

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Juli 2008 (10.07.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/080552 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/011146

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Dezember 2007 (19.12.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 062 552.8
29. Dezember 2006 (29.12.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **BARTELS MIKROTECHNIK GMBH** [DE/DE];
Emil-Figge-Strasse 76a, 44227 Dortmund (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BARTELS, Frank**

[DE/DE]; Mühlenkamp 1, 45527 Hattingen (DE). **RAW-
ERT, Markus** [DE/DE]; Bergallee 16, 48653 Coesfeld
(DE).

(74) Anwalt: **PÄTZOLD, Herbert**; Steubstraße 10, 82166
Gräfelfing/München (DE).

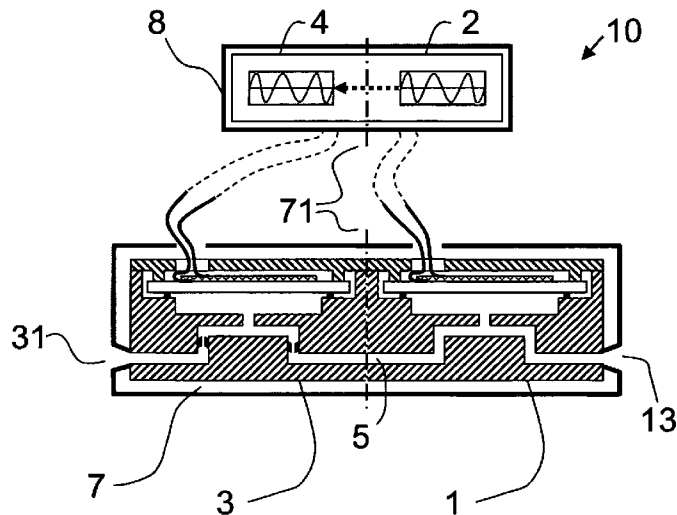
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE,
EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FLOW MEASUREMENT METHOD AND DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFLUSSMESSUNG



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for measuring volumetric flow rates of preferably liquid, but also gaseous fluids. A movably mounted membrane, one side of which can fluidically communicate with the pressure of the conveyed medium, is the core of the measuring instrument. Changes in pressure, which occur particularly in pulsating conveying mechanisms (e.g. diaphragm pumps), result in cyclic pressure variations in the measuring chamber and on the measuring membrane. If there is no pulsation because a non-pulsating conveying mechanism is used, the pulsation can be generated by means of an additional pulsating mechanism. The cyclically changing deflection of the measuring membrane can be detected by means of a suitable sensor, particularly a piezo active material that generates a tension when being bent, and can be fed to an electronic evaluation unit, for example. In a particularly advantageous embodiment, the conveying or pulsating mechanism and the measuring device are composed of nearly the same elements and are integrated into a common housing.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/080552 A2



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung von Volumenströmen vorzugsweise flüssiger, aber auch gasförmiger Fluide. Kern des Messinstrumentes ist eine beweglich gelagerte Membran, welche auf einer Seite fluidisch mit dem Druck des geförderten Mediums kommunizieren kann. Druckänderungen, wie sie insbesondere bei pulsierenden Fördereinrichtungen (z.B. Membranpumpen) auftreten, führen zu zyklischen Druckänderungen in der Messkammer und an der Messmembran. Fehlt die Pulsation durch Verwendung einer nicht-pulsierenden Fördereinrichtung, so kann die Pulsation durch eine zusätzliche Pulsationseinrichtung erzeugt werden. Mittels eines geeigneten Aufnehmers, insbesondere eines piezoaktiven Materials, welches bei Biegung eine Spannung erzeugt, kann die sich zyklisch ändernde Auslenkung der Messmembran erfasst und beispielsweise einer Auswertelektronik zugeführt werden. In einer besonders vorteilhaften Ausführung bestehen Förder- bzw. Pulsations- und Messeinrichtung aus nahezu den gleichen Elementen und sind in ein gemeinsames Gehäuse integriert.

Verfahren und Vorrichtung zur Durchflussmessung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung der mittels einer Fördereinrichtung geförderten Fluidmenge sowie eine Vorrichtung zur Ausführung derselben.

5 Die Messung von Volumen- und Massenströmen ist in vielen Bereichen der Technik von großem Interesse. Insbesondere bei der Regelung von Durchflussmengen muss die Messgröße von einem zuverlässigen Sensor erfasst und an das Regelwerk weitergeleitet werden. Die Anwendungsfelder reichen von der Schwerindustrie
10 (z.B. Volumenstrommessung von hydraulischen Flüssigkeiten in Antrieben), der Kfz-Industrie (Luftmassensensor, Kraftstoffpumpenregelung), über die Verfahrenstechnik und Pharmazie (Regelung des Mischungsverhältnisses während der kontinuierlich ablaufenden Mischung verschiedener Medien bzw. Substanzen), die
15 Elektro- und Elektronikindustrie (z.B. kontinuierliche Lötvorgänge), die Kunststoffindustrie (genaues Fördern von Kunststoffgranulat beim Herstellen von Endlosfolien oder -rohren), die Medizintechnik (Förderung von Blut; Dialyse; genaue kontinuierliche Wirkstoffdosierung), bis hin zur Mikro-
20 und Nanotechnologie (z.B. Beschichten von Oberflächen mit einige Atomlagen dünnen Schichten in Durchlaufprozessen).

Generell kann davon ausgegangen werden, dass Volumenstromsensoren überall dort zum Einsatz kommen, wo der zeitliche Verlauf der realisierten Fördermenge (die Förderrate) mittels geeigneter
25 Fördereinrichtungen (z.B. Pumpen) bekannt sein muss.

Allgemein können die zu messenden Medien sowohl Flüssigkeiten (z.B. Wasser, Chemikalien, Lote, etc.) als auch Gase (z.B. Luft, Edel- oder Reaktionsgase, Kühlgase, etc.) oder (partikelförmige) Feststoffe (z.B. Granulat, Sand, Schüttgut, etc.) sein. Je nach
30 zu messendem Medium werden spezifische Ansprüche an den Sensor gestellt, weshalb es nicht möglich ist, einen Sensor zu konzipieren, der für alle Medien und Anwendungsfelder eingesetzt werden kann.

Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere die Erfassung und Messung von Fluidströmen. Ein Fluid ist ein Stoff, der als Kontinuum betrachtet wird. Alle Gase und Flüssigkeiten sind Fluide. Diese Fluide verformen sich unter dem Einfluss von Scherspannungen unbegrenzt. Im Ruhezustand können diese Fluide jedoch keine Schubspannung aufnehmen, sondern nur Normalspannungen, die durch eine skalare Größe, den so genannten Druck beschrieben wird. Fluide werden grundsätzlich wie auch erfindungsgemäß in Newtonsche Fluide oder Nicht-Newtonsche Fluide unterteilt, wobei zur Klassifizierung der funktionale Zusammenhang von Schub-/Scherspannung und Verzerrungsgeschwindigkeit, der das Fließverhalten des Mediums beschreibt, herangezogen wird.

Neben der Medienart sind vor allem der Messbereich (geringster und höchster zu messender Volumenstrom) und die notwendige Genauigkeit dafür ausschlaggebend, welche Art von Sensor zum Einsatz gelangt. Im Stand der Technik ist eine kaum zu überblickende Vielzahl von Sensoren bekannt, die praktisch alle Felder der Technik abdeckt. Optimierungsbedarf existiert allerdings häufig in den Bereichen Robustheit, Kosten und Genauigkeit, insbesondere am unteren Ende des technisch sinnvollen bzw. möglichen Messbereiches.

Speziell im Bereich der Mikro- und Nanotechnologie werden im Allgemeinen kleinste Mengen von Fluiden, meist Flüssigkeiten, gefördert. Diese bewegen sich oftmals im Bereich von nl/min bis ml/min. Das Messen derart geringer Fluidmengen stellt eine besondere technische Herausforderung dar, da der Sensor aufgrund der Grenzen seiner Miniaturisierbarkeit einen wesentlichen Einfluss auf das gesamte fluidische System ausübt, denn er ist im Vergleich zur Fördereinrichtung und den entsprechenden Volumina nicht mehr vernachlässigbar klein. Als Folge hiervon beeinflusst der Sensor seinerseits das Messergebnis, indem er beispielsweise dem Fluid einen zusätzlichen Widerstand entgegensetzt, oder dessen Viskosität und somit Fließfähigkeit durch signifikante, also nicht vernachlässigbare Erwärmung

beeinflusst. In diesen Fällen muss der Sensor selber als Störgröße aufgefasst werden. Wenn auf kein Messprinzip mit geringerer Beeinflussung ausgewichen werden kann, muss der Grad der Beeinflussung bekannt sein und in der Auswertung der Sensorsignale berücksichtigt werden. Ist beispielsweise die Wärmekapazität des Sensors bekannt, so kann die Energie, welche zu dessen Erwärmung notwendig ist, berechnet und von der gemessenen Energie abgezogen werden. Aus der Differenz kann nun die Geschwindigkeit bestimmt werden, mit welcher das Fluid an der Wärmequelle vorbeigeströmt sein muss. Je nach Messprinzip wirkt sich der Einfluss auf unterschiedliche physikalische Parameter aus; vor allem können Sensoren den maximalen Fluidstrom und die Viskosität und somit die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids beeinflussen.

Für die Messung von Fluidvolumenströmen sind aus der Technik insbesondere folgende Prinzipien bekannt, wobei nicht alle Verfahren bei vertretbarem Aufwand gleichermaßen für kleine und kleinste Mengen geeignet sind:

Bei der Messung mittels Heizdraht wird ein durch Strom erhitzter Draht (z.B. Platin) in den Fluidstrom eingebracht. Dort erwärmt er das umgebende Fluid. Je nach Fließgeschwindigkeit des Fluids wird am Draht mehr oder weniger Wärme abgeführt. Dies kann z.B. über einen Temperatursensor, der dem Heizdraht in geringem Abstand nachgeordnet ist, detektiert werden. Aus der vom Sensor erfassten Temperaturdifferenz wird dann auf den Volumenstrom geschlossen.

Bei einem ähnlichen Prinzip wird die Temperatur des Heizelementes, welches direkt an einem Temperatursensor liegt, konstant gehalten, und die dazu notwendige Leistung als Messgröße benutzt (z.B. Luftmassensensor im Kfz).

Nachteilig bei der Heizdrahtmessung ist insbesondere, dass je nach Aufbau eine nicht unerhebliche Menge an Energie für die Erwärmung des Fluids verbraucht wird. Da Mikrosysteme jedoch gerade unter dem Gesichtspunkt der zunehmenden Mobilität zumeist nur einen eng begrenzten Vorrat an Energie besitzen, ist ein

Verbrauch durch Umwandlung in Wärme unerwünscht. Ebenso unerwünscht ist die Erwärmung des Fluids an sich, da in bestimmten Anwendungen temperatursensitive Flüssigkeiten oder Substanzen (z.B. medizinische Wirkstoffe) gefördert werden, die durch die Erwärmung nachteilig beeinflusst werden könnten. Auch das erforderliche „Selbstreinigen“ der Drähte durch kurzzeitige sehr hohe Leistungen, die zu einer Erwärmung bis hin zur Rotglut führen, wobei Schmutzpartikel und Ablagerungen im Wege der Pyrolyse verbrennen, ist in solchen Systemen aufgrund der oft temperaturempfindlichen Materialien (Kunststoffe) zumindest einzelner Bauteile nicht anwendbar.

Des Weiteren funktioniert diese Art der Messung nur bei kontinuierlichen, pulsationsfreien Strömungen ausreichend gut. Pulsiert die Strömung, wie es bei der Verwendung von Fördereinrichtungen wie z.B. Membran- oder Kolbenpumpen der Fall ist, so verläuft der Wärmetransport zum Sensor nicht mehr gleichförmig. Schließlich können dabei auch Turbulenzen auftreten, durch die die Wärme in unvorhersehbarer Weise im Kanal verteilt wird, so dass das Ergebnis verfälscht wird und nicht reproduziert werden kann.

