



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM



⑪ **CH 675301 A5**

⑤① Int. Cl.⁵: **G 01 N** 9/00
G 01 N 29/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 1169/88

㉔ Anmeldungsdatum: 28.03.1988

㉔ Patent erteilt: 14.09.1990

㉔ Patentschrift
veröffentlicht: 14.09.1990

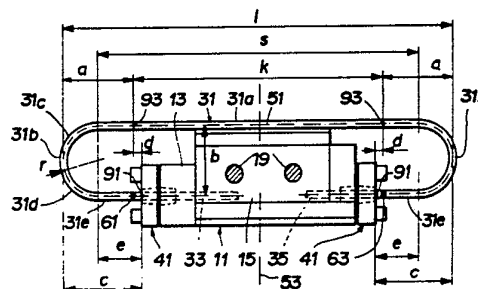
㉔ Inhaber:
Klaus-Peter Schladt, Walluf 2 (DE)
Erich Busch, Koblenz-Rübenach (DE)

㉔ Erfinder:
Hatschek, Rudolf A., Dr., Fribourg

㉔ Vertreter:
Patentanwaltsbüro Eder AG, Basel

㉔ **Einrichtung zur Ermittlung der Dichte.**

㉔ Die Einrichtung weist einen mechanischen, aus einem Rohr bestehenden Schwinger (31) auf, der bei seinen Enden fest an einen Träger (11) gehalten ist und in Wirkverbindung mit mindestens einem Schwingungs-Detektor (61) sowie mindestens einem Schwingungs-Erreger (63) steht. Der Schwinger (31) ist mindestens zum Teil C-förmig und besitzt einen geraden Mittelabschnitt (31a), der beiden-ends durch mindestens teilweise gekrümmte und/oder abgewinkelte Verbindungsabschnitte (31b) mit geraden, zum Mittelabschnitt (31a) parallelen Abschnitten (31e) verbunden ist. Der Schwinger (31) wird zum Ermitteln der Dichte eines in seinem Hohlraum vorhandenen Materials derart zum Schwingen gebracht, dass in seinem Mittelabschnitt (31a) zwei Schwingungs-Knoten (93) entstehen. Die Einrichtung ermöglicht, bei kostengünstiger Herstellbarkeit eine hohe Messgenauigkeit zu erzielen.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Ermittlung der Dichte gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Einrichtung soll die Ermittlung der Dichte eines flie遝sfähigen, fluidartigen Materials, d.h. zumindest eines zum Teil gasförmigen und/oder flüssigen und/oder pastösen Materials ermöglichen. Das Material kann beispielsweise vollständig gasförmig oder flüssig sein oder aus einer Dispersion bestehen und beispielsweise eine Flüssigkeit aufweisen, in der Feststoff-Teilchen suspendiert und/oder eine andere Flüssigkeit und/oder mindestens ein Gas emulgiert ist, und/oder mehr oder weniger ausgeprägt pastös sein. Im übrigen soll die Einrichtung die Ermittlung der Dichte bei der Analyse einzelne Proben sowie auch eines kontinuierlich oder intermittierend durch den Schwinger hindurch geleiteten Materials ermöglichen. Wichtige Verwendungsmöglichkeiten sind zum Beispiel bei der Lebensmittelherstellung und/oder bei chemischen und/oder biotechnischen Verfahren, wobei im letzteren Fall zum Beispiel die Dichten von Dispersionen gemessen werden können, die ein flüssiges Dispersens, in diesem dispergierte Mikroorganismen sowie meistens noch mindestens ein gelöstes und/oder in Form von Blasen vorhandenes Gas enthalten.

In der DE-A 3 609 489 ist anhand der Figuren 1 bis 6 eine Einrichtung mit einem aus einem U-förmigen Rohrstück bestehenden Schwinger, einem Schwingungs-Detektor, einem Schwingungs-Erreger und einer Elektronikvorrichtung beschrieben. Beim Ermitteln einer Dichte führt der Schwinger Biegeschwingungen mit einer Grund-Resonanzfrequenz aus, deren Wert ein Mass für die Dichte gibt. Bei konkreten Realisierungen solcher Einrichtungen ist der Schwinger aus einem Stahlrohr mit 2 mm Aussendurchmesser und 1,8 mm Innendurchmesser gebildet. Das Volumen des Hohlraums des Schwingers und damit das Volumen des zum Ermitteln der Dichte eines Materials mitschwingenden Materialvolumens beträgt bei diesen Schwingern ungefähr 0,3 bis 0,6 cm³. Im vorgesehenen Dichtebereich ergeben sich dann, wie in der zitierten Publikation angegeben, Grund-Resonanzfrequenzen mit Werten von etwa 350 bis 500 Hz. Derartige Einrichtungen haben sich in der Praxis an sich bereits gut bewährt. Es wäre jedoch wünschenswert, die Stabilität einer sich bei einer bestimmten Dichte ergebenden Schwingungsfrequenz noch zu verbessern und die sich bei bestimmten Dichteänderungen ergebenden Frequenzänderungen noch zu vergrössern, um dadurch beim Ermitteln der Dichte die Auflösung und/oder Messgenauigkeit zu erhöhen oder die gleiche Auflösung und/oder Messgenauigkeit bei geringeren Anforderungen an die Herstellungstoleranzen der mechanischen Teile sowie an die Auflösung und Stabilität der Elektronikvorrichtung erreichen zu können.

In der DE-A 3 609 489 ist in der Figur 8 auch noch eine Einrichtungsvariante gezeichnet, deren Schwinger zwei im wesentlichen U-förmige, aber ungleich lange, vertikale Schenkel besitzende Endabschnitte und einen deren kürzere Schenkel mitein-

ander verbindenden, geraden, horizontalen Mittelabschnitt aufweist, wobei jedes «U» eine zum Mittelabschnitt rechtwinklige Ebene aufspannt. Beim Messen einer Dichte schwingen die beiden Endabschnitte analog wie die Zinken einer Stimmgabel zueinander hin und voneinander weg und also entlang einer zu ihrem U-Schenkel und dem Mittelabschnitt parallelen Ebene. Die beiden als Stimmgabelzinken dienenden Endabschnitte werden zwar durch den geraden Mittelabschnitt schwingungsmässig gekoppelt, wobei aber der letztere praktisch ruhend bleibt und höchstens ganz geringe, longitudinale und/oder auf- und abwärts, d.h. in der Längsrichtung der Stimmgabelzinken stattfindende Biegeschwingungen ausführt. Die Schwingungsfrequenz eines solchen stimmgabelartigen Schwingers ist dabei praktisch ausschliesslich durch die als Stimmgabelzinken dienenden Endabschnitte bestimmt und also zumindest praktisch unabhängig von der Ausbildung des Mittelabschnitts. Die einen derartigen Schwinger aufweisende Einrichtung wurde nicht konkret verwirklicht. Es ist jedoch anzunehmen, dass ein stimmgabelartiger Schwinger, bei dem jeder einen Stimmgabelzinken bildende, im wesentlichen U-förmige Endabschnitt einen Hohlraum mit dem gleichen Volumen wie der vorgängig beschriebene, aus einem einzigen U-förmigen Rohrstück bestehende und praktisch erprobte Schwinger besitzt, auch mit ähnlichen Schwingungsfrequenzen schwingen wird wie dieser vorgängig beschriebene, bekannte Schwinger.

An sich könnten die Schwingungsfrequenzen der bekannten Schwinger sowie das Verhältnis zwischen Frequenz- und Dichteänderungen dadurch vergrössert werden, dass die Schenkellänge des aus einem einzigen U-förmigen Rohrstück bestehenden Schwingers bzw. der im wesentlichen U-förmige Endabschnitte des stimmgabelartigen Schwingers kürzer bemessen würde. Zur Erzielung ähnlicher Schwingeeigenschaften sollte das den Schwinger bildende Rohrstück dann aber ebenfalls entsprechend dünner gemacht und auch die übrigen, die Schwingung beeinflussenden Teile, wie der Schwingungs-Detektor sowie -Erreger, kleiner bemessen werden. Der Innendurchmesser des Schwingers kann jedoch nicht beliebig verkleinert werden, da sonst Dispersionen mit einer Flüssigkeit, in der verhältnismässig grosse Feststoff-Teilchen suspendiert und/oder grosse Gasblasen vorhanden sind, und/oder eine sehr hohe Viskosität besitzende Flüssigkeiten und/oder Pasten nicht mehr messbar sind. Zudem können die Wandstärken von Rohren aus Herstellungs- und Festigkeits-Gründen nicht beliebig verkleinert werden, so dass beim Verkleinern des Rohrdurchmessers das Verhältnis zwischen dem Volumen des vom Schwinger aufnehmbaren Materials und dem Volumen der Schwingerwandung kleiner und damit ungünstiger wird. Eine Vergrösserung der Schwingungsfrequenz durch Verkleinern der Abmessungen der genannten, bekannten Schwinger würde daher die Auflösung und/oder Genauigkeit beim Ermitteln der Dichte nicht vergrössern, sondern im Gegenteil verkleinern und zudem die Verwendbarkeit der Einrichtung beschränken.

