteeinheit **9** verbunden, die hier im Außenraum des Hohlprofils angeordnet gezeigt ist, die aber auch im Innenraum des Hohlprofils untergebracht sein kann. Die Steuer- und Auswerteeinheit **9** ist eine programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung, die dazu eingerichtet ist, den Lautsprecher **22** zur Abgabe eines akustischen Impulses anzuregen und die resultierende Impulsantwort des akustischen Resonators **30** durch Aufnahme des Signals des Mikrophons **20** aufzunehmen. Die Steuer- und Auswerteeinheit **9** ist weiter dazu eingerichtet, aus der akustischen Impulsantwort die Grundfrequenz f_0 des Resonators zu bestimmen. Diese Grundfrequenz f_0 besitzt eine Wellenlänge λ_0 , die der zweifachen Länge des akustischen Resonators entspricht (die einfachste stehende Welle in dem akustischen Resonator **30** ist eine Halbwelle mit jeweils einem Geschwindigkeitsknoten an der Endwand **40** und an der reflektierenden Wand des inneren Schiebers **6**). Mit Kenntnis der Schallgeschwindigkeit c und der Grundfrequenz f_0 lässt sich somit die Länge des Resonators bestimmen:

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_0}$$

[0035] Bei einer breitbandigen Anregung durch einen akustischen Impuls werden im akustischen Resonator **30** neben der Grundfrequenz auch höhere Moden angeregt, deren Wellenlängen ganzzahlige Vielfache von $\lambda_0/2$ sind. Diese Moden können, wie später gezeigt wird, für das Messverfahren zusätzlich von Nutzen sein.

[0036] **Fig. 5** zeigt die Zeitabhängigkeit eines von der Steuer- und Auswerteeinheit **9** erzeugten Anregungssignals für den Lautsprecher **22** zur Abgabe eines akustischen Impulses. Dieses Signal besteht vorzugsweise aus einer positiven und negativen Halbwelle mit im Wesentlichen Rechteckform. Das Anregungssignal hat keine ideale Rechteckform (die im Prinzip ein nach oben unbegrenztes Frequenzspektrum hätte), da die Bandbreite des Impulses begrenzt wird. Die Bandbreite des Impulses sollte so gewählt werden, dass die kleinste enthaltene Wellenlänge größer als der doppelte Durchmesser des Hohlprofils ist. Damit wird, wie oben bereits erwähnt, gewährleistet, dass sich der Schall im Hohlprofil als ebene Welle ausbreitet. Die zeitliche Länge einer Halbwelle des Anregungssignals sollte größer sein als die Periodendauer des Signals mit der niedrigsten Frequenz, das ausgewertet werden soll.

[0037] **Fig. 6** zeigt den zeitlichen Verlauf der mit dem Mikrophon **20** aufgenommenen Impulsantwort des akustischen Resonators. Um daraus die Grundfrequenz f_0 des akustischen Resonators zu bestimmen, ist es zweckmäßig, die akustische Impulsantwort aus **Fig. 6** in ein Frequenzspektrum zu transformieren, um die Grundfrequenz f_0 in dem Frequenzspektrum zu ermitteln. Die Transformation in ein Frequenzspektrum erfolgt durch eine Fourier-Transformation. Mögliche Verfahren der digitalen Signalverarbeitung zur Fourier-Transformation sind die beispielsweise diskrete Fourier-Transformation (DFT) oder die schnelle Fourier-Transformation (FFT), zu deren Ausführung die Steuer- und Auswerteeinheit **9** eingerichtet sein kann.