Häufig erfolgt eine Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit unter Nutzung bekannter physikalischer Zusammenhänge, welche den Zusammenhang von Strömungsgeschwindigkeit und Fluiddruck beschreiben. Zur Erfassung des Drucks an einer oder mehreren Stellen werden Drucksensoren unterschiedlicher Bauart benutzt, die je nach Ausführung den statischen, den dynamischen oder den Gesamtdruck am Messort liefern. Hierzu können sowohl Absolut- als auch Differenzdrucksensoren zum Einsatz kommen.

Ist der Druckunterschied zwischen zwei Stellen eines fluidischen Systems und die dazugehörige Geometrie bekannt, so kann auf den zwischen diesen Stellen fließenden Volumenstrom geschlossen werden.

In einer häufig anzutreffenden Bauform besitzt ein Differenzdrucksensor eine Kammer, die durch eine Membran in zwei hermetisch voneinander getrennte Halbräume unterteilt ist. Bei

Druckbeaufschlagung eines der beiden Halbräume ändert sich die Wölbung der Membran, welche mittels geeigneter Hilfsmittel in eine elektrische Größe überführt werden kann. Ist einer der Halbräume mit dem Fluid in Kommunikation und die andere mit der Umgebung (offene Kammer), so wird der Innendruck des Fluidkanals gegen den Umgebungsdruck gemessen, da das Ausmaß der Wölbung der Druckdifferenz zwischen innen und außen entspricht.

Alternativ können auch mit beide Kammern dem Fluid in Verbindung stehen, wobei sie mit voneinander beabstandeten Stellen des fluidführenden Kanals gekoppelt sind. Dann wird der Differenzdruck dieser beiden Stellen gemessen.

In einer Variante befinden sich die zwei Messpunkte in bestimmtem Abstand voneinander an den Wänden eines Kanals bzw. Rohres mit einem zweistufigen Durchmesser. Durch das Messen des Druckabfalls („Wirkdruck“) über die beide Querschnitte umfassende Messstrecke kann unter Berücksichtigung des jeweils bekannten Kanalquerschnitts auf den Volumenstrom geschlossen werden; der Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Druckdifferenz wird durch die so genannte Toricelli-Gleichung beschrieben.

Das generelle Prinzip dieser Messung wird als das sog. Bernoulli-Prinzip bezeichnet, welches besagt, dass eine Querschnittsverjüngung eines strömenden Fluids mit einer Geschwindigkeitserhöhung einhergeht. Dieses ist von der allgemeineren Bernoulli-Gleichung abgeleitet, wonach die Summe aller Energieformen eines fließenden Fluids an verschiedenen Stellen eines Strömungspfades immer gleich ist. Ebenso kommt die Aussage Bernoullis zum Tragen, wonach der Gesamtdruck in einem Fluid die Summe aus statischem und dynamischem Druck ist.

Bei der Messung mittels Differenzdrücken muss der Kanalquerschnitt jedoch unter Umständen deutlich verringert werden, um bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten und somit Volumenströmen einen ausreichend hohen Differenzdruck zu erhalten. Eine hierfür künstlich in das System eingebrachte Drossel verringert im ungünstigen Fall die Gesamtleistung der

druckerzeugenden Fördereinrichtung. Insbesondere im Falle kleinster Volumenströme und/oder miniaturisierter Pumpen ist dieses Prinzip daher ungeeignet.

Ein Absolutdrucksensor vergleicht den zu messenden Druck mit einem festen Wert. Im Allgemeinen besitzt er hierzu zwei mittels einer Membran hermetisch voneinander getrennte Kammern, von denen eine mit dem zu messenden Fluid in Kontakt steht, und die andere durch ein geschlossenes Gehäuse einen hermetisch dichten Raum bildet. In diesem Raum herrscht ein bei der Herstellung des Sensors voreingestellter Druck, der im Normalfall nicht veränderbar ist. Sofern es zu Temperaturschwankungen kommt, können diese beispielsweise mittels eines integrierten Temperatursensors erfasst und herausgerechnet werden.

Sind zwei derartige Sensoren an zwei unterschiedlichen Stellen eines fluidführenden Kanals angebracht, so kann durch Subtraktion beider Absolutdrücke der Differenzdruck zwischen den beiden Messpunkten bestimmt werden. Die weitere Auswertung entspricht dem zuvor beschriebenen Fall.

In einer anderen Variante wird der Druckabfall in einem geraden oder gekrümmten Rohr aufgrund von Reibung zur Bestimmung des Volumenstroms benutzt. Das hier zugrunde liegende Prinzip wird über die Grenzschichttheorie für laminare Strömungen durch das Gesetz von Hagen-Poiseuille beschrieben. Auch hier können wieder verschiedene Arten von Drucksensoren zum Einsatz kommen.

Bei der Messung mittels Differenzdrücken dieser Variante fällt der Nachteil des sich verengenden Kanalquerschnitts weg. Allerdings ist eine gewisse Reibung im Fluid notwendig, da sonst der Druckabfall zwischen den Messpunkten zu gering ausfällt bzw. die Messstrecke sehr lang sein muss. Beide Nachteile kommen insbesondere in miniaturisierten Systemen, bei denen kurze Strecken und ohnehin geringe Pumpleistungen zur Verfügung stehen, besonders zum Tragen.

Der Nutzung von Gesamtdrucksensoren liegt der bekannte Zusammenhang der Proportionalität von Strömungsgeschwindigkeit und dynamischem Druck zugrunde. Der Gesamtdruck setzt sich aus

einem statischen und dynamischen Druckanteil zusammen (Gesetz von Bernoulli).

Um mittels dieses Prinzips die Strömungsgeschwindigkeit zu bestimmen, muss ein entsprechender Drucksensor entweder den dynamischen Druck direkt bestimmen, oder er muss den Gesamtdruck sowie den statischen Druck erfassen. Der fehlende dritte Druck (dynamischer Druck) kann dann direkt durch Subtraktion errechnet werden. Dieser Sensor kann in seiner Gesamtheit durchaus mehrere einzelne Drucksensoren, die für die Erfassung der einzelnen Drücke verantwortlich sind, umfassen.

Praktisches Beispiel für die Ausführung eines Gesamtdrucksensors ist beispielsweise das sog. Pitot-Rohr, ein L-förmiges Rohr, welches insbesondere in der Luftfahrt eingesetzt wird. Als Prandtl'sches Staurohr weiterentwickelt, besitzt es zum einen eine in Strömungsrichtung weisende Hauptöffnung, mit welcher die Summe aus Staudruck (dynamischer Druck) und statischem Druck (Umgebungsdruck) als Gesamtdruck erfasst werden kann. Das Rohr besitzt außerdem noch seitliche Bohrungen, mit denen lediglich nur der das Messrohr umgebende statische Druck erfasst wird. Mittels eines geeigneten Differenzdrucksensors, dessen beide Kammern mit jeweils einem der beiden Drücke beaufschlagt werden, kann die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids dann durch eine Erfassung des Druckunterschiedes zwischen statischem und Gesamtdruck bestimmt werden. Anstelle eines Differenzdrucksensors können selbstverständlich auch zwei Absolutdrucksensoren zum Einsatz kommen.

Derartige Sensoren sind vor allem in der Verfahrenstechnik verbreitet und können für eine Vielzahl von Medien eingesetzt werden. Der dort geläufige Name ist Staudrucksonde. Für kleinste Fluidmengen sind sie wenig geeignet, da die Sonde im Verhältnis zum Kanaldurchmesser klein sein muss, um die Druck- und somit die Strömungsverhältnisse nicht ihrerseits zu beeinflussen. Aufgrund der schlechten Miniaturisierbarkeit des Aufbaus sind keine auf dem Prinzip des Pitot- bzw. Prandtl'schen Staurohrs basierenden Mikrosensoren bekannt.

Befinden sich Elemente im Volumenstrom, die diesem einen gewissen Widerstand entgegen setzen, so bewirken die sich dabei einstellenden Kräfte eine Verformung der Elemente. Sind diese Elemente dazu geeignet, ihre Verformung z.B. mittels Veränderung
5 ihres elektrischen Widerstandes einer Messung zugänglich zu machen, so kann auf diese Art mittels sogenannter Dehnmessstreifen bequem auf den die Verformung hervorruhenden Fluidstrom geschlossen werden.

Dehnmessstreifen (DMS) im Volumenstrom behindern jedoch
10 insbesondere bei sehr kleinen Kanalquerschnitten den freien Fluidtransport nicht unwesentlich, wenn sie senkrecht zur Flussrichtung aufgestellt werden. Außerdem sind die Förderraten und auch die daraus resultierenden, für DMS nutzbaren Kräfte in solchen Systemen oftmals sehr gering. Eine unzureichende
15 Empfindlichkeit der Messung ist die Folge.

Beim Messen mit mechanisch bewegten Teilen werden diese zum Beispiel in Form von rotierenden Schaufeln in den Fluidstrom eingebracht und von diesem in Rotation versetzt, so dient die Rotationsgeschwindigkeit als dem Volumenstrom annähernd
20 proportional zuzuordnende Messgröße. Füllen die einzelnen Schaufelvolumina jeweils den Kanal über seinen gesamten Querschnitt, so kann kein Fluid den Querschnitt passieren, ohne den Sensor in Bewegung zu setzen (Unterbindung von „Nebenluft“). Die Messung wird dadurch von Parametern wie Viskosität,
25 Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit unabhängig. Beispiele sind Volumenmesser in Wasseruhren oder an Benzinzapfanlagen älterer Bauart. Derartige Messinstrumente sind unter dem Namen „Ringkolbenzähler“, „Woltmann-Zähler“ oder „Strahlzähler“ (engl. jet meter) bekannt.

30 Ein weiteres Verfahren der Volumenstrommessung benutzt eine Stauklappe, die sich bei steigendem Volumenstrom immer weiter öffnet. Die Klappenstellung wird dann elektrisch ausgewertet.

Bereits aus den Zeiten des Römischen Imperiums bekannt sind Venturi-Zähler, bei denen der Volumenstrom mechanisch behindert
35 und der Differenzdruck entlang des Hindernisses gemessen wird.

Ähnlich arbeiten Instrumente, welche die Stärke von Verwirbelungen an Hindernissen messen (engl. vortex meter).

Mechanisch bewegte Teile haben jedoch generell den Nachteil mechanischer Abnutzung. Ein weiteres Problem stellen
5 insbesondere in Bezug auf Mikrosysteme die fertigungsbedingt großen „relativen“ Toleranzen dar. Während beispielsweise Spalte von 10 Mikrometern zwischen einem Schaufelrad und der Kanalwand bei einer Kanalbreite von einigen Zentimetern kein Problem darstellen, führt eine Spaltbreite ähnlicher Größenordnung bei
10 Mikrokanälen von teilweise unter 100 Mikrometern zu deutlichen Nebenströmungen. Im Extremfall liegen die Toleranzen im Bereich der Kanalquerschnitte selber. Als Resultat hieraus ergeben sich Nachteile sowohl durch die erwähnten Nebenströmungen als auch erhöhte mechanische Abnutzung (z.B. bei Welle-Nabe-
15 Verbindungen). Zudem ist die Miniaturisierung mechanischer Teile nur sehr begrenzt möglich, so dass derartige Systeme zumindest für die Erfassung kleiner und kleinster Fließraten nicht genutzt werden können.

Ist das zu messende Medium ein leitendes Fluid (z.B. Wasser), so
20 kann dieses als Leiter angesehen werden, der sich in einem magnetischen Feld, welches von außen angelegt wird, bewegt. Nach dem Gesetz von Faraday zur elektromagnetischen Induktion wird so eine Potenzialdifferenz erzeugt, die proportional zur Fließgeschwindigkeit des Fluids ist. Diese kann mittels geeigneter
25 Elektroden abgenommen und gemessen werden.

Diese magnetischen Zähler haben jedoch den Hauptnachteil einer nicht unerheblichen Stromaufnahme, die zur Generierung des Magnetfeldes benötigt wird. Weiterhin ist der Aufbau einer miniaturisierten Spule in entsprechend kleinen Dimensionen -
30 wenn überhaupt - nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren.