Die Schwingungsfrequenzen könnten bei den bekannten Einrichtungen auch dadurch erhöht werden, dass der Schwinger statt mit der Grund-Resonanzfrequenz mit einer Resonanzfrequenz höherer Ordnung zum Schwingen gebracht würde. Dies ergäbe jedoch ebenfalls keine Verbesserung, sondern eine Verschlechterung der Messgenauigkeit. Der Betrieb mit einer Oberschwingung wirkt sich nämlich unter anderem zumindest teilweise ähnlich wie eine Verkürzung der Länge des Schwingers aus, so dass die nicht unendlich kleinen Abmessungen des Schwingungs-Detektors und -Erregers und andere Störquellen das Messergebnis stärker beeinflussen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Nachteile der bekannten Einrichtungen behebbende Einrichtung zur Ermittlung der Dichte zu schaffen und zu ermöglichen, die Auflösung und/oder Genauigkeit beim Ermitteln der Dichte zu erhöhen und/oder eine vorgegebene Auflösung und/oder Genauigkeit mit geringeren Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit sowie an die Elektronikvorrichtung zu erreichen. Dabei wird zur Erreichung dieser Ziele angestrebt, ein möglichst grosses Verhältnis zwischen den Änderungen der Schwingungsfrequenz und den Änderungen der Dichte zu erzielen, wobei auch der Gütefaktor und die Frequenzstabilität möglichst hoch sein sollen.

Diese Aufgabe wird, ausgehend von einem der aus der DE-A 3 909 489 bekannten Einrichtungen durch eine erfindungsgemäss die Merkmale des Anspruchs 1 aufweisende Einrichtung gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Einrichtung ergeben sich aus den vom Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen.

Der Erfindungsgegenstand wird nun anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. In der Zeichnung zeigt

die Figur 1 einen stark schematisierten und vereinfachten Vertikalschnitt durch eine Einrichtung zur Ermittlung der Dichte, wobei der Träger und der von diesem gehaltene Schwinger in Ansicht gezeichnet sind,

die Figur 2 eine Ansicht des vom Träger gehaltenen Schwingers in grösserem Massstab,

die Figur 3 eine Ansicht des Schwingers in zur Längsrichtung des Schwinger-Mittelabschnitts paralleler Blickrichtung,

die Figur 4 eine Darstellung des Trägers, teils in von der obren Seite der Figuren 1 und 2 her gesehener Ansicht, teils im Schnitt, in noch grösserem Massstab als die Figur 2,

die Figur 5 einen Schnitt durch die Schwingkammer mit von der hinteren Seite der Figuren 1, 2, 4 her gesehener Ansicht gezeichneten Träger sowie Schwinger, im gleichen Massstab wie die Figur 4,

die Figur 6 einen Schnitt durch einen Abschnitt des Trägers und der das eine Ende des Schwingers einspannenden Einspannmittel in noch grösserem Massstab als die Figuren 4, 5

die Figur 7 ein Schaltschema der zur Einrichtung gehörenden Elektronikvorrichtung,

die Figur 8 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Schwingungen der sich in den Figuren 1 und 2

oberhalb der beiden Scheitel der Schwinger-Ausbuchtungen befindenden Schwinger-Teile,

die Figur 9 ein Diagramm zur Veranschaulichung der sich in den Figuren 1 und 2 unterhalb der Scheitel der beiden Schwinger-Ausbuchtungen befindenden Schwinger-Teile,

die Figur 10 eine der Figur 1 entsprechende, aber stark vereinfachte sowie schematisierte Ansicht eines Trägers und eines von diesem gehaltenen Schwingers, mit zwei symmetrisch angeordneten Schwingungs-Erregern und

die Figur 11 eine der Figur 2 entsprechende, stark vereinfachte sowie schematisierte Ansicht eines Trägers und eines von diesem gehaltenen Schwingers, dessen Endabschnitte rechtwinklig zum Mittelabschnitt verlaufen.

Die in der Figur 1 dargestellte, zum Messen der Dichte eines fliessfähigen, insbesondere mindestens zum Teil flüssigen und/oder pastösen Materials dienende Einrichtung 1 weist ein beispielsweise frei auf einer nicht gezeichneten, festen Auflage stehendes Gestell 3 mit einem Gehäuse 5 auf. In dessen gegen die Umgebung beispielsweise mindestens einigermaßen oder vollkommen dicht abgeschlossenen Innenraum ist eine dichte Thermostat-Kammer 7 befestigt, zumindest im allgemeinen, nämlich abgesehen von erforderlichen Befestigungs- und Verbindungsmitteln, von der Innenfläche des Gehäuses durch einen freien, Luft enthaltenden oder eventuell sogar evakuierte Zwischenraum getrennt ist. In der Thermostat-Kammer 7 ist eine dichte Schwing-Kammer 9 angeordnet, die ihrerseits von der Innenfläche der Thermostat-Kammer 7 im allgemeinen, d.h. abgesehen von erforderlichen Befestigungs- und Verbindungsmitteln, durch einen freien Zwischenraum getrennt ist. In der Schwing-Kammer 9 ist ein als Ganzes mit 11 bezeichneter Träger befestigt.

Der besonders deutlich in den Figuren 2, 4 und 5 ersichtliche Träger 11 weist zwei Trägerstücke 13 und 15 auf, die mit ebener Auflagefläche 13a bzw. 15a aufeinander aufliegen, mit in Sackbohrungen von ihnen eingreifenden Pass-Stiften 17 zusammengesteckt sowie bezüglich einander positioniert und durch Schrauben 19 lösbar miteinander verbunden sind. Die Schrauben 19 dienen gleichzeitig zur Befestigung des Trägers 11 an der Wandung der Schwing-Kammer 9 und/oder der Wandung der Thermostat-Kammer 7 und damit am Gestell 3, wie es vereinfacht und schematisiert in der Figur 5 angedeutet ist.

Die Durchführungen der Schrauben 19 durch die Wandung der Schwing-Kammer 9 sind mit Dichtungsmitteln 21, nämlich in Vertiefungen des Trägerstückes 15 angesetzt, an diesen, den Schäften der Schrauben 19 und der Innenfläche der Schwing-Kammer 9 anliegenden O-Ringen abgedichtet. Die Einrichtung besitzt ferner zwei Thermostat-Anschlüsse 25, 27, die durch die Wandungen des Gehäuses 5 sowie der Thermostat-Kammer 7 hindurch mit dem Innenraum der letzteren verbunden sind.

Die beiden Trägerstücke 13, 15 besitzen je ein durchgehendes gerades Loch 13b bzw. 15b. Die Löcher 13b, 15b haben zueinander und zu den beiden

Auflageflächen 13a, 15a parallele Achsen. Das Loch 13b besteht zum grössten Teil aus einer Bohrung, ist jedoch an seinem sich in den Figuren 1, 2 und 4 linken Ende mit einer sich nach aussen konisch erweiternden Erweiterung 13c versehen, die besonders deutlich in der Figur 6 ersichtlich ist. Das Loch 15b besteht ebenfalls zum grössten Teil aus einer Bohrung und ist an seinem sich in den Figuren 1, 3 und 4 rechts befindenden Ende mit einer sich nach aussen erweiternden konischen Erweiterung 15c versehen.

Im Innenraum der Schwing-Kammer 9 ist ein mechanischer Schwinger 31 angeordnet und schwingfähig vom Träger 11 gehalten. Der Schwinger 31 besteht aus einem Teil eines einstückigen, elastisch deformierbaren, im Querschnitt kreisringförmigen Rohres aus metallischem Material, nämlich rostfreiem Stahl. Der Durchgang des Rohres dient als Hohlraum zum Aufnehmen des fluidartigen Materials, dessen Dichte zu messen ist. Der Schwinger 31 besitzt einen geraden, stabförmigen, horizontalen, sich oberhalb des Trägers 11 befindenden Mittelabschnitt 31a. An jedes von dessen beiden Enden schliesst ein unterbrochlos stetig gekrümmter, nämlich halbkreisförmiger Verbindungsabschnitt 31b an. Der dessen obere Hälfte bildende und also unmittelbar mit dem Mittelabschnitt 31a zusammenhängende, bogenförmige Abschnitt ist mit 31c bezeichnet. Der die untere Hälfte jedes Verbindungsabschnitts 31b bildende, bogenförmige Abschnitt ist mit 31d bezeichnet. Die beiden Verbindungsabschnitte 31b verbinden den Mittelabschnitt 31a mit geraden, zueinander sowie zum Mittelabschnitt 31a parallelen Endabschnitten 31e. Die trägerseitigen Enden der Endabschnitte 31e hängen mit gerade weiterverlaufenden, vom gleichen Rohr wie der Schwinger 31 gebildeten, aber beim Betrieb nicht schwingenden und daher nicht mehr zum eigentlichen Schwinger gehörenden Halteteilen 33 bzw. 35 zusammen, welche in die Löcher 13b bzw. 15b der Trägerstücke 13 bzw. 15 hineindringen und beispielsweise vollständig durch diese hindurchdringen.