[0038] **Fig. 7** zeigt nun einen Ausschnitt des Frequenzspektrums der Impulsantwort. Darin sind lokale Maxima, die durch die angeregten Eigenmoden entstehen, klar zu erkennen. Diese treten bei ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz f_0 auf. Die Grundfrequenz kann somit auch über die Abstände benachbarter Moden im Frequenzspektrum ermittelt werden. Diese Verfahrensweise hat den Vorteil, dass die untere Grenzfrequenz des verwendeten Lautsprechers größer gewählt werden kann als die eigentliche zu ermittelnde Grundfrequenz f_0 des akustischen Resonators. Die untere Grenzfrequenz eines Lautsprechers wird unter anderem durch die Größe seiner Membran bestimmt. Je größer diese ist, umso tiefer kann die Grenzfrequenz liegen. Da der Lautsprecher im Inneren des Hohlprofils platziert ist, wird ein möglichst kleiner Membrandurchmesser angestrebt. Dadurch kann es geschehen, dass die einfachste stehende Welle in dem akustischen Resonator mit der vorliegenden Verfahrensweise nicht gut beobachtbar ist, da der Lautsprecher die dafür erforderliche große Wellenlänge nicht ausreichend erzeugen kann. Dieser Effekt ist auch in **Fig. 7** zu erkennen, aus der sich ergibt,

dass die Grundfrequenz etwas mehr als 300 Hz beträgt (Abstände der aufeinanderfolgenden Maxima). Bei etwas mehr als 300 Hz ist in dem in **Fig. 7** gezeigten Frequenzspektrum jedoch aus dem angegebenen Grund bei der Grundfrequenz von etwas mehr als 300 Hz kein nutzbares Maximum erkennbar.

[0039] Neben der exakten Ermittlung der Grundfrequenz f_0 muss für die Steuer- und Auswerteeinheit die Schallgeschwindigkeit gut bekannt sein. Da die Schallgeschwindigkeit eine Temperaturabhängigkeit besitzt, empfiehlt es sich, die Temperatur innerhalb des Resonators zu messen und damit die aktuelle Schallgeschwindigkeit zu berechnen. Dies kann beispielsweise mit der Gleichung

$$c = 331,5 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{1 + \frac{g}{273,15^\circ C}}$$

erfolgen.

[0040] In **Fig. 8** ist eine weitere Ausführungsform dargestellt, mit der die Genauigkeit der Messung der Messeinrichtung verbessert werden kann. In **Fig. 8** ist wie in **Fig. 4** eine schematische Ansicht des Hohlprofils im Längsschnitt der Längenmessvorrichtung gezeigt. Wie in der Ausführungsform nach **Fig. 6** ist in dem Hohlprofil **2** ein akustischer Resonator **30** ausgebildet, in dem sich ein Lautsprecher **22** und ein Mikrofon **20** befinden (die mit diesen verbundene Steuer- und Auswerteeinheit ist hier zur Vereinfachung der Darstellung fortgelassen). Darüber hinaus ist in dem Hohlprofil zwischen der gegenüberliegenden zweiten Endwand **42** des Hohlprofils und dem inneren Schieber **6** ein zweiter akustischer Resonator **32** ausgebildet. Darin befinden sich ein zweiter Lautsprecher **26** und ein zweites Mikrofon **24**, die ebenfalls mit der Steuer- und Auswerteeinheit verbunden sind. Durch diese Anordnung kann die Längenmessung kalibriert werden, da die Länge des Hohlprofils zwischen den Endwänden **40** und **42** und die axiale Länge des inneren Schiebers **6** bekannt sind. Unter der Voraussetzung, dass die Schallgeschwindigkeit in dem ersten akustischen Resonator **30** und in dem zweiten akustischen Resonator **32** gleich ist (was voraussetzt, dass die Temperatur in den beiden akustischen Resonatoren gleich ist), kann die Schallgeschwindigkeit durch folgende Gleichungen bestimmt werden:

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_0 - L_3 = L_1 + L_2 = \frac{c}{2 \cdot f_{01}} + \frac{c}{2 \cdot f_{02}} = \frac{c}{2} \left(\frac{1}{f_{01}} + \frac{1}{f_{02}} \right)$$

$$c = \frac{2 \cdot (L_0 - L_3)}{\left(\frac{1}{f_{01}} + \frac{1}{f_{02}} \right)} = 2 \cdot (L_0 - L_3) \cdot \frac{(f_{01} \cdot f_{02})}{f_{01} + f_{02}}$$

mit

L_0	Länge des Hohlprofils zwischen den Endwänden 40 , 42
L_1	Länge des akustischen Resonators 30
L_2	Länge des oberen, zweiten Resonators 32
L_3	axiale Länge des inneren Schiebers 6 in Längsrichtung des Hohlprofils
f_{01}	Grundfrequenz des Resonators 30
f_{02}	Grundfrequenz des zweiten Resonators 32

[0041] Die so bestimmte Schallgeschwindigkeit kann dann verwendet werden, um zum Beispiel die Länge des einen akustischen Resonators **30** zu bestimmen:

$$L_1 = \frac{c}{2 \cdot f_{01}}$$

Bezugszeichenliste

- 2 Hohlprofil
 3 Kopfplatte
 4 Messschieber
 5 Permanentmagnete des Messschiebers
 6 Innerer Schieber
 7 Permanentmagnete des inneren Schiebers
 9 Steuer- und Auswerteeinheit
 20 Mikrophon
 22 Lautsprecher
 24 zweites Mikrophon
 26 zweiter Lautsprecher
 30 Akustischer Resonator
 32 Zweiter akustischer Resonator
 40 Endwand
 42 Zweite Endwand

Patentansprüche

1. Längenmessgerät mit einem Messschieber (4), einer linearen Führung in Form eines Hohlprofils (2), an dem der Messschieber (4) außen verschiebbar gelagert ist, um ihn in Anlage an ein bezüglich seiner Länge zu messendes Objekt bringen zu können, einem innerer Schieber (6), der im Inneren des Hohlprofils (2) verschiebbar gelagert ist, einer Magnetenordnung (5, 7), die Messschieber (4) und inneren Schieber (6) magnetisch koppelt, so dass der innere Schieber (6) jeder Bewegung des Messschiebers (4) entlang des Hohlprofils (2) folgt, einer Messeinrichtung zur Messung der Position des inneren Schiebers (6) entlang des Hohlprofils (2) und einer im Außenraum des Hohlprofils sichtbaren Anzeige der durch die Messeinrichtung ermittelten Länge nach Maßgabe der gemessenen Position des inneren Schiebers (6), **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hohlprofil (2) an wenigstens einem Ende mit einer Endwand (40) versehen ist, dass der innere Schieber (6) den Querschnitt des Hohlprofils (2) im Wesentlichen abdeckt, um im Innenraum des Hohlprofils (2) zwischen Endwand (40) und dem inneren Schieber (6) einen akustischen Resonator (30) zu bilden, und dass die Messeinrichtung einen Lautsprecher (22) und ein Mikrophon (20) im Inneren des akustischen Resonators (30) sowie eine damit verbundene Steuer- und Auswerteeinheit (9) aufweist, die dazu eingerichtet ist, den Lautsprecher (22) zur Abgabe eines akustischen Impulses zu veranlassen, mit dem Mikrophon (20) die Impulsantwort des akustischen Resonators (30) aufzunehmen, daraus die Grundfrequenz (f_0) des akustischen Resonators (30) zu bestimmen und aus der Grundfrequenz die Länge des Resonators (30) und damit die Position des inneren Schiebers (6) entlang des Hohlprofils (2) zu bestimmen.

2. Längenmessgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, die gemessene Impulsantwort des akustischen Resonators (30) durch eine Fourier-Transformation in ein Frequenzspektrum zu transformieren und in dem Frequenzspektrum die Grundfrequenz zu bestimmen.

3. Längenmessgerät nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, zur Fourier-Transformation eine diskrete Fourier-Transformation (DFT) oder eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) durchzuführen.