Ultraschallzähler messen den Unterschied in der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellenpulsen, die in einem bestimmten Winkel entgegen bzw. in Richtung des Flusses ausgesendet werden. Aus der Zeitdifferenz kann auf die mittlere

Fließgeschwindigkeit entlang des Ultraschall-Pfades geschlossen werden.

Aber auch die Bestimmung der Dopplerverschiebung eines am Fluid reflektierten (Ultra-) Schallstrahls kann zur Messung der Fluidgeschwindigkeit genutzt werden.

Ultraschallzähler sind jedoch eher für größere Kanalquerschnitte geeignet, da die dazu notwendigen Transducer im Verhältnis zum Kanal klein sein müssen, weil sonst keine ausreichend genaue Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit möglich ist.

Die Coriolis-Massenstrommessung funktioniert dergestalt, dass ein elastisches Rohr (gerade oder gebogen) mittels einer mechanischen Vorrichtung in Transversalschwingungen versetzt wird. Fließt kein Fluid im Rohr, so bildet sich ein anderes Schwingungsmuster aus als bei Fließgeschwindigkeiten größer Null. Die Änderung der Schwingungsform ist direkt mit dem Massenstrom des Fluids verknüpft. Ein einfaches Multiplizieren des Volumenstromes mit der Dichte des Fluids ist dann nicht mehr korrekt, wenn Luftblasen oder über den Querschnitt nicht konstante Dichteverteilungen vorhanden sind. Die Coriolismessung ist daher auch nicht als Volumenstrommessung nutzbar.

Ferner ist die Coriolis-Massenstrommessung nur schwer auf miniaturisierte Systeme anwendbar. Sowohl die Realisierung eines frei schwingenden Rohrstückes als auch die Ausprägung der Vibration sowie die Messung der Schwingungsform lassen sich nur mit erheblichem Aufwand und bis zu einer Mindestgröße hin realisieren.

Mittels geeigneter Bildaufnahmegeräte, welche die Bewegung natürlicher Verunreinigungen oder zugesetzter sog. Tracer-Partikel in einem strömenden Fluid erfassen, kann bei bekanntem Durchmesser auf den der Bewegungsgeschwindigkeit zugrunde liegenden Volumenstrom geschlossen werden („Laufzeitverfahren“). Je nach Art des Fluids muss hierbei noch das Strömungsprofil (z.B. Parabel-Profil bei Newtonschen Flüssigkeiten) berücksichtigt werden.

Vorteilhaft an derartigen Messverfahren ist die Möglichkeit, insbesondere höherviskose Medien zu messen, ohne dem Fluidstrom einen Widerstand entgegensetzen zu müssen. Nachteilig ist die Notwendigkeit von durch das Fluid transportierten Partikeln und
5 die Tatsache, dass eine gewisse Transparenz des gefordert ist.

Insbesondere bei Gasen kann der Effekt genutzt werden, dass ein im Fluidstrom befindlicher Draht in Schwingungen gerät, deren Frequenz der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und somit dem Volumendurchfluss proportional ist. Die Schwingungen werden
10 dabei durch sich wechselseitig ausbildende, von der Strömung abgelöste Wirbel erzeugt. Mit sogenannten Wirbelzählern können sowohl die Schwingungen des Drahtes, als auch die durch die periodischen Wirbelablösungen erzeugten Druckschwankungen (z.B. kapazitiv) erfasst und weiterverarbeitet werden.

15 Dieses Messprinzip ist universell auf Flüssigkeiten, Gase und Dämpfe anwendbar und bietet vor allem den Vorteil von Driftfreiheit, so dass über die gesamte Lebensdauer nicht nachkalibriert werden muss.

Allerdings versagt es prinzipiell in Kanälen unterhalb einer
20 Grenze von einigen hundert Mikrometern Breite bzw. Durchmesser, da sich dann nur noch laminare Strömungen ausbilden.

Hinsichtlich der Verwendung von Drucksensoren zur Erfassung einer Fluidmenge wird beispielsweise auf den folgenden Stand der Technik hingewiesen.

25 In US 6,871,551 B2 wird beispielsweise eine Kombination aus Fördereinrichtung und Messmittel zur Messung des ungefähren Fördervolumens vorgeschlagen, wobei die Fördereinrichtung und die Messmittel räumlich voneinander getrennt sind. Als Fördereinrichtung wird eine Verdrängerpumpe eingesetzt, während
30 als Messmittel ein Drucksensor oder ein an einer Aufhängung angebrachter Dehnungssensor vorgeschlagen wird. Bei eingeschalteter Pumpe wird das Fluid durch einen elastischen Schlauch transportiert, so dass die dadurch bewirkte Druckveränderung am der Wandung des Schlauches mit dem Sensor erfasst
35 werden kann. Aus der erfassten Druckveränderung soll dann auf die

pro Zeiteinheit geförderte Fluidmenge geschlossen werden können. Das beschriebene Verfahren kann jedoch erst oberhalb eines bestimmten Volumenstrombereiches ($\geq$ ml/min-Bereich) angewendet werden, da die förderbedingte Verformung des Schlauchteils bzw.
5 deren Messung erst ab relativ großen Drücken (200 hPa bzw. 0,2 Bar Überdruck) ausreichend genau detektierbar ist.

Eine ähnliche Lösung wird in US 5,701,646 vorgeschlagen, wobei das Verfahren jedoch nur zum Nachweis des Vorhandenseins einer Flüssigkeit im Fördersystem, nicht jedoch zur Erfassung der
10 Fluidmenge beschrieben wird. Der Drucksensor umfasst explizit eine piezoelektrische Schicht, mit welcher die förderbedingte Verformung des elastischen Schlauches erfasst und in Form elektrischer Signale bereitgestellt werden kann.

Ein weiteres Verfahren zur Messung des Fluidstroms flüssiger
15 (nicht gasförmiger) Medien wird in US 20040247446 offenbart, wobei sowohl das oben erwähnte Prinzip der Wärmedissipation bzw. des Wärmetransfers von einer Wärmequelle auf einen Wärmesensor, als auch die Messung des fluidischen Drucks mit Hilfe eines z.B. piezoresistiven Dickschichtensors zum Tragen kommt, während die
20 Flussrate dabei mittels des Wärmesensors bestimmt, dient der Drucksensor hingegen lediglich der Detektion des Erreichens eines Maximaldrucks, nicht jedoch der Bestimmung der Flussrate. Aufgrund der kombinierten Wärmemessung ist das Verfahren nicht für Gase geeignet und weist die obigen Nachteile einer
25 derartigen Messung auf.

Die vorliegend dargestellten Verfahren des Standes der Technik unter Verwendung von Drucksensoren zur Erfassung einer geförderten Fluidmenge weisen zunächst den gemeinsamen Nachteil auf, dass nur kontinuierlich und gleichförmig transportierte
30 Fluidmengen mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden können. Weitere Nachteile betreffen sowohl die z.T. erheblichen Kosten der Systemkomponenten als auch die Möglichkeit ihrer Integration in Vorrichtungen, die im Bereich der Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie eingesetzt werden sollen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher in der Bereitstellung eines Verfahrens zur Erfassung einer geförderten Fluidmenge, welches unter Verwendung kostengünstiger Komponenten ausgeführt werden kann und gerade bei sehr kleinen Fördermengen reproduzierbar genaueste Ergebnisse liefert. Ferner umfasst die Aufgabe die Bereitstellung geeigneter Vorrichtungen und Komponenten zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Zur Lösung der gestellten Aufgabe werden das Verfahren gemäß Hauptanspruch sowie die Vorrichtung gemäß Anspruch 6 vorgeschlagen. Besonders bevorzugte Ausführungsformen sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben. Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Erfassung der einen Kanal pulsierend durchströmenden Fluidmenge und basiert auf einem Vergleich der Profile mindestens zweier Signale, die mit einer pulsationsbedingten Druckveränderung des Fluidstromes in Beziehung stehen und zeitgleich an nicht identischen Stellen oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten an einer Stelle des Fluidstromes erfasst werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren erfolgt dabei vorzugsweise in folgenden Schritten:

- Mittels des bzw. der Messmittel wird ein Signal, welches die Druckpulsation des Fluids widerspiegelt, erfasst und nötigenfalls in eine elektronisch weiterverarbeitbare Form gebracht.
- Aus den erfassten Signalen werden Profile oder Normwerte generiert.
- Die Profile bzw. Normwerte werden miteinander verglichen.
- Mittels geeigneter Verfahren kann aus dem Vergleich der Profile der Volumenstrom des Fluids bestimmt werden.

Die zur vorliegenden Erfindung durchgeführten Experimente zeigen, dass auch kleinste Mengen eines Fluids sicher erfasst werden können, sofern das Fluid pulsiert und die pulsationsbedingte Druckänderung erfasst werden kann und/oder

bekannt ist. Ferner haben Experimente überraschenderweise gezeigt, dass Unregelmäßigkeiten im Fluidstrom, wie sie z.B. durch mitgeführte Luftblasen entstehen können, aufgrund der hohen Sensitivität des erfindungsgemäßen Verfahrens sicher
5 festgestellt und gegebenenfalls berücksichtigt oder sogar beseitigt werden können.

Im Folgenden wird überall dort, wo Austauschbarkeit gegeben ist, anstelle der Unterscheidung zwischen Pulsationseinrichtung und Pumpe vereinheitlichend der Ausdruck „Aktor“ benutzt.

10 Weiterhin sei vorangestellt, dass mit „System“ oder „Flowsensor“ der gesamte Pulsations- bzw. Pump- und Sensoreinheit umfassende Aufbau gemeint ist, wohingegen „Sensor“, „Drucksensor“ bzw. „Detektor“ lediglich die in diesem Aufbau vorhandene Einheit zur Aufnahme des Fluidpulsationsdrucks bezeichnen.

15 Wie in der nachfolgenden detaillierten Beschreibung und in den Zeichnungen ausgeführt wird, bezeichnet der vorliegend verwendete Begriff eines „Profils“ den Verlauf eines Signals innerhalb einer Pulsationsperiode und umfasst „Parameter“ wie insbesondere positive und/oder negative Amplitude, Steilheit der
20 positiven und negativen Flanken, und Zeitpunkt der verschiedenen Nulldurchgänge.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Erfassung der einen Kanal pulsierend durchströmenden Fluidmenge durch Vergleich der Profile mindestens zweier Signale, die mit einer pulsations-
25 bedingten Druckveränderung des Fluidstromes in Beziehung stehen und zeitgleich an nicht identischen Stellen des Fluidstromes oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten an einer Stelle des Fluidstromes erfasst werden.

Erfindungsgemäß werden zum Vergleich die Kurvenverläufe der
30 „Profile“ und/oder einzelne oder mehrere Parameter derselben herangezogen. Diese Profile stellen die kleinste Einheit der sich aufgrund der Pulsation periodisch wiederholenden Signalverläufe dar, sofern sich das System in einem stationären Zustand befindet. Dieser wiederum wird durch Druckverläufe und
35 somit Profile gekennzeichnet, welche sich aus einer Aneinander-

reihung im Wesentlichen gleicher Pulse bzw. der daraus resultierenden Druckverläufe ergeben.

Nach einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann mindestens eines der Profile durch so genannte „Normwerte“ bereitgestellt werden, wobei diese Normwerte aus früheren Messungen oder Simulationen stammen.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden demnach mindestens ein erstes und ein zweites Signal benötigt, um daraus die entsprechenden Profile generieren und anschließend miteinander vergleichen zu können.

Das erste Signal wird erfindungsgemäß bereitgestellt durch (a) das Signal zur Ansteuerung der Pulsationseinrichtung, durch welche die Fluidmenge im Kanal in pulsierende Bewegung versetzt, oder (b) das Signal eines die Druckveränderungen des pulsierenden Fluids detektierenden Sensors, oder (c) Normwerte, wobei diese ihrerseits beispielsweise aus einer Simulation des fluidischen Systems oder aus zuvor durchgeführten Messungen und anschließender Generierung und Speicherung der Normwerte herrühren. Ein zweites Signal wird erfindungsgemäß durch einen stromabwärts angeordneten Drucksensor bereitgestellt.