Der Schwinger 31 ist bei den an seine beiden Endabschnitten 31e anschliessenden Halteteilen 33 bzw. 35 mit je einer Befestigungsvorrichtung 41 am Träger befestigt, deren Ausbildung besonders deutlich in der Figur 6 ersichtlich ist. Jede Befestigungsvorrichtung 41 weist eine beispielsweise metallische Spannhülse 43 mit einer axial durchgehenden Bohrung 43a auf, deren Durchmesser ungefähr gleich dem Aussendurchmesser des den Schwinger 31 und die Halteteile 33, 35 bildenden Rohres ist, so dass die Halteteile 33, 35 satt und radial zumindest annähernd spielfrei in Bohrungen der Spannhülsen hineinpassen. Die Aussenfläche des Spannhülsenmantels ist durch zwei Konusflächen 43b, 43c gebildet, die sich von der Mitte der Spannhülse 43 zu deren Enden hin verjüngen. Der von der Konusfläche 43b begrenzte Abschnitt der Spannhülse 43 sitzt zum grössten Teil in der konischen Erweiterung 13c des Lochs 13a bzw. der konischen Erweiterung 15c des Lochs 15b. Der von der Konusfläche 43c begrenzte Abschnitt der Spannhülse 43 befindet sich mindestens teilweise und

zwar vollständig ausserhalb des Lochs 13b bzw. 15b. Vom sich ausserhalb des Trägerstücks 13 bzw. 15 befindenden Ende der Spannhülse 43 her ist mindestens ein axialer Einschnitt 43d in diese eingeschnitten, wobei verzugsweise mindestens zwei und beispielsweise drei über den Umfang der Spannhülse verteilte Einschnitte 43d vorhanden sind, die den mit ihnen versehenen Teil der Spannhülse in federnde Spannbacken unterteilen. Jede Befestigungsvorrichtung 41 weist ferner ein plättchenförmiges Klemmstück 45 mit einem durchgehenden, konischen Loch 45a auf, in dem mindestens ein Teil des von der Konusfläche 43c begrenzten Spannhülsenabschnitts steckt. Das Klemmstück 45 ist auf einander abgewandten Seiten des konischen Lochs 45a noch mit zwei anderen durchgehenden Löchern 45b, nämlich Bohrungen versehen. Das in der Figur 6 gezeichnete Klemmstück 45 wird mit die Löcher 45b durchdringenden Schrauben 47 gegen diejenige Fläche des Trägerstücks 13 gedrückt, bei der die Spannhülse 43 aus dem Loch 13b des Trägerstücks 13 herausragt, wobei zwischen dem letzteren und dem Klemmstück 45 ein Spalt vorhanden ist. Das in der Figur 6 ersichtliche Klemmstück 45 greift also an der Konusfläche 43c der Spannhülse 43 an und drückt diese in die konische Erweiterung 13c des Trägerstücks 13 hinein, wobei die dem Trägerstück 13 abgewandte, ebene Begrenzungsfläche des Klemmstücks 45 zumindest annähernd und vorzugsweise genau bündig mit dem aus dem Trägerstück 13 herausragenden Ende der Spannhülse 43 ist. Der Rohrabschnitt, welcher den sich in den Figuren 1, 2 und 4 links vom Träger 11 befindenden Schwinger-Endabschnitt 31e sowie den Halteteil 33 bildet, wird also durch die in der Figur 6 ersichtliche Spannhülse 43 derart festgeklammert, dass sein sich in der letzteren befindender Teil unbeweglich gehalten wird, wobei sich die Grenze zwischen dem festgehaltenen und dem schwingungsfähigen Rohrteil und also ein Ende des Schwingers 31 zumindest annähernd beim aus dem Trägerstück 13 herausragenden Ende der Spannhülse 43 befindet. Der Rohrteil, welcher den sich in den Figuren 1, 2 und 4 rechts vom Träger 11 befindenden Schwinger-Endabschnitt 31e und den Halteteil 35 bildet, ist in analoger Weise durch die sich in den Figuren 1, 2 und 4 auf der rechten Seite des Trägers 11 befindende Befestigungsvorrichtung 41 am Trägerstück 15 gehalten, d.h. befestigt.

Der Schwinger 31 hat eine mit 51 bezeichnete Längsachse. Eine Mittelebene 53 kreuzt den Schwinger-Mittelabschnitt 31a rechtwinklig bei dessen Mittelpunkt und verläuft in der Mitte zwischen den beiden am Träger 11 gehaltenen Schwinger-Enden hindurch. Die beiden halbkreisförmigen Verbindungsabschnitte 31b, bilden also in einer zum Schwinger-Mittelabschnitt 31a parallelen Projektion auf die Mittelebene 53 oder eine zu dieser parallele Ebene, wie es in der Figur 3 ersichtlich ist, miteinander einen spitzen Winkel, der höchstens 40°, vorzugsweise höchstens 30° oder sogar höchstens 20° und nämlich zum Beispiel ungefähr 18° beträgt. Die Verbindungsabschnitte 31b sowie die mit diesen zusammenhängenden Endabschnitte 31e des Schwingers 31 sind dabei in der zum Schwinger-Mit-

telabschnitt 31a parallelen Projektion symmetrisch zu einer in der Figur 3 gezeichneten, vertikalen Ebene 55, die im Mittelabschnitt 31a des Schwingers 31 durch dessen Längsachse 51 verläuft. Die beiden Verbindungsabschnitte 31b sind also in der in der Figur 3 dargestellten Projektion auf eine zur Mittelebene 53 parallele Ebene vom Schwinger-Mittelabschnitt 31a weg auf verschiedene Seiten der Ebene 53 hin geneigt und bilden mit dieser gleich grosse Winkel α , die selbstverständlich gleich der Hälfte des vorher erwähnten Winkels zwischen den beiden Verbindungsabschnitten 31b sind.

Der Schwinger 31 ist also mindestens ungefähr, d.h. wenn man von der Neigung der Verbindungsabschnitte 31b gegen die Ebene 55 absieht und die in den Figuren 1 und 2 gezeichnete Projektion auf eine zur Ebene 55 parallele Ebene betrachtet, C-förmig. In der in den Figuren 1 und 2 gezeichneten Projektion ist der Schwinger 31 zudem zur Mittelebene 53 symmetrisch. Die beiden Verbindungsabschnitte 31b bilden also auf einander abgewandte Seiten der Mittelebene 53 wegragende Ausbuchtungen. Die sich in deren Mitten befindenden Stellen bilden die am weitesten von der Mittelebene 53 entfernten Schwinger-Stielen und also die Scheitel der Ausbuchtungen. Die sich von diesen Scheiteln bis zu den sich entlang dem Schwinger näher bei ihnen befindenden Enden des Schwingers 31 erstreckenden, je aus einem bogenförmigen Abschnitt 31d und einem der geraden Endabschnitte 31e bestehenden Schwinger-Teile 31d, 31e nähern sich dementsprechend zu den Schwinger-Enden hin an die Mittelebene 53 und auch an einander an.

Die Halteteile 33 und 35 können beispielsweise von ihren Austrittsstellen aus den Träger 11 weg in voneinander weg gerichteten Richtungen geradlinig weiterverlaufen und durch die Wandungen der Schwing-Kammer 9, der Thermostat-Kammer 7 und des Gehäuses 5 hindurch auf einander abgewandten Seiten des letzteren aus diesem herausgeführt sein und dort Anschlüsse 57, 59 bzw. zum Zu- bzw. Ableiten des zu messenden, fluidförmigen Materials bilden. Die letzteren können selbstverständlich mit irgend welchen Verbindungsmitteln wie flexiblen Schlauchstücken oder Schraub- oder Bajonettverschluss-Kupplungsstücken versehen sein.

Ein Schwingungs-Detektor 61 mit einem plättchenförmigen, piezoelektrischen Element ist am Schwinger-Endabschnitt 31d in der Nähe von dessen Befestigungsstelle befestigt. Am Schwinger-Endabschnitt 31e ist in der Nähe von dessen Befestigungsstelle ein Schwingungs-Erreger 63 befestigt, der ebenfalls ein plättchenförmiges, piezoelektrisches Element aufweist.

In der Schwing-Kammer 9 ist noch eine Elektronikvorrichtung 65 angeordnet. Diese besitzt eine gedruckte Schaltung mit einer lösbar am Träger 11 befestigen, nämlich am Trägerstück 13 festgeschraubten Platte und von dieser getragene, elektronische Komponenten, die beispielsweise mit einer Vergussmasse zu einem Block vergossen sein können und in den Figuren 4 und 5 durch eine strichpunktierte Umrisslinie angedeutet sind. Die Elektronikvorrichtung 65, deren Schaltschema in der Figur 7 ersichtlich ist, weist einen Ladungsverstärker 67,

einen Integrator 69, einen Korrektur-Phasenschieber 71, ein Bandpassfilter 73 und einen PID-Regler 75 auf. Der Schwingungs-Detektor 61 ist über elektrische Leiter mit dem Eingang des Ladungsverstärkers 67 sowie dem Massenanschluss der Elektronikvorrichtung 65 verbunden. Der Schwingungs-Erreger 63 ist ebenfalls mit dem Massenanschluss der Elektronikvorrichtung 65 sowie mit dem Ausgang des Korrektur-Phasenschiebers 71 verbunden. Der Massenanschluss der Elektronikvorrichtung ist zudem elektrisch mit den metallischen Teilen des Gestells 3, des Gehäuses 5, der Kammern 7, 9 sowie des Trägers 11 und dem den Schwinger 31 bildenden Rohr verbunden. Die Elektronikvorrichtung 65 ist zudem über Leiter, mindestens eine dichte Durchführung 77 und mindestens einen am Gestell 3 befestigten Steckanschluss 79 mit einem ausserhalb des Gehäuses 5 angeordneten, elektronischen Gerät 81 verbunden. Dieses weist eine mit mindestens einer Batterie und/oder einem Netzteil versehene Stromversorgungsvorrichtung 83 auf, um der Elektronikvorrichtung 65 eine gegen Masse positive sowie eine gegen Masse negative Speise-Gleichspannung zuzuführen und die für den Betrieb des Geräts 81 selbst erforderlichen Betriebsspannungen zu erzeugen. Das Gerät 81 weist ferner eine Auswertungs- und Anzeigevorrichtung 85 auf.

Die anhand der Figuren 1 bis 7 beschriebene Einrichtung ist besonders gut für Anwendungen geeignet, bei denen die Dichte eines kontinuierlich durch den Schwinger 31 hindurch geleiteten, fließfähigen Materials gemessen werden soll. Der Schwinger 31 kann für solche Anwendungen über seine sich auf einander abgewandten Seiten des Schwingers 31, des Gehäuses 5 sowie des Gestells 3 befindenden Anschlüsse 57, 59 direkt in eine beispielsweise zu einer Produktionsanlage gehörende Leitung eingeschaltet werden oder einen «Bypass» für einen Abschnitt einer solchen Leitung bilden.