4. Längenmessgerät nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, im Frequenzspektrum des akustischen Resonators (30) den Abstand zweier aufeinanderfolgender Maxima als Schätzwert für die Grundfrequenz zu bestimmen, zu mehreren Maxima mit dem Schätzwert festzustellen, um die wievielte Oberwelle es sich jeweils handelt, daraus zu jedem der untersuchten Maxima eine Grundfrequenz zu bestimmen und diese zu einem Mittelwert zusammenzufassen.

5. Längenmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, die Bandbreite des über das Mikrophon (20) erzeugten akustischen Impulses so zu wählen, dass die kleinste enthaltene Wellenlänge größer als der doppelte Durchmesser des Hohlprofils (2) ist.

6. Längenmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hohlprofil (2) auch am anderen Ende mit einer zweiten Endwand (42) versehen ist, um im Innenraum des Hohlpro-

fils zwischen der zweiten Endwand (42) und dem inneren Schieber (6) einen zweiten akustischen Resonator (32) zu bilden, und dass die Messeinrichtung einen zweiten Lautsprecher (26) und ein zweites Mikrofon (24) im Inneren des zweiten akustischen Resonators (32) aufweist und dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, den zweiten Lautsprecher (26) zur Abgabe einen akustischen Impulses zu veranlassen, mit dem zweiten Mikrofon (24) die Impulsantwort des zweiten akustischen Resonators (32) aufzunehmen, daraus die Grundfrequenz des zweiten akustischen Resonators (32) zu bestimmen und aus der Grundfrequenz die Länge des zweiten Resonators (32) zu bestimmen.

7. Längemessgerät nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, mithilfe der bestimmten Längen des akustischen Resonators (30), des zweiten akustischen Resonators (32), der bekannten Länge des Hohlprofils (2) zwischen der Endwand (40) und der zweiten Endwand (42) und der bekannten axialen Länge des inneren Schiebers (6) eine Kalibrierung der Längenbestimmungen durchzuführen.

8. Längemessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetanordnung (5, 7) wenigstens einen Permanentmagneten an dem Messschieber (4) und einen Permanentmagneten an dem inneren Schieber (6) aufweist, die so angeordnet sind, dass entgegengesetzte Pole der beiden Permanentmagnete aufeinander zu weisend zueinander ausgerichtet sind.