Durch Vergleich der Profile bzw. der sie kennzeichnenden Parameter kann auf verschiedene Arten auf die den Kanal durchströmende Fluidmenge geschlossen werden. Hierzu werden z.B. mathematische Verfahren, oder Simulation des Systems herangezogen. Eine weitere Anwendungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht im Vergleich des aktuellen Profils bzw. aktueller Normwerte mit solchen Profilen bzw. Normwerten, die zuvor aufgenommen wurden und deren zugeordnete Fluidmengen bekannt sind. Die Bestimmung der Mengen dieser Vergleichsprofile bzw. Vergleichsnormwerte kann unter Nutzung anderer Verfahren wie z.B. Wiegen erfolgen.

Besonders vorteilhaft ist die nach einer bevorzugten Ausführungsform gegebene Möglichkeit, den Profilvergleich zur Detektion von Störungen im Fluidstrom erfolgen zu lassen. Diese Störungen betreffen insbesondere Gasblasen oder durch nicht

ordnungsgemäß arbeitende Fördereinrichtungen. Derartige Störungen können dementsprechend durch Vergleich eines Profils, welches dem wunschgemäßen Betrieb entspricht mit einem aktuell aufgenommenen, welches dem gestörten Betrieb entspricht, sicher
5 erkannt werden. Wird versucht, den ordnungsgemäßen Betrieb durch geeignete Maßnahmen wiederherzustellen, so kann der Erfolg dieser Maßnahmen zeitnah mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens kontrolliert werden.

Ferner wird erfindungsgemäß eine Vorrichtung zur Durchführung
10 des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt. Diese Vorrichtung dient der Bereitstellung und gewünschtenfalls der Verarbeitung der vorliegend beschriebenen Signale 1 und 2.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient der Erfassung (Detektion) der einen Kanal pulsierend durchströmenden Fluidmenge durch
15 Vergleich der Profile zweier Signale, die mit einer pulsationsbedingten Druckveränderung des Fluidstromes in Beziehung stehen und zeitgleich an nicht identischen Stellen des Fluidstromes oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten an einer Stelle des Fluidstromes erfasst werden, wobei die Vorrichtung mindestens
20 einen Detektor zur Erfassung einer Eingangsgröße und zur Transformation in eine Ausgangsgröße umfasst, der durch eine elastisch verformbare Membran gebildet ist, die in Bezug auf den fluidführenden Kanal ortsfest angeordnet ist und mindestens auf einer Seite mit dem Fluid in Kontakt steht, wobei die Membran an
25 ihrem Rand fluiddicht gegen den Kanal abschließt.

Ferner umfasst die Vorrichtung nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform eine Auswerteeinheit zur Weiterverarbeitung der Ausgangsgröße. Die Auswerteeinheit dient der Generierung erfindungsgemäßer Profile aus jeder Eingangsgröße, sowie ihrer
30 Weiterverarbeitung in Form eines Vergleichs mit weiteren Profilen, sowie gewünschtenfalls der Anzeige oder Weitergabe der aus der Weiterverarbeitung resultierenden Daten.

Die Auswerteeinheit kann dabei dem Detektor als externe Komponente oder vorzugsweise als integrierte Komponente zugeordnet sein.

Die vom Detektor erfindungsgemäß zu erfassende Eingangsgröße ist
5 vorzugsweise der an einem bestimmten Messort herrschende Druck der den Kanal durchströmenden Fluidmenge.

In einer bevorzugten Ausführung des erfindungsgemäßen Detektors liegt das Ausgangssignal des Detektors bzw. der Detektoren in einer Form vor, die sich leicht in ein elektrisches Signal
10 umformen lässt, wie z.B. als optisches, akustisches, mechanisches, magnetisches oder kapazitives Signale. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform liefert der Ausgang des Detektors direkt ein elektrisches Signal, also einen Strom, eine Spannung oder eine Widerstandsänderung.

15 Erfindungsgemäß wird der mindestens eine Detektor in Form einer in Bezug auf den Kanal ortsfesten, elastisch verformbaren Membran bereitgestellt, welche mindestens auf einer Seite mit dem zu messenden Fluid in Kontakt steht, so dass sie auf Druckänderungen des Fluids elastisch verformt bzw. ausgelenkt
20 wird. Erfindungsgemäß weist die Membran in Grundstellung eine Auslenkung von Null auf und kennzeichnet den Zustand, bei welchem der Druck beiderseits der Membran im Wesentlichen identisch ist. Als Membranmaterialien kommen prinzipiell alle im Handel erhältlichen Materialien in Frage. Vorzugsweise können
25 solche Materialien zum Einsatz gelangen, die einen Elastizitätsmodul besitzen, welcher deutlich geringer ist als derjenige des die Membran umgebenden Materials. Weiterhin sind solche Materialien bevorzugt, welche außerdem spezifische Anforderungen wie Dauerfestigkeit, Temperaturfestigkeit, Dichtheit usw.
30 erfüllen.

In einer besonders bevorzugten Ausführung umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung die elastisch verformbare Membran des mindestens einen Detektors in Form einer piezoelektrischen Schicht.

In einer alternativen besonders bevorzugten Ausführungsform des Detektors ist der dem Fluid abgewandten Seite einer elastisch verformbaren Membran, die nicht selber aus piezoelektrischem Material besteht, eine Schicht aus diesem Material aufgelagert.

5 Diese Schicht besitzt auf ihren beiden Seiten je eine Elektrode, welche über eine an jeder Elektrode angebrachte Leitung eine einfache Ableitung des Signals bzw. alternativ eine Zuleitung der zu einem nachfolgend beschriebenen temporären Pulsationsbetrieb notwendigen Leistung ermöglicht (vgl. Fig. 1, Fig. 13).

10 Vorteilhaft an diesen besonders bevorzugten Ausführungen ist die direkte Transformation des an der Membran anliegenden Druckes (der Eingangsgröße) in ein elektrisches Signal.

In einer am meisten bevorzugten Ausführungsform weist die elastisch verformbare Membran die Eigenschaften eines Aktors auf. Dabei veranlasst das Anlegen einer elektrischen Spannung an
15 die Elektroden der Drucksensormembran eine Änderung ihrer Wölbung, so dass daraus eine Bewegung des an der Membran angrenzenden Fluids resultiert, welches beispielsweise besonders vorteilhaft zur Unterstützung der Pulsationseinrichtung beim
20 Austreiben von Gasblasen nutzbar ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst ferner bevorzugt eine Pulsationseinrichtung zur Erzeugung der zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens notwendigen Pulsation der den Kanal durchströmenden Fluidmenge.

25 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst die Pulsationseinrichtung eine piezogetriebene Membran, die in einer am meisten bevorzugten Ausführungsform dieselben konstruktiven Merkmale umfasst wie der zur erfindungsgemäßen Erfassung der Druckverläufe eingesetzte
30 Detektor.

Die Erfindung wird nachfolgend detailliert erläutert.

Wie zuvor ausgeführt, wird nach einer bevorzugten Ausführungsform das erste Signal zur Ansteuerung der Pulsations-

vorrichtung wie beispielsweise einer pulsierenden Pumpe oder von einem Sensor zur Erfassung des Druckzustandes eines bereits pulsierenden Fluids bereitgestellt, während das zweite Signal mit einem stromabwärts angeordneten Drucksensor generiert wird.

5 Weitere Signale können von weiteren, im Strömungsverlauf des Fluidkanals befindlichen Drucksensoren generiert werden. Den Vorgang des Vergleichs zweier zum gleichen Zeitpunkt, aber an verschiedenen Orten aufgenommener Signale ist exemplarisch in Fig. 9 dargestellt und wird an entsprechender Stelle ausführlich
10 beschrieben.

Das erste, den Druckzustand des pulsierenden Fluidstroms repräsentierende Signal kann alternativ auch in Form eines Normwertes bereitgestellt werden, welcher in einer erfindungsgemäßen Auswerteeinheit gespeichert sein kann und die Parameter des
15 Gesamtsystems wie insbesondere die Art des Fluids, den Durchmesser des Kanals und/oder die Eigenschaften der Pulsationsquelle berücksichtigt. Auch in diesem Fall wird das zweite Signal von dem stromabwärts angeordneten Drucksensor generiert.

Steht das erste Signal, welches dem Druckverlauf der
20 Pulsationsquelle zuzuordnen ist, nicht bereits beispielsweise in Form des Ansteuersignals des die Pulsation erzeugenden Aktors zur Verfügung, kann dieses auch mit dem das Signal 2 erzeugenden sensorischen Mittel selber gewonnen werden, wenn das so gewonnene, dem Signal 1 entsprechende Profil anschließend
25 abgespeichert wird, um zu einem späteren Zeitpunkt mit dem zeitversetzt aufgenommenen, aktualisierten Profil des Signals 2 verglichen zu werden. Eine derartige Vorrichtung wird beispielsweise in Fig. 1 dargestellt, wenn die dort gezeigte Mess- und Auswerteelektronik die Möglichkeit einer Speicherung
30 des durch den Sensor gewonnenen Signals 1 ermöglicht. Die Nutzung eines zuvor gespeicherten Signals als Grundlage für einen Vergleich mit einem Signal, welches zu einem späteren Zeitpunkt aufgenommen wird, ist exemplarisch in Fig. 12 dargestellt und wird an entsprechender Stelle detailliert
35 beschrieben.

Unabhängig von der tatsächlichen Ausführungsform werden erfindungsgemäß also stets mindestens zwei Signale einem Vergleich bzw. Abgleich zugeführt, wobei die Signale durch bestimmte Profile gekennzeichnet sind.

5 Diese Profile der mindestens zwei Signale werden erfindungsgemäß miteinander verglichen, was vorzugsweise dadurch geschieht, dass die beiden Signalverläufe über mindestens eine vollständige Pulsationsperiode übereinander geplottet und die jeweiligen Abweichungen bewertet werden. Nach einer bevorzugten
10 Ausführungsform kann dieser Vergleich automatisiert in einer integrierten oder parallel bereitgestellten Steuer- und/oder Auswerteeinheit erfolgen.

Vorzugsweise werden das erste Signal möglichst nah an der Pulsationsquelle und das zweite Signal stromabwärts der
15 Pulsationsquelle erfasst. In einer Variante der beschriebenen Ausführungsform besitzt das Messsystem ein weiteres Messmittel, das bevorzugterweise die Druckdetektion auch vor der Pulsationseinrichtung erlaubt.

Die vorliegende Erfindung bietet somit auch eine zuverlässige
20 Basis zur Detektion von Störungen im Fluidfluss. Hierzu wird auf die Fig. 12 sowie die entsprechende Beschreibung hingewiesen.

Schließlich ist es erfindungsgemäß möglich, auf die oben beschriebenen Störungen zu reagieren, indem die Förderleistung des von der Störung betroffenen Systems vorübergehend erhöht und
25 somit die Wahrscheinlichkeit einer Beseitigung der Störung durch Austreiben vergrößert wird. Dies wird exemplarisch in Fig. 13 verdeutlicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht folgende Vorgehensweisen zur Bestimmung des Volumenstromes aus dem Messsignal bzw. den
30 Messsignalen bzw. den daraus abgeleiteten Profilen vor:

- Aufnahme von Referenzkurvenformen als Normwerte zusammen mit den dazugehörigen, bekannten Volumenstrommengen, und Vergleich der Referenz- mit den aktuell aufgenommenen Messkurven mittels so genannter „look-up tables“;

- Nutzung eines Simulationsmodells, welches beispielsweise der Fluidtechnik äquivalente Ersatzschaltungen aus dem Bereich der Elektrotechnik nutzt, so dass eine Echtzeitkorrelation der Messdaten mit dem Simulationsmodell ermöglicht wird, welches dann den Volumenstrom liefert;
- Berechnung des Volumenstroms aufgrund der durch die Messung oder Konstruktion bekannten Parameter wie Druck, Geometrie, Viskosität, Druckverlauf, Ansteuersignal der Pumpe usw., wobei entsprechende Systeme von Differenzialgleichungen aufzustellen und in Echtzeit zu lösen sind.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden erfindungsgemäß unterschiedliche alternative Vorrichtungen vorgeschlagen. Diese Vorrichtungen dienen der Erfassung von Drücken und/oder Druckschwankungen in einem Fluidkanal und ggf. deren elektronischer Weiterverarbeitung, insbesondere der Extraktion der zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens notwendigen Profile und/oder Normwerte, sowie ggf. deren Speicherung.