Wenn die Dichte eines Materials, zum Beispiel eines mindestens zum Teil flüssigen Materials, wie einer eventuell suspendierte Mikroorganismen und/oder sonstige Feststoff-Teilchen und/oder Gasblasen enthaltenden Flüssigkeit, gemessen werden soll, wird der Hohlraum des Schwingers 31 über den Anschluss 57 mit diesem Material gefüllt, wobei dieses, wie vorgängig erwähnt, beispielsweise kontinuierlich und also auch während der Durchführung einer Messung durch den Schwinger 31 hindurch strömen kann. Die Thermostat-Anschlüsse 25, 27 sind mit einer nicht dargestellten Temperatur-Regelvorrichtung verbunden, die ausgebildet ist, um beim Betrieb eine Flüssigkeit, nämlich Wasser, durch den freien Innenraum der Thermostat-Kammer 7 hindurch zu leiten und die Temperatur des in der Thermostat-Kammer vorhandenen Wassers und damit auch die Wandung der Schwing-Kammer, den Träger 11, den Schwinger 31 und insbesondere das in diesem vorhandene fließfähige Material auf einer vorgegebenen Temperatur zu halten. Da die Dichte des im Schwinger 31 vorhandene fließfähigen Materials von dessen Temperatur abhängt, ist die Temperatur entsprechend der gewünschten Messgenauigkeit zu regeln, wobei zum Beispiel vor-

gesehen werden kann, die Temperatur der Thermostat-Kammer auf einem Wert von $20 \pm 0,01^\circ\text{C}$ konstant zu halten.

Wenn die Elektronikvorrichtung 61 für die Durchführung einer Messung zum Beispiel durch Einschalten eines nicht gezeichneten Schalters in Betrieb gesetzt wird, bringt sie den Schwinger mittels des Schwingungs-Erregers 63 mit einer Resonanzfrequenz, und zwar einer Grund-Resonanzfrequenz zum Schwingen. Der C-förmige Schwinger 31 wird dabei elastisch deformiert und führt Schwingungen, nämlich Biegeschwingungen aus, bei denen alle Schwinger-Abschnitte zumindest annähernd entlang von horizontalen und also zu den beiden Ebenen 53, 55 rechtwinkligen Ebenen aufgelenkt werden, wobei die Auslenkungen zumindest annähernd rechtwinklig zur Ebene 55 sind, wie es in der Figur 3 durch ein Pfeil-Paar angedeutet ist.

Beim Schwingen ergibt sich bei jedem der beiden Enden des Schwingers 31, d.h. bei jeder von dessen Befestigungsstellen, ein Schwingungs-Knoten 91. Ferner entsteht im geraden Schwinger-Mittelabschnitt 31a auf jeder Seite der Mittelebene 53 und symmetrisch zu dieser ein Schwingungs-Knoten 93. Wenn der Schwinger Biegeschwingungen mit den angegebenen Auslenkungsrichtungen und mit seiner Grund-Resonanzfrequenz ausführt, ergeben sich ausschliesslich die genannten vier Schwingungs-Knoten 91 und 93.

Das in der Figur 8 gezeichnete Diagramm zeigt schematisch die sich bei einer bestimmten Schwingungsphase ergebende Biegung des sich oberhalb einer durch die Scheitel der beiden Verbindungsabschnitte 31b verlaufenden Horizontalebene befindenden Schwinger-Teils, d.h. des geraden Mittelabschnittes 31a und der beiden bogenförmigen Abschnitte 31c. Die beiden Teil-Diagramme der Figur 9 zeigen die in der betreffenden Schwingungsphase stattfindenden Biegungen der zwei sich unterhalb der zuletzt erwähnten Horizontalebene befindenden Schwinger-Teile, von denen jeder aus einem bogenförmigen Abschnitt 31d und einem geraden Endabschnitt 31e besteht. Es sei hiebei darauf hingewiesen, dass die Biegungen des Schwingers in den Figuren 8 und 9 mit stark übertriebenen Auslenkungen gezeichnet sind. Der in der Figur 8 ersichtliche, obere Schwinger-Teil führt ähnliche Schwingungen aus wie ein beidseitig freier Stab, der mit seiner ersten Oberschwingung schwingt. Die beiden in der Figur 9 ersichtlichen Schwinger-Teile führen je ähnliche Schwingungen aus wie ein an seinem trägerseitigen Ende festgehaltener und am anderen Ende freier Stab. Der Schwinger 31 verhält sich also bei Betrachtung seiner dynamischen Eigenschaften ähnlich wie drei miteinander gekoppelte schwingende Stäbe und hat drei Freiheitsgrade. Wie es aus vielen einschlägigen Lehrbüchern bekannt ist, hat ein aus zwei gekoppelten Schwinger-Teilen bestehender und dementsprechend zwei Freiheitsgrade aufweisender Schwinger, zum Beispiel ein aus zwei durch eine Feder gekoppelten Pendeln bestehender Schwinger, zwei Grund-Resonanzfrequenzen. Man kann mathematisch nachweisen, dass eine aus drei gekoppelten Schwinger-Teilen bestehender drei Freiheitsgrade aufweisender

Schwinger drei Grund-Resonanzfrequenzen hat. Man kann des weitern zeigen, dass in vielen Fällen und insbesondere auch im vorliegenden Fall die oberste Grund-Resonanzfrequenz eines aus gekoppelten Schwinger-Teilen bestehenden Schwingers grösser ist als die Grund-Resonanzfrequenz, die jeder der Schwinger-Teile hätte, wenn er ohne Kopplung für sich allein schwingen würde. Der Frequenz-Durchlassbereich des Bandpassfilters 73 der Elektronikvorrichtung 65 ist nun derart festgelegt, dass der Bandpassfilter im zu messenden Dichtebereich die oberste der drei Grund-Resonanzfrequenzen durchlässt und ausfiltert, so dass also die oberste Grund-Resonanzfrequenz für die Ermittlung der Dichte verwertet werden kann. Die Auswertungs- und Anzeigevorrichtung 85 ist zum Beispiel ausgebildet, um die Schwingungs-Periodendauer zu ermitteln und digital anzuzeigen, die selbstverständlich gleich dem Kehrwert der Schwingungsfrequenz ist und ein Mass für die Dichte des im Hohlraum des Schwingers 31 enthaltenen, fließfähigen Materials gibt. Da der Schwingungs-Detektor 61 und der Schwingungs-Erreger 63 entlang dem Schwinger 31 voneinander beabstandet sind und sich in der Nähe verschiedener Schwingungs-Knoten befinden, wirkt der sich zwischen dem Erreger 63 und Detektor 61 befindende Teil des Schwingers gewissermassen als mechanisches Filter, und zwar als Bandpass und/oder Resonanzfilter. Die mechanische Filterwirkung wird noch dadurch verstärkt, dass zwischen dem Schwingungs-Erreger 63 und Schwingungs-Detektor 61 entlang dem Schwinger 31, wenn man sich diesen gemäss dem vorgängig beschriebenen Modell aus drei gekoppelten Schwinger-Teilen zusammengesetzt denkt, ein ganzer Schwinger-Teil dieser Art befindet, der die zwei Schwingungs-Knoten 93 enthält.

Im übrigen ist die Elektronikvorrichtung 65 weitgehend ähnlich ausgebildet wie die in der bereits zitierten DE-A 3 609 489 beschriebene Elektronikvorrichtung und arbeitet dementsprechend auch ähnlich wie die letztere. Des weitern kann auch die Eichung der Einrichtung 1 und beim Durchführen einer Dichte die Errechnung der Dichte aus der Schwingungs-Periodendauer bzw. Schwingungsfrequenz in analoger Weise erfolgen, wie es in der genannten Publikation beschrieben ist. Selbstverständlich kann die Auswertungs- und Anzeigevorrichtung 85 noch einen Rechner mit Speichern sowie Bedienungs- und Eingabeorgane aufweisen und ausgebildet sein, um zusätzlich zur Periodendauer oder wahlweise anstelle von dieser die Schwingungsfrequenz und/oder die Dichte des fließfähigen Materials anzuzeigen.