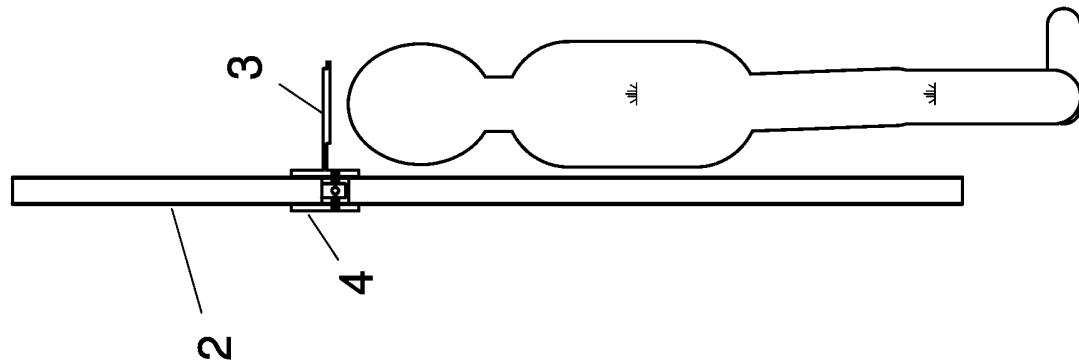
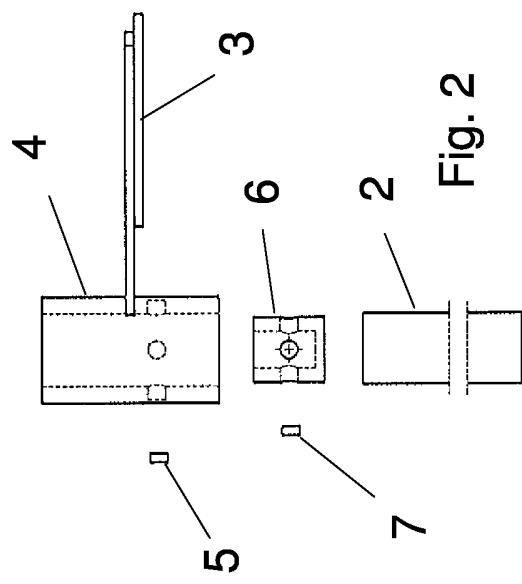
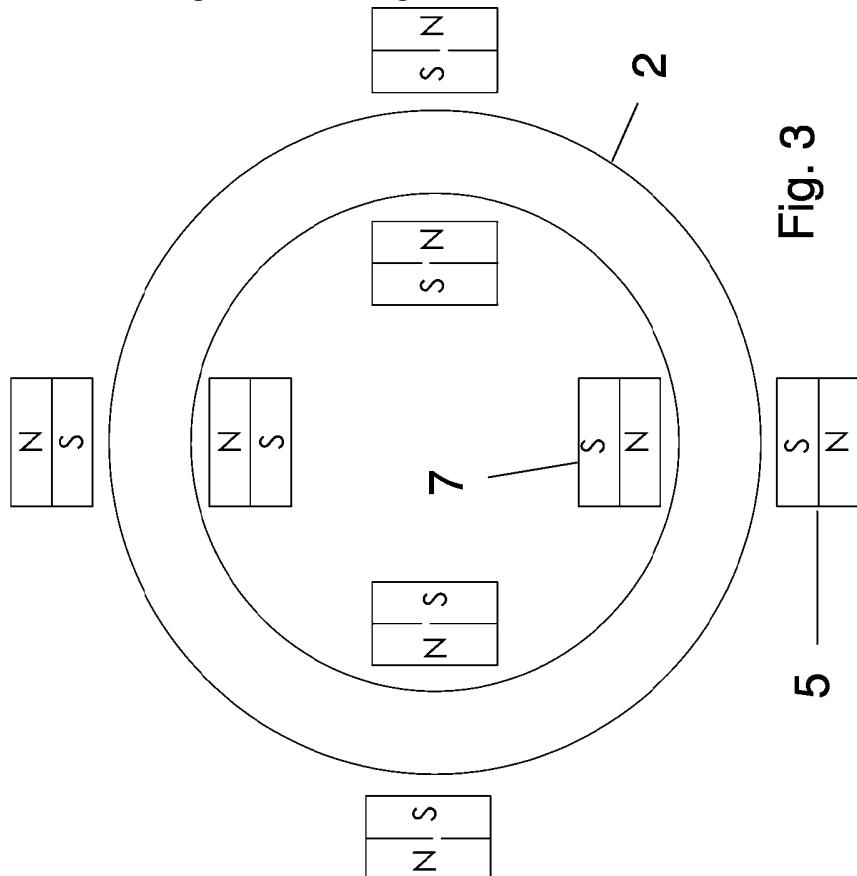
9. Längemessgerät nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils vier Permanentmagnete an dem inneren Schieber (6) und an dem Messschieber (4) so zueinander angeordnet sind, dass jeweils ein Paar eines Permanentmagneten an dem Messschieber (4) und an dem inneren Schieber (6) mit entgegengesetzten Polen aufeinander zu weisend zueinander ausgerichtet sind.

10. Längemessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetanordnung (5, 7) einen Permanentmagneten an einem von Messschieber und innerem Schieber aufweist und dass der andere von Messschieber und innerem Schieber ferro- oder paramagnetisches Material enthält.

11. Längemessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung weiter mit einem Temperatursensor im Inneren des Hohlprofils verbunden ist und dass die Steuer- und Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, in die Bestimmung der Länge des akustischen Resonators (30) aus dessen Grundfrequenz eine temperaturkorrigierte Schallgeschwindigkeit eingehen zu lassen.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



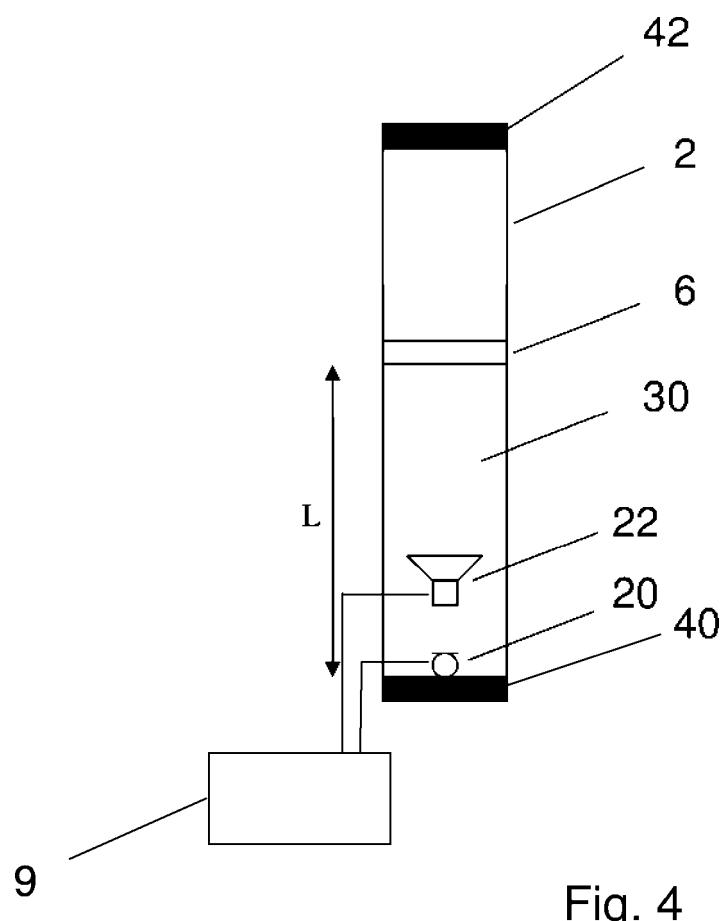


Fig. 4

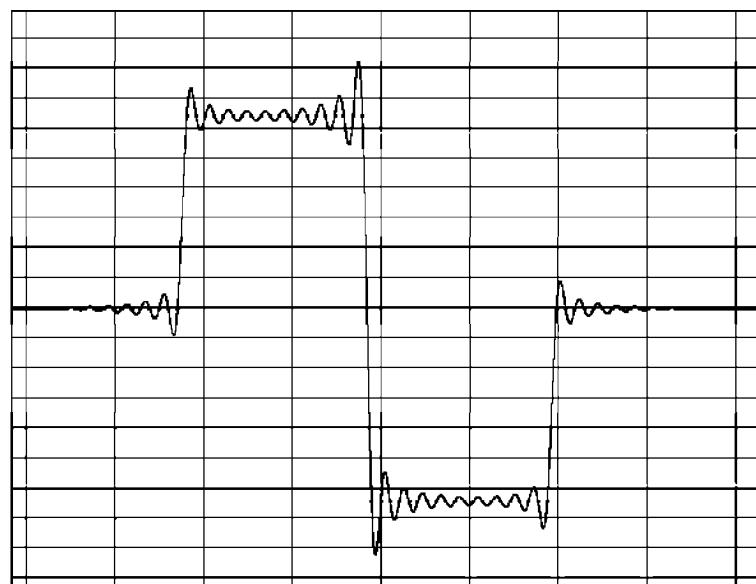


Fig. 5

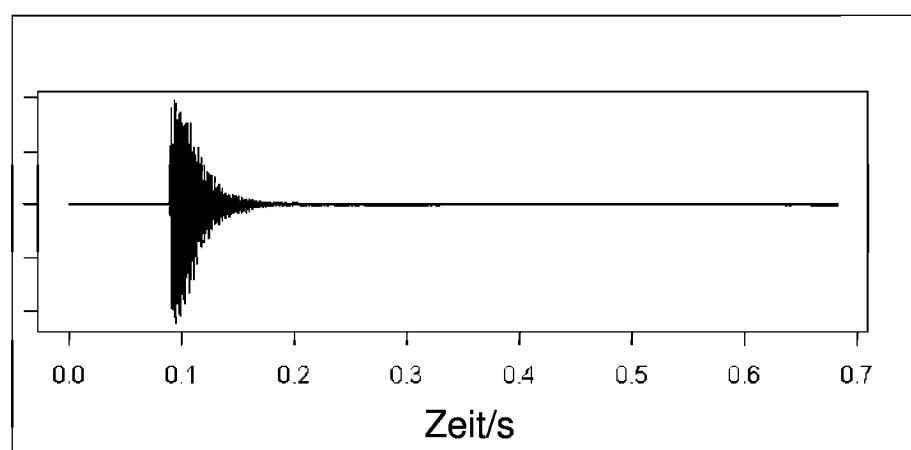


Fig. 6

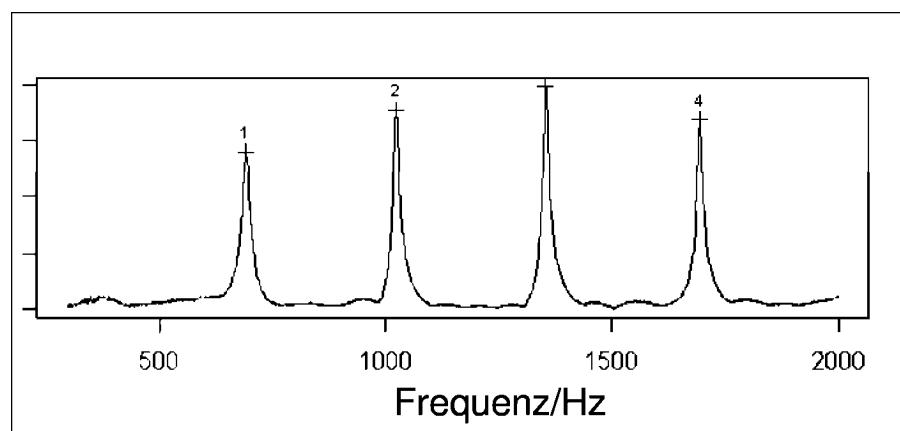


Fig. 7

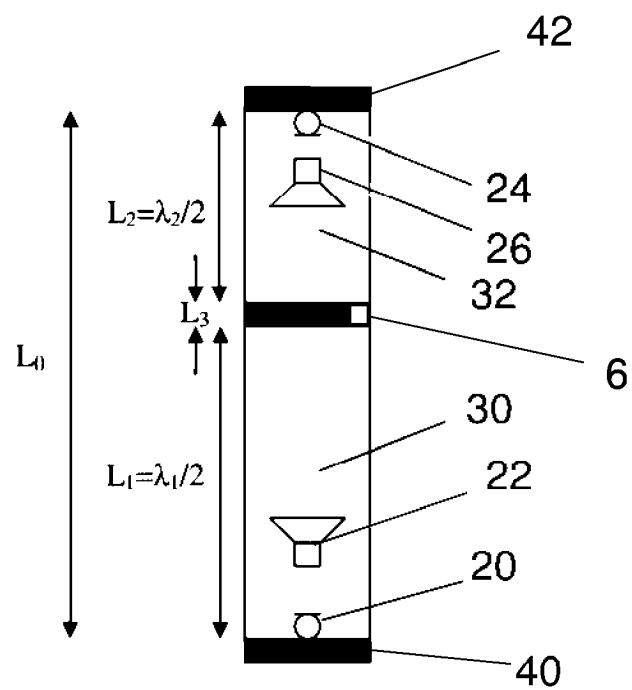


Fig. 8