Bevorzugt sind alle diejenigen Bauformen, die eine kostengünstige und raumsparende Fertigung des Systems erlauben. Ebenso bevorzugt sind Varianten, die eine möglichst geringe Anzahl unterschiedlicher Komponenten benötigen. Bevorzugt sind ferner solche Bauformen, die mit einer möglichst geringen Anzahl von Arbeitsschritten zur Herstellung des Systems auskommen. Diese Ausführungsformen sind im folgenden Text als bevorzugte, besonders bevorzugte oder am meisten bevorzugte Ausführungsformen gekennzeichnet.

Benötigt wird erfindungsgemäß mindestens ein Mittel zur Erfassung des Druckverlaufs für das Signal 2, sowie ein weiteres Mittel für die Erfassung des Druckverlaufs für das Signal 1, wenn dieses nicht bereits anderweitig zur Verfügung gestellt werden kann, z.B. durch Nutzung der Ansteuersignale der Pulsationsquelle, oder durch zuvor in einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung abgelegte Normwerte.

Bevorzugt sind alle Mittel zur Detektion von Drücken und/oder Druckschwankungen, welche das Signal in elektronisch weiterverarbeitbarer Form präsentieren, damit das erfindungsgemäße Verfahren darauf angewendet werden kann. Besonders bevorzugt sind daher sensorische Mittel, bei denen das Messsignal möglichst direkt als elektrische Größe (Strom, Spannung oder Widerstandsänderung) vorliegt. Wiederum besonders bevorzugte Verfahren sind solche, bei denen die Änderung des Ausgangssignals annähernd proportional zur Änderung der Messgröße ist. Dies ist beispielsweise bei Drucksensoren mit mechanisch verformter Membran der Fall, da sich deren Wölbung ungefähr proportional mit der Druckdifferenz beider Membranseiten ändert.

Dementsprechend wird eine besonders bevorzugte Ausführung des Mittels zur Detektion von Druckschwankungen durch eine ortsfeste, jedoch elastisch verformbare Membran, die in Kontakt mit dem strömenden Fluid steht, gebildet. Im Folgenden werden Varianten genannt, die das Verhältnis einer solchen Membran mit dem sie umgebenden Material betreffen.

Um die Detektormembran ortsfest zu halten, ist diese vorzugsweise entlang ihrer umlaufenden Kante mit dem sie umgebenden Material verbunden, wobei die Bewegungsfreiheit der Membran in mindestens einem Freiheitsgrad, vorzugsweise senkrecht zur Membranfläche, gewährleistet bleiben muss. Die Verbindung kann dabei beispielsweise durch Einspannen, Klemmen, oder auch durch einfaches lokales Verringern der Stärke des Umgebungsmaterials erfolgen.

Die Membran kann dabei fest eingespannt oder in einer bevorzugten Ausführung beweglich gelagert sein.

In einer ersten, einfachen Ausführung bildet die Membran einen Teil der Außenwand des Kanals, welcher vom zu messenden Fluid durchströmt wird. Bevorzugterweise ist die unmittelbare Umgebung der Membran möglichst unelastisch, so dass deren Verformung bei Druckänderung im Kanalinneren gegenüber der Membranwölbungsänderung zu vernachlässigen ist.

In einer alternativen Ausführung befindet sich die Membran an einem separaten, einen Hohlraum umschließenden und möglichst steifen Gehäuse und bildet einen Teil der Außenwand dieses Gehäuses. Das Innere des Gehäuses steht fluidisch in Kontakt mit dem zu messenden Fluid.

In einer dritten Ausführung befindet sich die Membran im Inneren des Gehäuses und teilt dessen Innenraum in zwei fluiddicht voneinander getrennte Kompartimente auf.

Eines der Kompartimente steht dabei in fluidischem Kontakt mit dem zu messenden Fluid, während das andere Kompartiment vollständig geschlossen sein oder aber mittels geeigneter fluidischer Verbindungselemente fluidischen Kontakt zur Umgebung haben (vgl. Fig. 1) oder in fluidischem Kontakt zu einer anderen Stelle des zu messenden Fluids stehen kann. Diese letzte Ausführung ermöglicht die Aufnahme zweier Signale mittels eines einzelnen Drucksensors, was einen besonderen Vorteil gegenüber dem Stand der Technik darstellt.

Als Herstellprozesse für ein Gehäuse eines Detektors der erfindungsgemäßen Vorrichtung, welcher eher in einer flächigen Anordnung wie in der Fig. 1 dargestellt ausgebildet ist, kommen sowohl additive Verfahren (Schichtaufbauten) als auch subtraktive (abtragende) Verfahren und Kombinationen derselben zum Einsatz. Besonders bevorzugt sind Aufbauten aus polymeren Schichten, die z.B. mittels Spritzguss, Laminieren oder Laserbearbeitung hergestellt werden können, und mittels Fügeverfahren wie Kleben, Klemmen, Laserschweißen oder Lösungsmittelkleben miteinander verbunden werden.

Es ist dabei wünschenswert, wenn die von der Pulsationseinrichtung stammende und mittels des strömenden Fluids übertragene Energie, die in die Auslenkung der Trenn- und Sensormembran fließt, um diese auszulenken und somit das Signal zu erzeugen, so gering wie möglich ist. Wenngleich die in den elastischen Membranen gespeicherte Energie bei deren Rückverformung wieder frei wird (elastische Feder), geht dies immer mit einem gewissen Verlust an Reibungswärme einher, die beispielsweise an der

elastischen Lagerung der Trennmembran entsteht. Gleiches gilt für die je nach Bauform mehr oder weniger häufig vorhandenen Fügespalte, in denen bei wiederkehrender Dehnung des Gehäuses Reibungs- und somit Energieverluste entstehen. Daher ist die
5 Steifigkeit des Gesamtsystems, vor allem jedoch diejenige der Sensoreinheit, möglichst hoch zu wählen.

Aufgabe eines erfindungsgemäßen und beispielsweise wie oben beschrieben aufgebauten Detektors ist die Erfassung der Druckschwankung des Fluids, sowie dessen Transformation in eine
10 Ausgangsgröße, die bevorzugterweise ein elektrisches Signal ist. Da die Druckschwankung des Fluids zu einer Wölbungs- bzw. Hubveränderung (im Folgenden zusammenfassend Membranauslenkung genannt) der elastisch verformbaren Membran führt, muss sichergestellt sein, dass diese Wölbung in ein elektrisches Signal
15 umgewandelt wird, welches der Wölbung eindeutig zugeordnet werden kann.

Als sensorisches Mittel für die Erfassung der Membranauslenkung, die bevorzugterweise der Druckänderung ungefähr proportional ist, können alle dem Stand der Technik bekannten Verfahren zum
20 Einsatz kommen. Derartige Verfahren können beispielsweise ausgewählt sein aus:

- optischen Verfahren, bei denen auf der fluidabgewandten Seite der Trennmembran eine reflektierende, biegsame Schicht angebracht ist, welche einen auf ihr auftreffenden Licht-
25 strahl ihrer Wölbung entsprechend unterschiedlicher stark streut;
- optischen Verfahren, bei denen auf der fluidabgewandten Seite der Trennmembran eine reflektierende, aber im Wesentlichen starre Schicht angebracht ist, welche einen auf ihr
30 auftreffenden Lichtstrahl ihrer Lage entsprechend in unterschiedliche Richtungen ablenkt;
- optischen Verfahren, die Laufzeitunterschiede aufgrund sich ändernder Abstände bestimmen können;

- akustischen Verfahren, die beispielsweise mit dem Doppler-Effekt Abstände messen;
- mechanischen Verfahren, bei denen die Wölbung über mechanische Elemente wie Stangen, Hebel, Gelenke usw. in eine einfach zu messende, lineare oder rotatorische Bewegung umgeformt wird, welche dann elektrisch weiterverarbeitet werden kann;
- elektrischen Verfahren, die zum Beispiel die Widerstandsänderung der sich bei Wölbung dehnenden Trennmembranoberseite mittels Schleifkontakten oder anderen geeigneten Prinzipien ableiten;
- magnetischen Verfahren, bei welchem Trennmembran und Gehäuse eine Kombination aus Tauchspule und Magnet bilden, so dass sich die Relativbewegung beider Elemente durch Strominduktion in der Spule messen lässt;
- magnetischen Verfahren, die den Hall-Effekt ausnutzen; und
- kapazitiven Verfahren, bei denen beispielsweise die Trennmembranoberseite und die Gehäuseinnenseite mit ladungstragenden Schichten belegt sind, so dass diese einen Kondensator formen, dessen Kapazität sich bei Änderung des Abstandes verändert.

Besonders bevorzugt sind jedoch Verfahren auf Basis einer piezoaktiven Schicht, die sich auf der dem Fluid abgewandten Seite der Membran befindet und mit dieser fest verbunden ist.

Die Detektormembran ist nach einer bevorzugten Ausführungsform identisch mit der piezoaktiven Schicht. Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die piezoaktive Schicht der aus einem anderen Material bestehenden elastisch verformbaren Membran aufgelagert und in einer besonders bevorzugten Ausführung mit dieser fest verbunden.

Ist nur eine Seite der Membran in Kontakt mit dem Fluid, so befindet sich die piezoaktive Schicht bevorzugt auf der dem Fluid abgewandten Seite. Stehen beide Seiten der Membran in

Kontakt mit dem Fluid, kann sich diese in einer Zwischenschicht der schichtartig aufgebauten Membran befinden.

Diese piezoaktive Schicht weist weiterhin beidseitig je mindestens eine Elektrode zur Abnahme und Weiterleitung der Spannung an eine Mess- bzw. Auswertevorrichtung auf. Die elektrischen Zuleitungen der Elektroden können im bevorzugten Fall eines nach außen offenen Kompartiments durch die vorhandene Öffnung nach außen geführt werden.

Die Elektroden können typischerweise mittels geeigneter Aufdampfprozesse an den entsprechenden Stellen erzeugt werden. Aber auch andere Verfahren wie z.B. das Aufkleben leitender Schichten oder das selektive Entfernen großflächiger Beschichtungen sowie das Nutzen leitfähiger Keramiken, die z.B. mittels Laserstrahlung aktiviert werden (sog. Molded-Interconnect-Device- / MID-Technik) können Verwendung finden. Folgende Varianten bezüglich der Form und Lage der Elektroden werden als besonders bevorzugt angesehen:

- Die Elektroden zur Spannungsmessung befinden sich als Streifen auf der dem Fluid abgewandten Seite der Membran.
 - Die Elektroden befinden sich in Form eines Sandwich-Aufbaus im Inneren der Membran.
 - Die Elektroden bestehen aus dünnen Leiterbahnen aus Gold, Kupfer, oder anderen leitenden oder halbleitenden Materialien.
- Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann vorzugsweise ferner eine Pulsationsquelle umfassen, die insbesondere dann notwendig ist, wenn die zu messende Fluidmenge nicht bereits in einer auswertbaren Form pulsiert.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Pulsationsquelle eine piezogetriebene Membran umfassen, aus deren Ansteuersignal das Signal 1 gewonnen werden kann, sofern die Ansteuersignale der Pulsationsquelle frei zugänglich sind.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Fördereinrichtung in Form

einer Pumpe umfassen, die besonders bevorzugt eine piezogetriebene Membranpumpe ist.

In einer am meisten bevorzugten Ausführung kann die Pulsationsquelle zusammen mit der Drucksensoreinheit oder den
5 Drucksensoreinheiten in ein gemeinsames Gehäuse integriert sein.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann ferner eine Auswerteeinheit umfassen, die der Erzeugung der Profile aus den Detektorsignalen sowie deren elektronischen Weiterverarbeitung dient und ggf. zusätzlich einen oder mehrere Normwerte
10 bereithält.