Der Innendurchmesser des den Schwinger 31 bildenden Rohres beträgt zweckmässigerweise mindestens etwa 1 mm und beispielsweise höchstens 3 mm. Für die durchgeführten Versuche wurden Schwinger aus einem aus rostfreiem Stahl bestehenden Rohr mit einem Innendurchmesser von 1,8 mm sowie einem Aussendurchmesser von 2 mm verwendet. Die sich bei den Scheiteln der von den beiden Verbindungsabschnitten 31b gebildeten Ausbuchtungen befindenden Punkte der Schwinger-Längsachse 51 werden im folgenden als Scheitel der Schwinger-

Längsachse 51 bezeichnet. Der Abstand dieser Scheitel der Längsachse 51, d.h. die zwischen diesen Scheiteln rechtwinklig zur Mittelebene 53 und parallel zum Mittelabschnitt 31a gemessene Abmessung oder Länge 1 des Schwingers 31 beträgt vor-
 5 teilhafterweise mindestens das 30fache und beispielsweise mindestens das 50fache des Aussendurchmessers des den Schwinger bildenden Rohres. Der rechtwinklig zur Mittelebene 53 und parallel zum Schwinger-Mittelabschnitt 31a gemessene Abstand k der beiden Schwingungs-Knoten 93 beträgt gemäss den durchgeführten Versuchen
 10 mindestens 50% und höchstens 70% und nämlich etwa 60 bis 65% der Abmessung oder Länge 1. Der rechtwinklig zur Mittelebene 53 gemessene Abstand a der Schwingungs-Knoten 93 vom sich näher bei ihm befindenden Scheitel der Schwinger-Längsachse 51 ist dementsprechend gleich der Hälfte der Differenz $(l - k)$. Damit die beiden Schwingungs-Knoten 93 im geraden, stabförmigen Mittelabschnitt 31a liegen, soll dessen Länge s mindestens gleich dem Abstand k und dementsprechend mindestens 70% sowie beispielsweise mindestens oder unge-
 15 fähr 80% der Abmessung oder Länge 1 betragen. Der rechtwinklig zum Mittelabschnitt 31a sowie den Endabschnitten 31e und parallel zur Ebene 55 und damit parallel zur Projektions- oder Zeichnungsebene der Figuren 1 und 2 gemessene Abstand b der Schwinger-Längsachse 51 des Mittelabschnitts 31a von auf der Schwinger-Längsachse liegenden Punkten der Schwinger-Enden beträgt vorzugsweise mindestens etwa 10% und höchstens 30% der Länge 1 und beispielsweise 15 bis 20% der Länge 1. Der Krümmungsradius r der Längsachse der beiden
 20 halbkreisförmigen Verbindungsabschnitte 31b ist dann dementsprechend ungefähr gleich der Hälfte des Abstandes b und nämlich wegen der Neigung der Verbindungsabschnitte 31b gegen die Ebene 55 ein wenig grösser als die Hälfte des Abstandes b. Der rechtwinklig zur Mittelebene 53 gemessene Abstand c der am Träger 11 fest gehaltenen Enden des Schwingers 31 und damit der Knoten 91 vom sich näher beim betreffenden Schwinger-Ende und Schwingungs-Knoten 91 befindenden Scheitel der Schwinger-Längsachse 51 hat gemäss den durchgeführten Versuchen einen beträchtlichen Einfluss auf den Gütefaktor des Schwingers und damit auf die erzielbare Auflösung sowie Messgenauigkeit. Der Abstand c beträgt 10% bis 30% und vorzugsweise 15% bis 25% der Abmessung oder Länge 1 und ist vorzugsweise auch mindestens gleich dem Abstand a und beispielsweise um eine Differenz d grösser als dieser, wobei diese Differenz d zum Beispiel etwa 1 bis 5% der Abmessung oder Länge 1 beträgt. Die Länge e der geraden Endabschnitte 31e beträgt vor-
 25 teilhafterweise mindestens 5% und beispielsweise mindestens oder ungefähr 10% der Abmessung oder Länge 1. Wenn die Verbindungsabschnitte 31b gemäss der Beschreibung des Ausführungsbeispiels halbkreisförmig sind, ist die Länge e selbstverständlich gleich der Differenz $(c - r)$. Der Schwingungs-Detektor 61 und -Erreger 63 sollen sich, wie erwähnt, in der Nähe eines Schwinger-Endes und damit eines Schwingungs-Knotens 91 befinden. Die am weitesten vom betreffenden Schwinger-

Ende entfernte Stelle des piezoelektrischen, am Schwinger angreifenden Elements des Schwingungs-Erregers bzw. -Detektors ist dabei vorzugsweise höchstens 10% und beispielsweise höchstens 5% der Abmessung oder Länge 1 vom betreffenden Schwinger-Ende und Schwingungs-Knoten 91 entfernt.

Es wurden Versuche mit verschiedenen Schwingern durchgeführt, die aus einem aus rostfreiem Stahl bestehenden Rohr mit 2 mm Aussendurchmesser sowie 1,8 mm Innendurchmesser gebildet sind. Die Abmessungen oder Längen 1 betragen zum Beispiel ungefähr 110 ± 5 mm, der Krümmungsradius r ungefähr 9,5 mm und der Winkel α ungefähr 9° . Derart bemessene Schwinger 31 können dementsprechend ungefähr $0,4 \text{ cm}^3$ des zu messenden Materials aufnehmen. Mit einem dieser Schwinger 31 wurde zum Beispiel für de-ionisiertes Wasser mit einer Temperatur von 20°C und einer also ziemlich genau 1 g/cm^3 betragenden Dichte beim mit seiner Grund-Resonanzfrequenz schwingenden Schwinger eine Schwingungs-Periodendauer von 1,0302660 ms gemessen, was einer Frequenz von 970,623 Hz entspricht. Mit dem gleichen Schwinger und bei der gleichen Temperatur ergab sich für eine Dichte von etwa $0,7 \text{ g/cm}^3$ aufweisendes n-Propanol eine Schwingungs-Periodendauer von 0,9934008 ms, was einer Frequenz von 1006,663 Hz entspricht. Mit einem U-förmigen Schwinger, der gemäss der bereits mehrfach zitierten DE-A 3 609 489 ausgebildet ist, aus einem Rohr aus dem gleichen Material und mit den gleichen Querschnittsabmessungen besteht und ungefähr die gleiche abgewinkelte Länge und also ungefähr das gleiche Innenvolumen hat, ergaben sich für die gleichen Flüssigkeiten nur ungefähr halb so grosse Frequenzen. Der erfindungsgemäss ausgebildete Schwinger 31 ergibt also gegenüber dem vorbekannten U-förmigen Schwinger bei ähnlichem Innenvolumen bei einer bestimmten Dichte ungefähr eine Verdoppelung der Schwingungs-Frequenz und auch ungefähr eine Verdoppelung der sich für eine bestimmte Dichte-Änderung ergebenden Frequenz-Änderung. Das wirkt sich günstig auf die erzielbare Auflösung und Genauigkeit beim Ermitteln einer Dichte aus. Der erfindungsgemässe Schwinger 31 ergibt jedoch beim Schwingen mit seiner von der Dichte des zu messenden Materials abhängigen Grund-Resonanzfrequenz auch einen höheren Gütefaktor als der vorbekannte, U-förmige Schwinger. Dies bedeutet, dass der schwingende Schwinger einerseits weniger Energie an den Träger 11 und damit an das Gestell 3 abgibt und andererseits bei Erschütterungen des Gestells 3 und Trägers 11 weniger Energie vom Träger 11 aufnimmt und weniger gestört wird als der vorbekannte, U-förmige Schwinger. Wenn zum Beispiel mit dem vorbekannten, U-förmigen Schwinger während einiger Sekunden die Schwingungs-Periodendauer gemessen wurde, war der Messwert etwa bis auf 1 Nanosekunde genau ablesbar, d.h. die Zeitanzeige war bis zu 1 Nanosekunde stabil, während die die Zehntel-Nanosekunden anzeigende Dezimalstelle oder Ziffer während der Messdauer stark und schnell änderte. Bei einer Dichtemessung mit dem erfindungsgemässen Schwinger 31 kann

demgegenüber die Periodendauer – mit einer gleich ausgebildeten Auswertungs- und Anzeigevorrichtung 85 – mit einer Genauigkeit von 0,1 Nanosekunden gemessen werden, d.h. die die Zehntel-Nanosekunden anzeigende Ziffer oder Dezimalstelle hat während einer beispielsweise einige Sekunden betragenden Dauer einen konstanten Wert oder ändert höchstens langsam und wenig. Die Versuche haben gezeigt, dass sogar mit einer Hand auf das Gestell 3 oder Gehäuse 5 ausgeübte Schläge die Messungen nicht oder höchstens sehr geringfügig und kurzfristig stören, ohne dass zwischen dem Träger 11 und dem Gehäuse 5 sowie Gestell 3 irgendwelche besonderen Schwingungsdämpfungsmittel vorgesehen werden. Bei der erfindungsgemässen Einrichtung kann also der Träger 11 ohne weiteres mehr oder weniger starr mit den Kammern 9, 7, dem Gehäuse 5 und dem Gestell 3 verbunden sein. Es ist also insbesondere auch nicht nötig den Träger schwenkbar mit dem Gehäuse zu verbinden, wie es bei der aus der DE-A 3 609 489 bekannten Einrichtung der Fall ist. Die erfindungsgemässe Einrichtung ermöglicht daher, die Auflösung und Genauigkeit beim Ermitteln einer Dichte gegenüber der vorbekannten, einen U-förmigen Schwinger besitzenden Einrichtung bei ähnlichem und sogar kleineren konstruktivem Aufwand sehr wesentlich, nämlich mindestens um ungefähr das Zehnfache zu verbessern. Die erfindungsgemässe Einrichtung 1 ermöglicht daher, mit verhältnismässig geringem, konstruktivem Aufwand und entsprechend niedrigen Herstellungskosten Dichten mit einer hohen, zum Beispiel 10^{-5} oder 10^{-6} g/cm³ betragenden Auflösung oder sogar noch genauer zu messen. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemässen Einrichtung gegenüber den vorbekannten, einen U-förmigen Schwinger aufweisenden Einrichtungen besteht auch noch darin, dass die Zeitdauer, die bei der Inbetriebnahme erforderlich ist, um die Schwingkammer 9, den Träger 11 und den Schwinger 31 genau auf die vorgesehene Temperatur von zum Beispiel 20°C zu bringen, sowie die Einschwing-Zeitdauer, die der Schwinger vom Beginn der Schwingungen bis zum Erreichen einer konstanten Frequenz braucht, nur je ungefähr halb so gross ist wie die entsprechende Zeitdauer bei den vorbekannten, einen U-förmigen Schwinger aufweisenden Einrichtungen.