Die Auswerteeinheit kann insbesondere dann auch eine Speichereinheit umfassen, wenn entweder nur eine Detektoreinheit vorhanden ist und das erfindungsgemäße Verfahren durch Vergleich zweier zeitlich nacheinander aufgenommenen Profile Anwendung
15 findet, oder wenn der Vergleich des laufend aktualisierten Profils mit zuvor erhaltenen Normwerten geschieht.

Die Auswerteeinheit kann ferner eine Ansteuereinheit für die erfindungsgemäße, temporäre Nutzung eines bevorzugten Detektors als Aktor umfassen, sofern der Detektor unter Verwendung
20 piezoelektrischer Materialien aufgebaut ist.

Die Auswerteeinheit kann dabei in einem separaten Gehäuse untergebracht sein, oder sie kann besonders bevorzugt mit einem oder mehreren Elementen der erfindungsgemäßen Vorrichtung in ein gemeinsames Gehäuse integriert sein.

25 Durch die vorliegende Erfindung ist gewährleistet, dass die Messgröße in leicht weiterverarbeitbarer Form wie insbesondere als Strom oder Spannung vorliegt, die sehr gut kompatibel zu Standardelektronik (Mess-, Steuer- und Regeltechnik) ist, wodurch auf kostenintensives Umformen, Verstärken usw.
30 verzichtet werden kann.

Die Ansprechzeit der in der Erfindung benutzten Detektoren ist derart kurz, dass eine genügend fein zeitaufgelöste Erfassung eines einzelnen Pumpzyklus möglich ist.

Neben der Erfassung der Fluidmenge kann durch Vergleich der erfassten Signale bzw. der daraus abgeleiteten Profile auf die Fließrichtung des den Kanal durchströmenden Fluids geschlossen werden.

5 Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist in der Tatsache begründet, dass zur Volumenstrommessung mittels Drucksensor je nach Ausführungsform lediglich ein einziger Drucksensor benötigt wird, da nicht die Druckdifferenz zwischen zwei Messpunkten, sondern das Verhältnis von Aktoransteuerung
10 und Sensormesssignal zur Bestimmung des Volumenstroms herangezogen wird. Hierin ist ein wichtiger Unterschied zum Stand der Technik begründet.

Schließlich kann eine besonders bevorzugte Variante des in der Erfindung eingesetzten Detektors ohne großen Aufwand
15 vorübergehend auch als Aktor eingesetzt werden, um zum Beispiel ergänzend für eine erhöhte Förderleistung im Gesamtsystem zu sorgen. Dabei können beispielsweise auch Gasblasen, die ansonsten im System festsitzen, weiterbefördert werden.

Die vorliegende Erfindung sieht in einer bevorzugten
20 Ausführungsform die Integration der erfindungsgemäßen Vorrichtung in das Gehäuse einer Fördereinrichtung oder umgekehrt vor, wodurch ein kombiniertes System aus Förder- und Messeinrichtung kostengünstig hergestellt werden kann.

Besonders hervorzuheben ist weiterhin die Tatsache, dass der
25 Drucksensor mit praktisch identischen Fertigungsverfahren wie eine erfindungsgemäße Pulsationseinrichtung hergestellt werden kann, sofern die Pulsationseinrichtung auf einer piezoangetriebenen Membran basiert.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen des
30 erfindungsgemäßen Systems unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Die Begriffe „Detektor“ und „Drucksensor“ sind dabei austauschbar.

Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch den Aufbau einer bevorzugten Ausführungsform eines Drucksensorsystems des erfindungsgemäßen

Volumenstromsensors 10, welches der Aufnahme von Druckverläufen und deren Transformation in elektrische Signale dient.

Durch einen Einlass 11 strömt das zu messende Medium in einen Messkanal 12 und von dort aus weiter zum Auslass 13. Der im
5 Messkanal herrschende Druck liegt über einen Querkanal 14 auch in der Messkammer 15 vor. Der Druck wirkt auf die Trennmembran 16 und wölbt diese bei Überdruck dergestalt, dass sich das Volumen der Messkammer vergrößert. Bei Unterdruck bewegt sich die Trennmembran in die entgegengesetzte Richtung, wodurch das
10 Volumen der Messkammer verringert wird. Um eine Bewegung der Trennmembran zu erleichtern, kann diese, wie in Fig. 1 gezeigt, ein- oder zweiseitig auf einem elastischen Ring 17 gelagert sein, der somit zusätzlich die Dichtheit der Messkammer sicherstellt. Das Material des Ringes muss im Wesentlichen dem
15 zu verwendenden Fluid angepasst sein und gleichzeitig eine ausreichende Elastizität besitzen, um die Bewegung der Membran nicht zu unterbinden. So können einfache Materialien wie Silikonkautschuk, Nitrilkautschuk (NBR) oder generell thermoplastische Polymere (TPE), wie auch Spezialmaterialien
20 bestimmter Hersteller, zu denen Viton® oder Kalrez® (Fluorelastomer bzw. Perflourkautschuk von DuPont) zählen, zum Einsatz gelangen. Metalldichtungen z.B. aus Kupfer sind aufgrund ihrer Steifigkeit weniger geeignet. An der dem Fluid abgewandten Seite der Trennmembran ist die Drucksensormembran 18 befestigt bzw.
25 aufgelagert. Diese kann beispielsweise aus piezoelektrischem Material bestehen, so dass sie bei einer Bewegung der Trennmembran entsprechende Spannungssignale erzeugt. Diese werden durch an der Ober- und Unterseite der Drucksensormembran befindliche elektrische Leitungen 19 und 20 durch eine Öffnung
30 21 nach Außen geführt, wo sie mittels einer Messelektronik 2 ausgewertet werden können.

Fig. 2 zeigt die Drucksensoreinheit 1 eines Volumenstromsensors 10 nach dem vorgestellten Prinzip, welche einer Fluidfördereinrichtung 3 nachgeschaltet ist. In der Zeichnung
35 ist die Drucksensoreinheit der Fördereinrichtung nachgeschaltet,

jedoch ist auch eine Vorschaltung möglich. Typischerweise ist diese Fördereinrichtung eine Pumpe, insbesondere eine Mikropumpe. Mittels eines Verbindungsstückes 5 stehen die beiden Elemente in fluidischer Kommunikation. Der gemeinsame Einlass wird durch den Einlass 31 der Pumpe gebildet, während der gemeinsame Auslass dem Auslass 13 der Drucksensoreinheit entspricht.

Wie der Fig. 2 entnommen werden kann, können die Pumpe 3 und die Drucksensoreinheit 1 aus nahezu identischen Bauelementen aufgebaut werden. Dies ist unter bestimmten Umständen, zum Beispiel zur Vorhaltung einer minimalen Anzahl von Bauelementen in der parallelen Fertigung beider Systeme, von Vorteil, jedoch keineswegs Bedingung. Aus der Fig. 2 geht weiterhin hervor, dass der einzige wesentliche Unterschied zwischen Pump- und Drucksensoreinheit das Vorhandensein von Ventilen 32 im Pumpsystem 3 und das Fehlen derselben im Drucksensorsystem 1 ist. Es sei jedoch angemerkt, dass die Abwesenheit der Ventile im Drucksensorsystem für dessen Funktion nicht erheblich ist, sondern aus rein ökonomischen Gründen erfolgen kann.

Ebenfalls gezeigt sind die der Drucksensoreinheit 1 zugeordnete Auswerteelektronik 2 und die Ansteuerelektronik 4 des Pumpsystems 3. Durch einen gestrichelten Pfeil 6 angedeutet ist das Überführen des Messsignals der Drucksensoreinheit an die Ansteuerelektronik, so dass eine selbsttätige Regelung des Volumenstroms mittels der Regelschleife Pumpe-Drucksensor ermöglicht wird.

Die Fig. 3 zeigt eine vorteilhafte und daher bevorzugte Ausführung des vorgeschlagenen Flusssensorsystems 10. Hierbei ist die Drucksensoreinheit 1 in das Gehäuse einer geeignet ausgebildeten pulsierenden Fluidförderanlage 3 integriert. Die Bauelemente, die zum Aufbau der Pumpen- und Drucksensoreinheit benötigt werden, sind in weiten Teilen identisch. Bautechnisch können die fluidischen Systeme Drucksensoreinheit 1 und Pumpe 3 in einem gemeinsamen Gehäuse 7 untergebracht sein. Die gedachte funktionelle Trennung der beiden Systeme ist durch die

senkrechte strichpunktierte Line 71 angedeutet. Das Verbindungsstück 5 besteht nun lediglich aus einem einfachen Kanal; weitere fluidische Schnittstellen zur Kopplung der beiden Systeme sind nicht mehr notwendig. Ebenfalls in ein Gehäuse 8 integriert sind die Messelektronik 2 und die Ansteuerelektronik 4 des Gesamtsystems 7. Die elektronische Verbindung der beiden Systeme kann vorteilhafterweise bis hin zur Integration der Schaltkreise auf einer Platine oder gar in einem Halbleiterchip (z.B. Hochleistungs-ASIC) erfolgen (ASIC = Application Specific Integrated Circuit, Anwendungsspezifische integrierte Schaltung).

Die Fig. 4 zeigt eine Kombination aus einer Pumpe 3 mitsamt vor- und nachgeschalteter Drucksensoreinheit 1a, 1b. Wie in den zuvor beschriebenen Varianten werden die Pumpe mit einer Ansteuerelektronik 4 und jede Drucksensoreinheit mit einer Auswertelektronik 2a bzw. 2b verbunden. Eine Kopplung der Ansteuer- mit der Auswertelektronik ist durch die Pfeile 6a, 6b angedeutet. Die fluidischen Systeme sind mittels entsprechender Verbindungsstücke 5 miteinander verbunden. Dem gesamten System 10 kann ein Einlass 31 und ein Auslass 13 zugeordnet werden.

Analog zu Fig. 2 bzw. 3 zeigt die Fig. 5 eine integrierte Variante von der in Fig. 4 gezeigten Kombination aus einer Pumpe 3 und einer vor- sowie einer nachgeschalteten Drucksensoreinheit 1a bzw. 1b. Die Bezeichnungen entsprechen den weiter oben eingeführten; hinzukommen das integrierte Gehäuse 7 und die integrierte Ansteuer- und Auswertelektronik 8.

Die hier gezeigte Kombination bietet die an entsprechender Stelle genannten Vorteile wie Einsparung von Gehäuseplatz, Elektronikintegration und einfacher, paralleler Montage.

Fig. 6 zeigt schematisch den Aufbau eines erfindungsgemäßen Volumenstromsensors 10, bei welchem keine Möglichkeit besteht, die Ansteuersignale einer existierenden Pulsationsquelle 3 direkt zu nutzen. Er setzt sich aus zwei stromabwärts von der Pulsationsquelle befindlichen Drucksensoreinheiten 1a und 1b zusammen, die die Bestimmung der Druckverläufe zu gleichen

Zeitpunkten an verschiedenen Orten erlauben. Die erste, näher an der (nicht dargestellten) Pulsationsquelle befindliche Drucksensoreinheit 1a liefert hierbei das Signal 1, die zweite, weiter von der Pulsationsquelle entfernte Drucksensoreinheit das
5 Signal 2. Beide Signale werden über entsprechende Signalleitungen in einer gemeinsamen Auswerteeinheit 2 zusammengefasst.

Fig. 7 zeigt den in Fig. 6 dargestellten Aufbau als integrierte Variante. Die beiden Drucksensoreinheiten 1a und 1b sind in
10 einem gemeinsamen Gehäuse 7 zusammengefasst. Da sich der Druckverlauf in Abhängigkeit von der Entfernung zur Pulsationsquelle ändert und ein gut messbarer Unterschied zwischen beiden Signalen erst bei einem bestimmten Abstand der Messpunkte voneinander gegeben ist, kann es notwendig sein, den Abstand
15 zwischen den Drucksensoreinheiten 1a, 1b künstlich zu vergrößern. Dies kann beispielsweise durch das angedeutete fluidische Distanzstück 5', welches sich zwischen den Drucksensoreinheiten befindet, erreicht werden.