Bei der Herstellung einer Einrichtung gemäss den Figuren 1 bis 7 kann man ein ursprünglich gerades, zur Bildung des Schwingers 31 bestimmtes Rohr vor dessen Befestigung am Träger 11 durch plastisches Verformen in die für den Schwinger 31 vorgesehene Form bringen. Ferner kann man eines der beiden Trägerstücke 13, 15 mit den Pass-Stiften 17 versehen und zudem an jedes der beiden Trägerstücke eine Befestigungsvorrichtung 41 montieren, die Schrauben 47 dabei aber nur leicht einschrauben. Danach kann jedes der beiden derart ausgerüsteten Trägerstücke 13, 15 unter einer vorübergehenden, kleinen elastischen Deformation des Schwingers auf ein Ende des diesen bildenden Rohres geschoben werden. Wenn sich die beiden Trägerstücke 13, 15 bezüglich des Schwingers in den vorgesehenen Positionen befinden, können sie

mit den Pass-Stiften 17 zusammengesteckt werden. Danach kann man die beiden Trägerstücke 13, 15 noch fest mit den Schrauben 19 miteinander sowie mit der Wandung der Schwingkammer 9 verbinden und die Schrauben 47 der Befestigungsvorrichtung 41 festschrauben.

In der Figur 10 sind stark schematisiert ein Träger 111 und ein Schwinger 131 dargestellt, die weitgehend gleich oder ähnlich wie der Träger 11 bzw. Schwinger 31 ausgebildet sind. Während beim Schwinger 31 jedoch nur bei einem von dessen Enden ein Schwingungs-Erreger angeordnet ist, sind bei der zum Teil in der Figur 10 dargestellten Einrichtung zwei Schwingungs-Erreger 163 vorhanden, von denen jeder in der Nähe eines Schwinger-Endes und des sich bei diesem beim Betrieb ergebenden Schwingungs-Knotens 191 angeordnet ist. Die Einrichtung gemäss der Figur 10 weist ferner mindestens einen Schwingungs-Detektor 161 und nämlich zwei solche auf, die in der Nähe der den Schwingungs-Knoten 93 Schwingers 31 entsprechenden Schwingungs-Knoten 193 angeordnet sind, und zwar vorzugsweise auf den einander abgewandten Seiten von diesen. Es ist also auf beiden Seiten der der Mittelebene 53 entsprechenden Mittelebene 153 je ein Schwingungs-Detektor 161 sowie je ein Schwingungs-Erreger 163 vorhanden. Die beiden Detektoren 161 sind dabei genau symmetrisch zur Mittelebene 153 angeordnet. Die beiden Erreger 163 sind in der in der Figur 10 gezeichneten Projektion und also zumindest im wesentlichen, d.h. wenn man von der Neigung der den Verbindungsabschnitten 31b entsprechenden Verbindungsabschnitte des Schwingers 131 gegen eine der Ebenen 55 entsprechende Ebene absieht, ebenfalls symmetrisch zur Mittelebene 153.

Während beim Schwingen des Schwingers 31 dessen mit dem Schwinger-Erreger 63 versehener Endabschnitt 31e ein wenig stärker ausgelenkt wird als der andere Endabschnitt 31e, werden die sich auf verschiedenen Seiten der Mittelebene 153 befindenden Abschnitte des Schwingers 131 beim Schwingen gleich stark ausgelenkt, so dass der Schwinger 131 also zumindest im wesentlichen vollständig symmetrisch zur Mittelebene 153 schwingt. Im übrigen besitzt die zum Teil in der Figur 10 dargestellte Einrichtung ähnliche Eigenschaften wie die anhand der Figur 1 bis 9 beschriebene Einrichtung.

Die zum Teil und stark vereinfacht in der Figur 11 dargestellte Einrichtung weist einen Träger 211 und einen aus einem einstückigen Rohr bestehenden Schwinger 231 auf. Dieser besitzt einen C-förmigen Teil, der aus einem geraden Mittelabschnitt 231a, zwei Verbindungsabschnitten 231b und zwei geraden, zum Mittelabschnitt parallelen Abschnitten 231e gebildet ist. An diese schliessen zwei gerade, zueinander parallele und zum Mittelabschnitt 231a sowie zu den beiden Abschnitten 231e rechtwinklige, vom Mittelabschnitt wegragende Endabschnitte 231f an, deren den Abschnitten 231e abgewandten Enden die beiden Enden des Schwingers 231 bilden und im Träger 211 fest gehalten sind. Die Verbindungsabschnitte 231b unterscheiden sich von den Verbindungsabschnitten 31b dadurch, dass sie

nicht überall gekrümmt sind, sondern in der Mitte einen geraden Teilabschnitt haben, der beidenends durch gebogene oder eventuell abgewinkelte Übergangsabschnitte mit dem Mittelabschnitt 231a bzw. einem der geraden Abschnitte 231e verbunden ist. Die geraden Abschnitte 231e sind ebenfalls durch verrundete oder eventuell Winkel bildende Übergangsabschnitte mit den Endabschnitten 231f verbunden. Im übrigen liegt die Längsachse des Schwingers 231 vorzugsweise vollständig in einer Ebene, nämlich der Zeichnungsebene. Der Schwinger 231 ist vollständig symmetrisch zu einer der Mittelebene 53 entsprechenden Mittelebene 253.

Der Schwinger 231 ist beispielsweise mit einem in der Nähe seines einen Endes angeordneten Schwingungs-Detektor 261 und einem in der Nähe seines anderen Endes angeordneten Schwingungs-Erreger 263 versehen. Während die Schwingungs-Detektoren 61, 161 sowie Schwingungs-Erreger 63, 163 ausgebildet sind, um bei Biegungen der Schwinger elektrische Signale zu erzeugen bzw. elektrische Signale in Biegungen der Schwinger umzuwandeln, sind der Schwingungs-Detektor 261 und -Erreger 263 ausgebildet, um bei Torsionen eines Schwinger-Endabschnitts 231f elektrische Signale abzugeben bzw. elektrische Signale in Torsionen eines Schwinger-Endabschnitts 231f umzuwandeln.

Wenn der Schwinger 231 zur Ermittlung der Dichte eines in seinem Hohlraum vorhandenen Materials mit einer Grund-Resonanzfrequenz zum Schwingen gebracht wird, führt sein C-förmiger, aus den Abschnitten 231a, 231b, 231e bestehender Teil ähnliche Biegeschwingungen aus wie der Schwinger 31 sowie der Schwinger 131. Die beiden Endabschnitte 231f führen dann Torsionsschwingungen aus. Bei den befestigten Enden des Schwingers 231 ergeben sich Schwingungs-Knoten 291 und im Mittelabschnitt 231a den Schwingungs-Knoten 93 entsprechende Schwingungs-Knoten 293. Ferner ergeben sich bei den Verbindungsstellen der beiden Endabschnitte 231f mit den beiden Abschnitten 231e noch Schwingungs-Knoten 295. Bei einer modellmässigen Betrachtung kann man sich den Schwinger 231 aus fünf miteinander gekoppelte Schwinger-Teilen zusammengesetzt denken. Der Schwinger 231 hat beim betrachteten Schwingungs-Modus dementsprechend fünf Freiheitsgrade.

Man kann selbstverständlich gewisse Merkmale der verschiedenen, anhand der Zeichnungsfiguren beschriebenen Einrichtungsvarianten miteinander kombinieren. Zum Beispiel könnte man die halbkreisförmigen Verbindungsabschnitte 31b des Schwingers 31 durch Verbindungsabschnitte ersetzen, die gleich wie die Verbindungsabschnitte 231b teilweise gerade sind. Ferner könnte man auch die Schwinger 31 sowie 131 derart an einem Träger befestigen, dass sie oder, genauer gesagt, ihre Längsachsen vollständig in einer Ebene liegen. Des weiteren könnte man die Einrichtung 1 zum Beispiel derart ändern, dass die den beiden Anschlüssen 57, 59 entsprechenden Anschlüsse beide auf der gleichen Seite des Gehäuses 3 aus diesem heraus geführt sind. Dies kann zum Beispiel für Einrichtungen günstig sein, die nicht zum Ermitteln der Dichte eines kontinuierlich durch den Schwinger strömenden Mate-

rials, sondern vor allem für die Messung der Dichte einzelner Proben vorgesehen sind.