Fig. 8 zeigt schematisch den Aufbau eines Volumenstrommesssystems 10, welches sich aus zwei oben beschriebenen Drucksensoreinheiten 1a, 1b sowie einer modifizierten Fördereinrichtung 3', die vorteilhafterweise aus identischen Elementen wie die Drucksensoreinheiten aufgebaut ist, zusammensetzt. In einer besonders bevorzugten Variante ist die modifizierte Pumpe
25 3' identisch wie die Drucksensoreinheiten 1a, 1b aufgebaut und wird lediglich entgegen dem für die Drucksensoreinheiten genutzten Messmodus im Aktormodus betrieben, also mit einer zyklisch sich verändernden Spannung versorgt, die die piezoelektrische Schicht 18 des Membranverbundes anregt und in
30 Verbindung mit der Trennmembran 16 zu einer Durchbiegung derselben führt.

Die wesentlichen Elemente eines solchen Systems sind zwei Drucksensoreinheiten 1a und 1b, zwischen denen eine modifizierte Pumpe 3' angeordnet ist. Diese Pumpe besitzt im Gegensatz zu der
35 in Zeichnung 2 dargestellten Pumpe keine Ventile 32, so dass sie

bei Ansteuerung der Membran lediglich eine Pulsation erzeugt, die jedoch zu keinem Nettotransport von Fluid führt, da das Fluid bei Druckerhöhung durch die modifizierte Pumpe in beide Verbindungskanäle 5 ausweichen kann und bei der anschließenden
5 Druckverminderung aus beiden Verbindungskanälen 5 wieder in die Pumpkammer der modifizierten Pumpe 3' zurückfließt. Diese Druckschwankungen können mit den Drucksensoreinheiten gemessen werden, die sich vor und hinter der modifizierten Pumpe befinden. Weitere Elemente sind die Mess- und Auswerteelektronik
10 8', die im Gegensatz zu der integrierte Ansteuer- und Messelektronik 8' keine direkte Rückkoppelung zwischen den Drucksensoreinheiten und der modifizierten Aktorsteuerung 4' beinhaltet. Stattdessen sammelt eine Auswerteelektronik 8' für das pumpenlose Messsystem alle Daten und generiert dem
15 erfindungsgemäßen Verfahren entsprechend einen Zahlenwert für den Volumenstrom.

Im Falle eines stehenden Fluids, also ohne einen von Außen aufgeprägten Fluidstrom durch das System hindurch, messen beide Drucksensoreinheiten (bei gleicher Geometrie, fluidischen
20 Widerständen der Leitungen usw.) ein identisches Signal.

Strömt nun durch den Einlass 31 ein zu messendes Fluid ein, so wird der Messpulsation die Strömung des Messfluids überlagert. Diese führt zu einer Verschiebung der ursprünglich symmetrischen Messsignale. Die Verschiebung ist umso deutlicher, je schneller
25 das zu messende Fluid strömt. Außerdem unterstützt das strömende Fluid die Bewegung der Aktormembran in die Richtung, in welcher sich die Messkammer vergrößert, und erschwert die Bewegung in die entgegengesetzte Richtung. In der nachgelagerten Drucksensoreinheit 1b resultiert daraus eine Vergrößerung der
30 Amplitude der positiven Halbwelle und eine Verringerung der Amplitude der negativen Halbwelle. Dies entspricht einer Verschiebung des Mittelwertes der Kurve in positive Richtung. Umgekehrt verringert sich bei einer vorgelagerten Drucksensoreinheit 1a die positive Halbwelle der Kurve, wohingegen sich die

negative Halbwelle vergrößert. Dies entspricht einer Verschiebung des Mittelwertes hin zu negativen Werten.

Eine Umkehr der Strömungsrichtung führt zu entsprechend umgekehrten Verschiebungen der beiden Drucksensorkurven.

5 Fig. 9 zeigt das Ansteuersignal 100 der Pumpe bzw. Pulsationseinheit und das Drucksensorsignal 200 der Drucksensoreinheit für den Fall, dass die Pumpe bzw. Pulsationseinrichtung deutlich unter der Resonanzfrequenz der Drucksensoreinheit betrieben wird.

10 Die Skalierung der beiden Kurven ist zur besseren Visualisierung einander angeglichen; im Normalfall können die Ansteuer- und die Messsignalspannungen in der Amplitude deutlicher voneinander abweichen.

Zu einem (willkürlich festgelegten) Zeitpunkt t_0 beginnt der
15 Pump- bzw. Pulsationszyklus, beispielsweise bei einer Ansteuer-
spannung von 0 V bzw. einer Spannung, die am Beginn der
aufsteigenden Flanke 101 der Ansteuerkurve liegt. Systemabhängig
zeitgleich oder auch zeitversetzt beginnt sich auch das Signal
der Drucksensoreinheit (Messsignal) von seiner Nulllinie 201 in
20 positive Richtung fortzubewegen. Der Scheitelpunkt des Mess-
signals 202 ist gegen die aufsteigende Flanke des Ansteuer-
signals 101 um einen Wert Δt_1 verzögert. Die Lage dieser beiden
Bezugspunkte, im Beispiel 101 und 202, ist jedoch zunächst frei
wählbar und sollte vorzugsweise so erfolgen, dass die Bestimmung
25 der Zeitpunkte und der dazugehörigen Amplituden möglichst sicher
und in jeder Periode reproduzierbar erfolgen kann.

Da die Pump- bzw. Pulsationsfrequenz relativ gering ist, bildet
sich der durch das Drucksensorsignal abgebildete Druckimpuls 210
(schraffiert dargestellt) wieder zurück; im Anschluss an den
30 Impuls wird also kein Fluid mehr gefördert, bis der Zyklus von
neuem beginnt. Beim Ausschalten der Ansteuerspannung 102 tritt
an der Drucksensoreinheit ein negativer Impuls 211 auf, der umso
kleiner ausfällt, je besser die Rückschlagfestigkeit der in der
Pumpe eingesetzten Ventile ist. Auf diese Weise kann also eine
35 Bewertung und Kontrolle eines wichtigen Pumpenelementes, des

Ventils, erfolgen. Verklemmt eines der Ventile, oder schließt es z.B. aufgrund von Verschmutzungen nicht mehr richtig, ändert sich die Höhe des Rückschlagimpulses 211 hin zu größeren Werten, angedeutet durch die gestrichelte Linie 211.

5 Anhand weiterer, in Fig. 9 exemplarisch dargestellter Parameter h_{2i} und/oder Δt_i , welche eine parameterbasierte Beschreibung der Profile beispielsweise mittels der Amplituden und der zugehörigen Zeitpunkte ermöglichen, können mittels weniger, relevanter Datensätze wichtige Veränderungen im Profil erkannt
10 und Rückschlüsse auf die zugehörigen Fördermengen gezogen werden.

Fig. 10 zeigt das Ansteuersignal 100 der Pumpe und das Drucksensorsignal 200 der Drucksensoreinheit bei einer Frequenz etwas unterhalb der Resonanzfrequenz der Drucksensoreinheit.

15 Die verringerte Zykluszeit eines Pump- bzw. Pulsationszyklus kann an der Anzahl der zum Vollenden eines gesamten Zyklus notwendigen Zeiteinheiten, symbolisiert durch die Anzahl der entsprechend durchlaufenen senkrechten Unterteilungen auf der Zeitskala abgelesen werden. Während in Fig. 9 ca. 8
20 Zeiteinheiten für einen Zyklus, bestehend aus einer gleichlangen Ansteuer- und Ruhephase der Pumpe bzw. Pulsationseinrichtung, benötigt werden, ist die Anzahl der Zeiteinheiten in Fig. 10 nur noch halb so groß, gleichbedeutend mit einer verdoppelten Ansteuerfrequenz der Pumpe bzw. der Pulsationseinrichtung.

25 Ein Zyklus beginnt wiederum zum Zeitpunkt t_0 , angedeutet durch die erste senkrecht verlaufende gestrichelte Linie. Die Zeit Δt_1 zwischen Beginn des Pump- bzw. Pulsationszyklus und dem Erreichen des Scheitelwertes 202 des Drucksensorsignals ist identisch dem zuvor beschriebenen Fall, da sich aus der Sicht
30 der Drucksensoreinheit bis zu diesem Zeitpunkt kein Unterschied zwischen dem zuvor beschriebenen Fall ergibt.

Die negative Halbwelle 211 fällt wiederum zeitlich mit dem Abschalten der Aktorspannung 102 zusammen. Die Größe der Halbwelle 211 unterscheidet sich von der in Fig. 9 gezeigten, da

sich das System nun näher an der Resonanzfrequenz befindet. Da die Ventile jeweils aus dem geöffneten in den geschlossenen Zustand umschalten müssen, steht aufgrund der im Vergleich zum vorigen Fall kürzeren Zykluszeit weniger Zeit zum Umschalten zur Verfügung. Relativ gesehen wird eine etwas längere Zeit zum Schließen benötigt als bei einer Frequenz deutlich unterhalb der Resonanzfrequenz, und es ist ein größerer Druckpuls im Auslass sichtbar. Die Größe der positiven Halbwelle 210 ist hingegen praktisch identisch zu der in Fig. 9 gezeigten Halbwelle. Der Grund entspricht dem im vorigen Absatz für die Identität von Δt_1 beider Zeichnungen angeführten.

In Fig. 11 wird die fluidfördernde Pumpe in Resonanzfrequenz betrieben. Die Anzahl der Zeiteinheiten für einen Zyklus ist im Vergleich zum in Fig. 10 beschriebenen Fall nochmals um den Faktor 2 verringert. Die Zeit Δt_1 , um die die beiden Scheitelpunkte von Kurve 100 und 200 zueinander verschoben sind, ist wiederum identisch den vorangegangenen Fällen. Auch die Größe der positiven Halbwelle 210 unterscheidet sich in Größe und Form kaum von den vorangegangenen Fällen. Die negative Halbwelle 211 hingegen ist deutlich kleiner; dies deutet auch auf die besonders effektive Pumparbeit im Resonanzbetrieb hin.

Fig. 12 zeigt im Vergleich eine Ansteuer- und Drucksensorkurve aus Fig. 9 (normaler Betrieb) mit einer Drucksensorkurve 200', bei welcher sich eine Gasblase im System zwischen Förder- und Drucksensoreinheit befindet. Die Aktormembran erhält zwar die zum Betrieb notwendigen Signale 100, im Gegensatz zum gasblasenfreien Betrieb 200 mit der Signalamplitude h_1 gibt die Drucksensormembran jedoch ein in seiner Amplitude h_2 stark verringertes Signal 200' ab, welches dadurch zustande kommt, dass die Pump- bzw. Pulsationsleistung im Wesentlichen zu einer reversiblen Kompression der Gasblase benutzt wird, die im Gegensatz zum Fluid nicht inkompressibel ist und den Druckpuls des Aktors in Form von Federenergie speichert und wieder abgibt, ohne dass eine nennenswerte Menge an Fluid gefördert wird. Die

Anwesenheit einer solchen Störung kann zuverlässig durch Auswerten der Amplitude des Sensorsignals erfolgen.

Fig. 13 zeigt (in idealisierter Form) den Vorgang der Detektion, des Austreibens und den erneuten Anwesenheitstest einer Gasblase. Die pulsationserzeugende Einheit ist hier gleichzeitig die Fördereinheit, deren Ansteuersignale zur Verfügung stehen. In einer ersten Phase I arbeitet die Pumpe normal, und es wird keine Störung des Drucksensorsignals 200 detektiert (Signalamplitude h_1). In einer Phase II wird eine stark verringerte Signalthöhe h_2 gemessen, die die Anwesenheit einer Gasblase anzeigt. Es schließt sich eine Phase III an, in welcher der Drucksensor als Aktor benutzt wird und ein aktives Signal 300 (Spannungsimpuls) erhält. Dieses kann zur optimalen Unterstützung des Pumpensignals 100 um einen Betrag $\Delta t'$ verschoben sein, wobei der Wert für $\Delta t'$ beispielsweise durch Versuche ermittelt werden kann. In der anschließenden Testphase IV wird das Aktorsignal abgeschaltet und mittels der Signalthöhe des Drucksensors geprüft, ob sich diese wieder normalisiert hat. Ist dies nicht der Fall, dann wird die Phase III und IV wiederholt (III', IV'), bis sich das Drucksensorsignal wieder normalisiert hat.