Des weiteren kann man die Schwinger derart ausbilden und/oder mit einer Grund-Resonanzfrequenz oder eventuell einer Resonanzfrequenz höherer Ordnung zum Schwingen bringen, dass sich noch mehr Freiheitsgrade und/oder Schwingungs-Knoten ergeben.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Ermittlung der Dichte eines fließfähigen, insbesondere zumindest zum Teil gasförmigen und/oder flüssigen und/oder pastösen Materials, mit einem Träger (11, 111, 211), einem rohrförmigen, an seinen zwei Enden vom Träger (11, 111, 211) gehaltenen, zum Aufnehmen des Materials dienenden Schwinger (31, 131, 231), mindestens je einem mit dem Schwinger (31, 131, 231) in Wirkverbindung stehenden Schwingungs-Detektor (61, 161, 261) sowie Schwingungs-Erreger (63, 163, 263) und einer elektrisch mit dem Schwingungs-Detektor (61, 161, 261) sowie -Erreger (63, 163, 263) verbundenen Elektronikvorrichtung (65), um den Schwinger (31, 131, 231) zum Schwingen zu bringen, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwinger (31, 131, 231) mindestens zum Teil mindestens ungefähr C-förmig ist und auf einander abgewandte Seiten einer ihn in seiner Mitte kreuzenden Mittelebene (53) wegragende Ausbuchtungen (31b, 231b) besitzt.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwinger (31, 131, 231) einen geraden Mittelabschnitt (31a, 231a) aufweist, dessen zwei Enden durch je einen mindestens stellenweise gebogenen und/oder abgewinkelten, eine der Ausbuchtungen bildenden Verbindungsabschnitt (31b, 231b) mit geraden, zum Mittelabschnitt (31a, 231a) parallelen Abschnitten (31e, 231e) verbunden sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der gerade Mittelabschnitt (31a) durch überall stetig gebogene, vorzugsweise halbkreisförmige Verbindungsabschnitte (31b) mit den geraden zum Mittelabschnitt (31a) parallelen Abschnitten (31e) verbunden ist.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die am Träger (11, 111) gehaltenen Enden des Schwingers (31, 131) durch die beiden geraden, zum Mittelabschnitt (31a) parallelen Abschnitte (31e) gebildet sind.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsabschnitte (31b) in einer Projektion auf die Mittelebene (53) miteinander einen höchstens 40° und vorzugsweise höchstens 30° und beispielsweise höchstens 20° betragenden Winkel bilden oder dass die Längsachse des ganzen Schwingers (231) in einer Ebene liegt.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der zwischen Punkten auf der Längsachse (51) des Schwingers (31, 131, 231) rechtwinklig zur Mittelebene (53, 153, 253) gemessene Abstand c jedes Schwinger-Endes vom Scheitel der sich näher bei ihm befindenden Ausbuchtung (31b, 231b) 10 bis 30% und vorzugsweise

15 bis 25% des in der gleichen Richtung gemessenen Abstandes 1 der sich bei den beiden Scheiteln auf der Schwinger-Längsachse (51) befindenden Punkten beträgt.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Schwingungs-Detektor (61, 161, 261) und -Erreger (63, 163, 263) vorzugsweise je mindestens ein piezoelektrisches Element aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwingungs-Detektor (61, 161, 261) sowie -Erreger (63, 163, 263) und die Elektronikvorrichtung (65) ausgebildet sind, um beim Betrieb im C-förmigen Teil (31a, 31b, 31e, 231a, 231b, 231e) des Schwingers (31, 131, 231) Biegeschwingungen zu erzeugen, bei denen im Schwinger-Teil (31a, 31b), der die Scheitel der beiden Ausbuchtungen (31b, 231b) miteinander verbindet, auf beiden Seiten der Mittelebene (53, 153, 253) je ein und vorzugsweise nur ein einziger Schwingungs-Knoten (93, 193, 293) entsteht. 5
8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Schwingungs-Detektor (61) zwischen einem der besagten Schwingungs-Knoten (93, 193, 293) und dem sich entlang dem Schwinger (31, 131, 231) näher bei diesem befindenden Schwinger-Ende und der Schwingungs-Detektor (63) zwischen dem bzw. einem andern der besagten Schwingungs-Knoten (93, 193, 293) und dem andern Schwinger-Ende befindet, wobei sich der Schwingungs-Detektor (61) und -Erreger (63) vorzugsweise in der Nähe des betreffenden, beim Betrieb ebenfalls einen Schwingungs-Knoten (91, 291) bildenden Schwinger-Endes befindet. 10
9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass auf beiden Seiten der Mittelebene (153) ein Schwingungs-Erreger (163) und beispielsweise auch auf jeder Seite der Mittelebene (153) ein Schwingungs-Detektor (193) vorhanden ist. 15
10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass sich der bzw. jeder Schwingungs-Detektor (61, 161, 261) und -Erreger (63, 163, 263) in der Nähe einer Schwinger-Stelle befindet, bei der sich beim Betrieb ein Schwingungs-Knoten (91, 191, 193, 291, 293) ergibt, wobei bei jedem dieser Schwingungs-Knoten entweder nur ein Detektor (61, 161, 261) oder nur ein Erreger (63, 163, 263) vorhanden ist. 20

50

55

60

65

10

Fig. 1

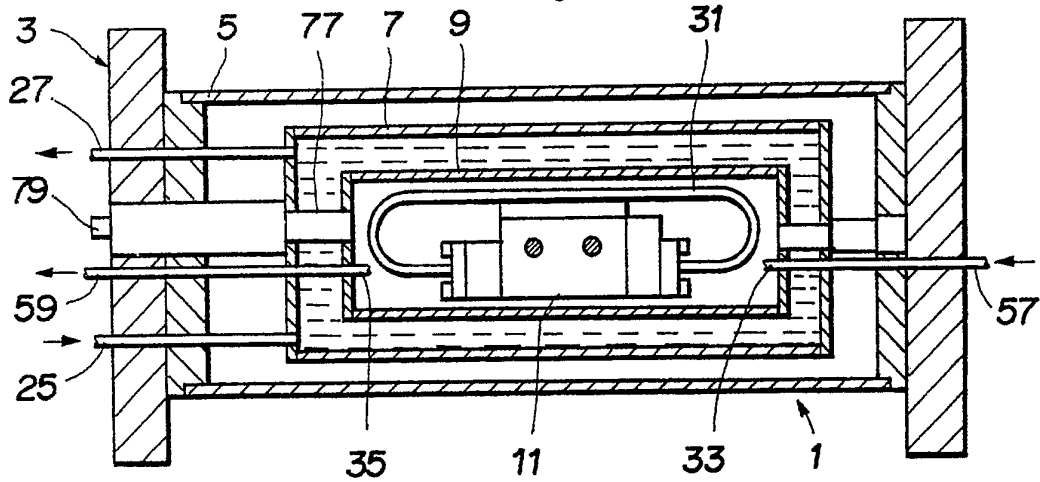


Fig. 2

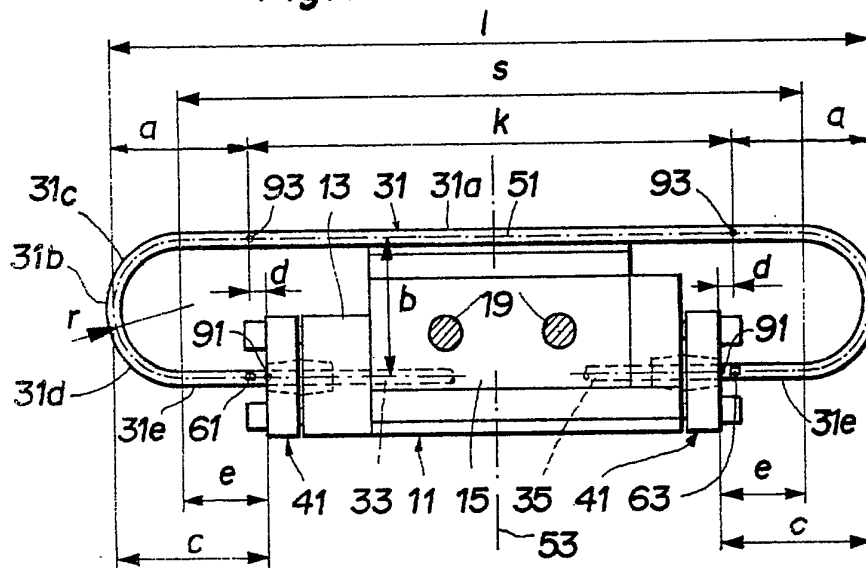


Fig. 3

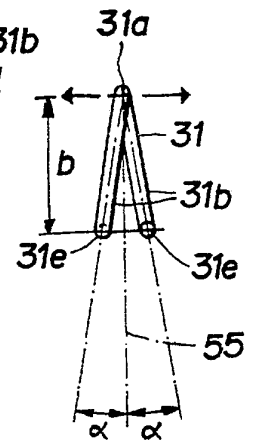


Fig. 4

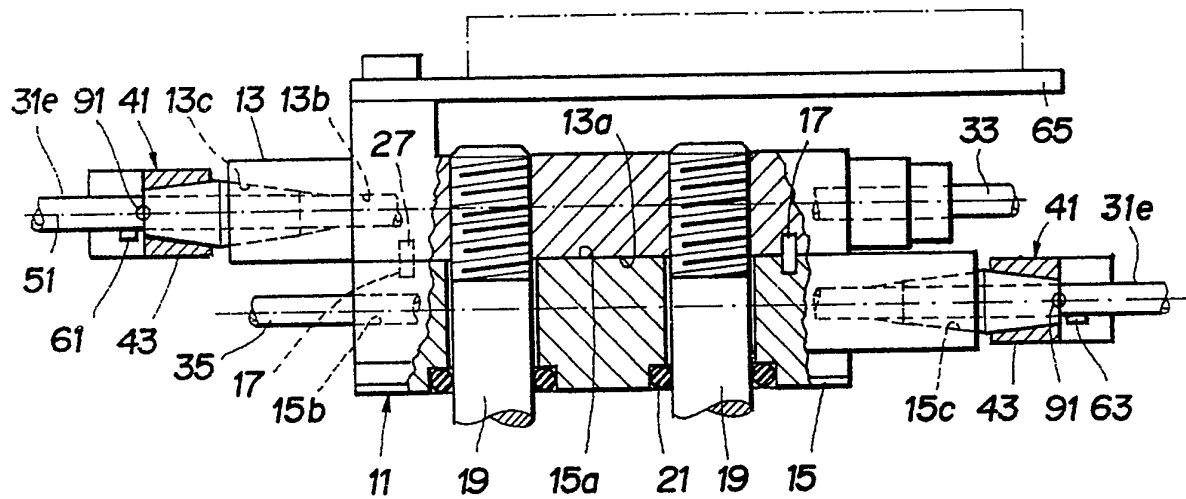


Fig. 5

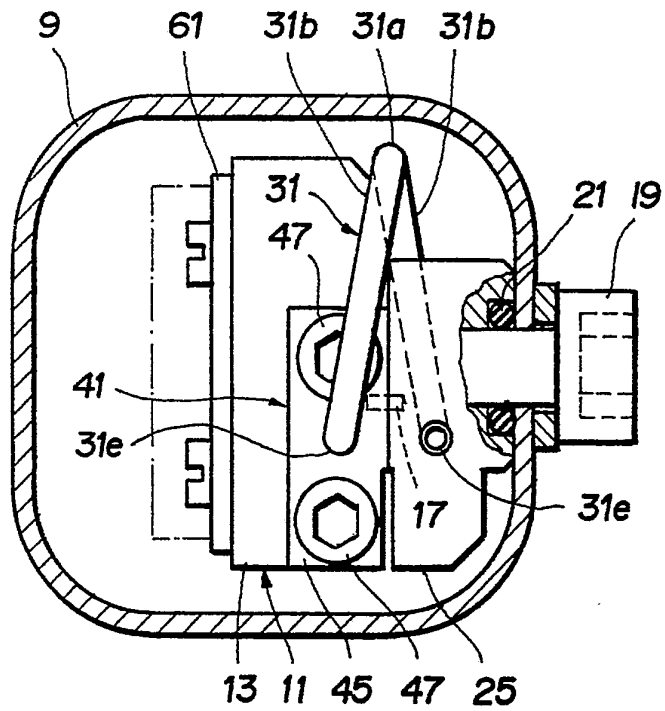
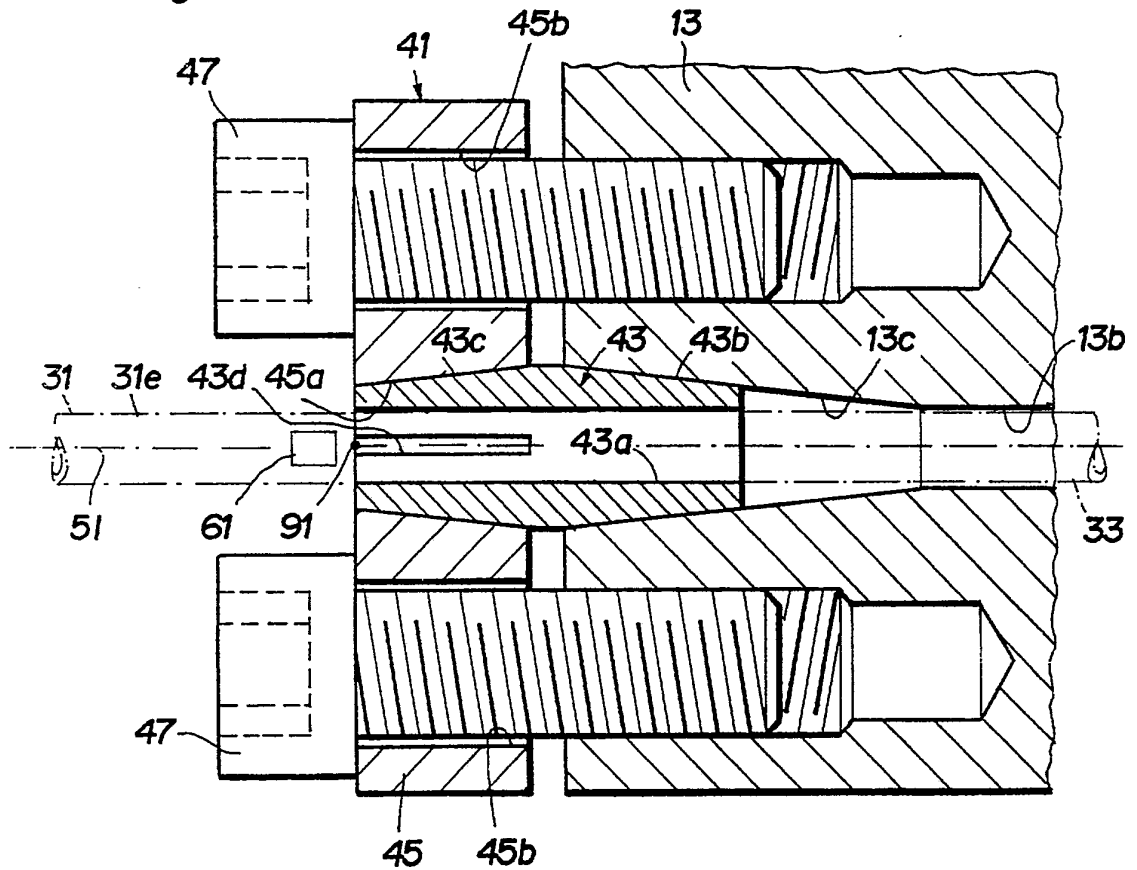


Fig. 6



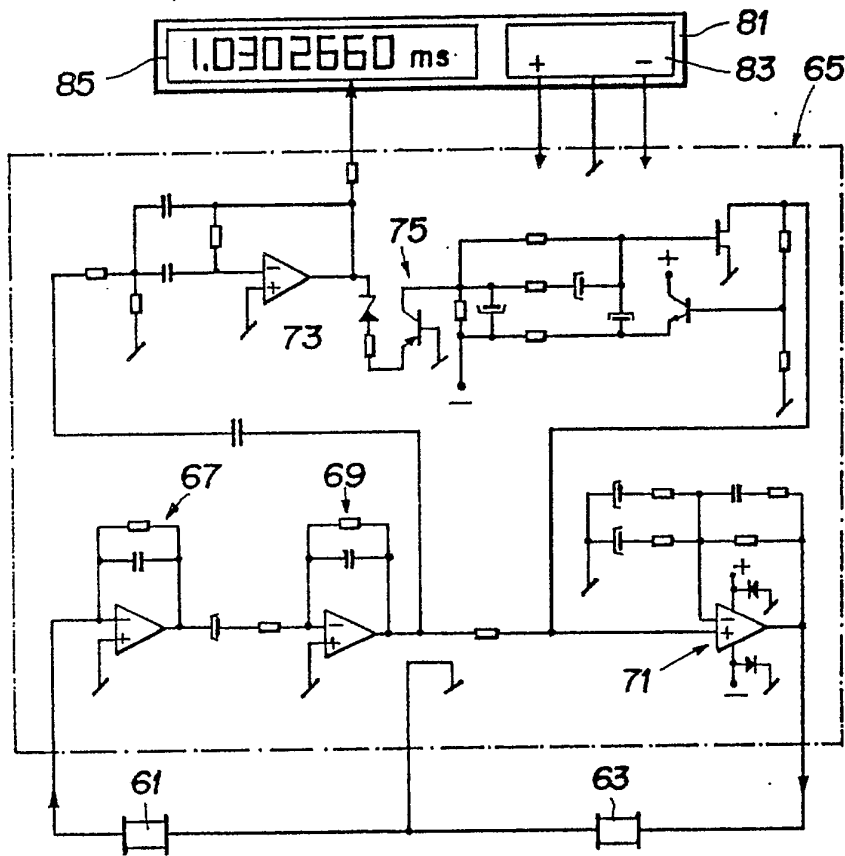


Fig. 7

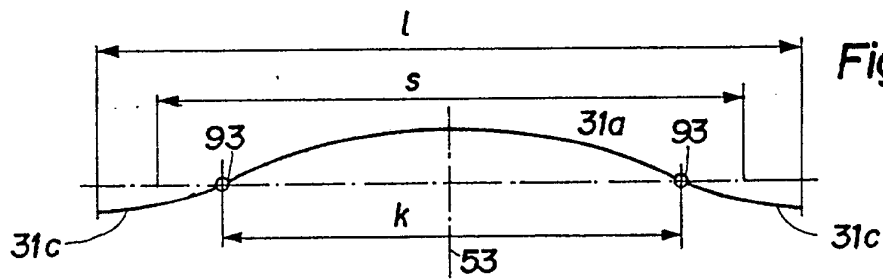


Fig. 8

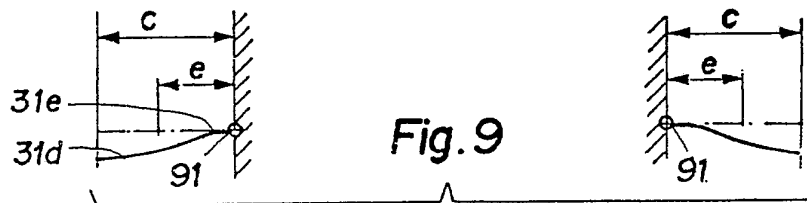


Fig. 9

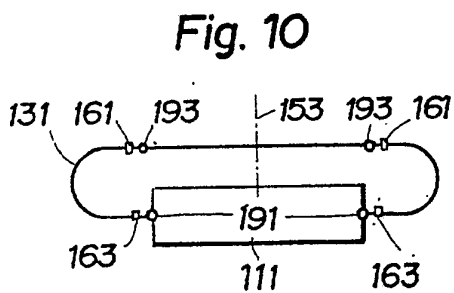


Fig. 10

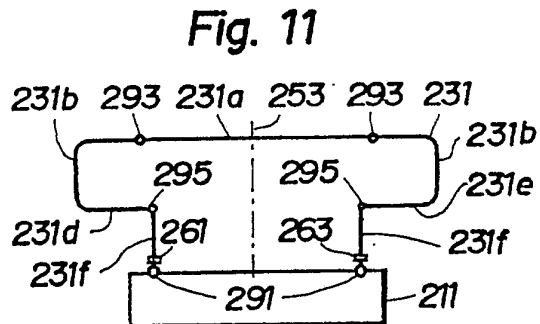


Fig. 11