Zusätzlich zu der hier aufgeführten Signalform des Sensor-Aktors können auch andere Signalformen (Sägezahn, Dirac-Impuls, erhöhte oder verringerte Frequenz usw.) Verwendung finden, wenn sich mit diesen bessere Ergebnisse erzielen lassen. Auch eine Koppelung des Pumpen- und des Aktorsignals zwecks besserer Abstimmung und/oder besseren Austriebseffektes sind denkbar. Dabei kann eine Rückkoppelung des Signals der Drucksensoreinheit dergestalt erfolgen, dass die Pumpe bei Feststellung einer Gasblase durch die Drucksensoreinheit temporär beispielsweise mit einer höheren Frequenz und/oder Amplitude arbeitet.

Bezugszeichenliste

- 1 Detektor, Drucksensorsystem
- 1a erste Drucksensoreinheit
- 5 1b zweite Drucksensoreinheit
- 2 Mess- / Auswerteelektronik
- 2a Auswerteelektronik zum ersten Drucksensor
- 2b Auswerteelektronik zum zweiten Drucksensor
- 2c Auswerteelektronik des pumpenlosen Messsystems
- 10 3 Fluidfördereinrichtung, Pumpsystem
- 3' modifiziertes Pumpsystem ohne Ventile
- 4 Ansteuerelektronik der Fluidfördereinrichtung
- 4' Ansteuerelektronik der modifizierten Fluidfördereinrichtung
- 5 fluidisches Verbindungsstück
- 15 5' fluidisches Distanzstück
- 6 Signalrückkoppelung
- 6a Signalrückkoppelung des vorgeschalteten Drucksensors
- 6b Signalrückkoppelung des nachgeschalteten Drucksensors
- 6a' Signalweg des vorgeschalteten Drucksensors
- 20 6b' Signalweg des nachgeschalteten Drucksensors
- 6c' Signalweg der Ansteuerelektronik für die Pulsation
- 7 integriertes Gehäuse
- 8 integrierte Ansteuer- und Messelektronik
- 8' integrierte Elektronik für ein Messsystem ohne Pumpe
- 25 9 integriertes Gehäuse für ein pumpenloses Messsystem
- 10 Volumenstromsensor
- 11 Einlass
- 12 Messkanal

- 13 Auslass
- 14 Querkanal
- 15 Messkammer
- 16 elastisch verformbare Trennmembran
- 5 17 Lager- und Dichtungsring
- 18 Drucksensormembran / Drucksensorschicht / Messmembran
- 19 elektrische Leitung
- 20 elektrische Leitung
- 21 Gehäuseöffnung
- 10 31 Einlass der Fluidfördereinrichtung
- 32 Ventile der Fluidfördereinrichtung
- 71 System-Trennlinie zwischen Fördereinrichtung und Sensor
- 100 Ansteuersignal der Pumpe
- 101 aufsteigende Flanke der Ansteuerspannung (Pumpe einschalten)
- 15 102 absteigende Flanke der Ansteuerspannung (Pumpe ausschalten)
- 200 Drucksensorsignal des Flusssensors
- 200' Drucksensorsignal des Flusssensors bei vorhandener Gasblase
- 201 Nulllinie des Drucksensorsignals
- 202 Scheitelpunkt des Drucksensorsignals
- 20 210 am Drucksensor gemessener Druckimpuls der Pumpe
- 211 negativer Impuls am Drucksensorsignal durch Ventilschluss

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung der einen Kanal pulsierend durchströmenden Fluidmenge durch Vergleich der Profile mindestens zweier Signale, die mit einer pulsationsbedingten Druckveränderung des Fluidstromes in Beziehung stehen und zeitgleich an nicht identischen Stellen des Fluidstromes oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten an einer Stelle des Fluidstromes erfasst werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Vergleich die Kurvenverläufe der Profile und/oder einzelne oder mehrere Parameter derselben herangezogen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem ein erstes Signal bereitgestellt wird durch:
 - (a) das Signal zur Ansteuerung der Pulsationsvorrichtung, durch welche die durch den Kanal durchströmende Fluidmenge in Pulsation versetzt worden ist; oder
 - (b) einen Sensor zur Erfassung des Druckzustandes der den Kanal pulsierend durchströmenden Fluidmenge; oder
 - (c) einen Normwert;
- und bei dem ein zweites Signal durch einen stromabwärts angeordneten Drucksensor bereitgestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem das aus einem Signal resultierende Profil den Verlauf eines Signals innerhalb einer Pulsationsperiode betrifft und Parameter umfasst, die aus der Gruppe bestehend aus positiver Amplitude, negativer Amplitude, Steilheit der positiven Flanke, Steilheit der negativen Flanke, Zeitpunkt der verschiedenen Nulldurchgänge, und Kombinationen davon ausgewählt werden.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, bei dem der Profilvergleich zur Detektion von Störungen im Fluidstrom erfolgt.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5.
7. Vorrichtung zur Erfassung der einen Kanal pulsierend durchströmenden Fluidmenge durch Vergleich der Profile zweier Signale, die mit einer pulsationsbedingten Druckveränderung des Fluidstromes in Beziehung stehen und zeitgleich an nicht identischen Stellen des Fluidstromes oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten an einer Stelle des Fluidstromes erfasst werden, wobei die Vorrichtung mindestens einen Detektor zum Erfassen einer Eingangsgröße und zur Transformation in eine Ausgangsgröße umfasst, der durch eine elastisch verformbare Membran gebildet ist, die in Bezug auf den fluidführenden Kanal ortsfest angeordnet ist und mindestens auf einer Seite mit dem Fluid in Kontakt steht, wobei die Membran an ihrem Rand fluiddicht gegen den Kanal abschließt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Auswerteeinheit zur Weiterverarbeitung der Ausgangsgröße umfasst.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zu detektierende Eingangsgröße der an einem bestimmten Messort herrschende Druck der den Kanal durchströmenden Fluidmenge ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ausgang des mindestens einen Detektors ein elektrisches Signal liefert.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine elastisch verformbare Membran des mindestens einen Detektors in Form einer piezoelektrischen Schicht umfasst.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elastisch verformbaren Membran eine piezoelektrische Schicht aufgelagert ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elastisch verformbare Membran die Eigenschaften eines Aktors umfasst.

14. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ferner eine Pulsationseinrichtung umfasst.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pulsationseinrichtung eine piezogetriebene Membran umfasst.

1 / 13

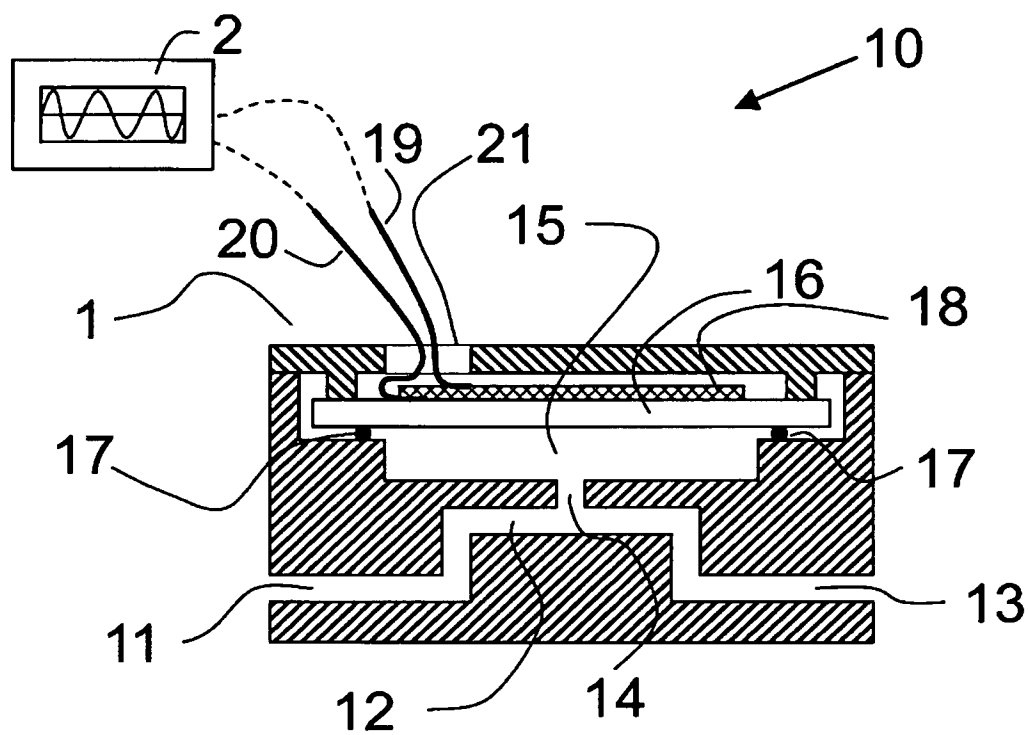


FIG. 1

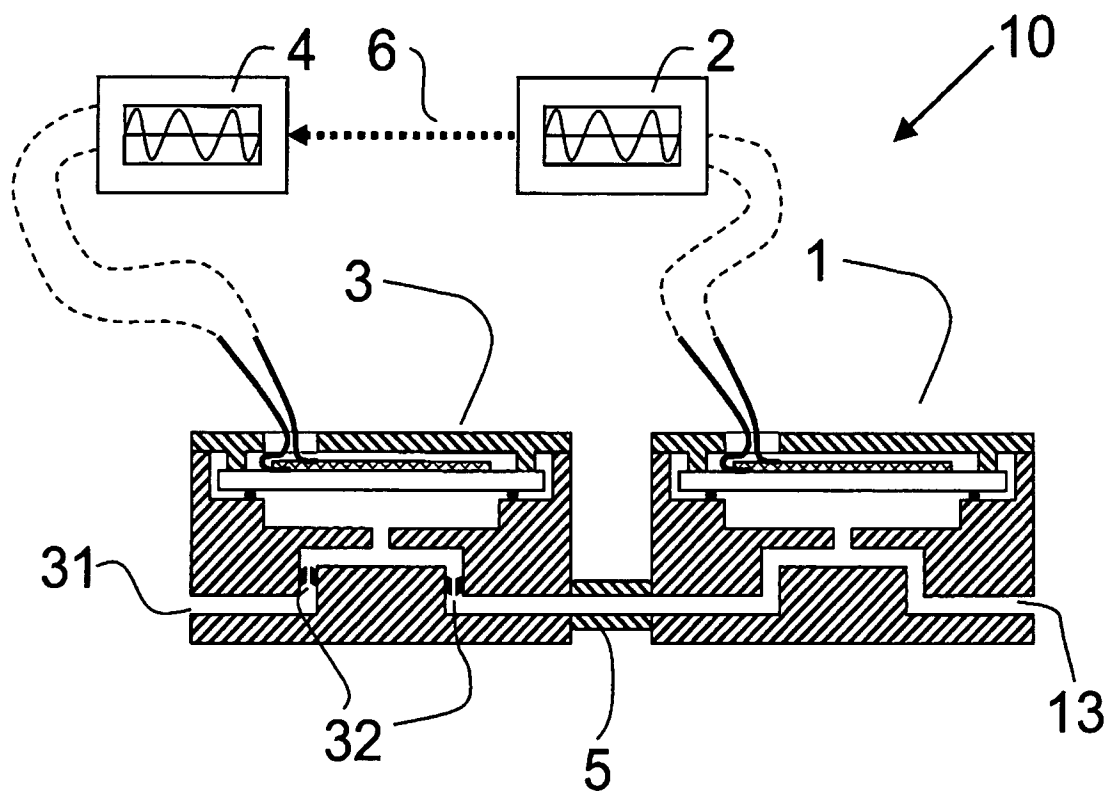


FIG. 2

3 / 13

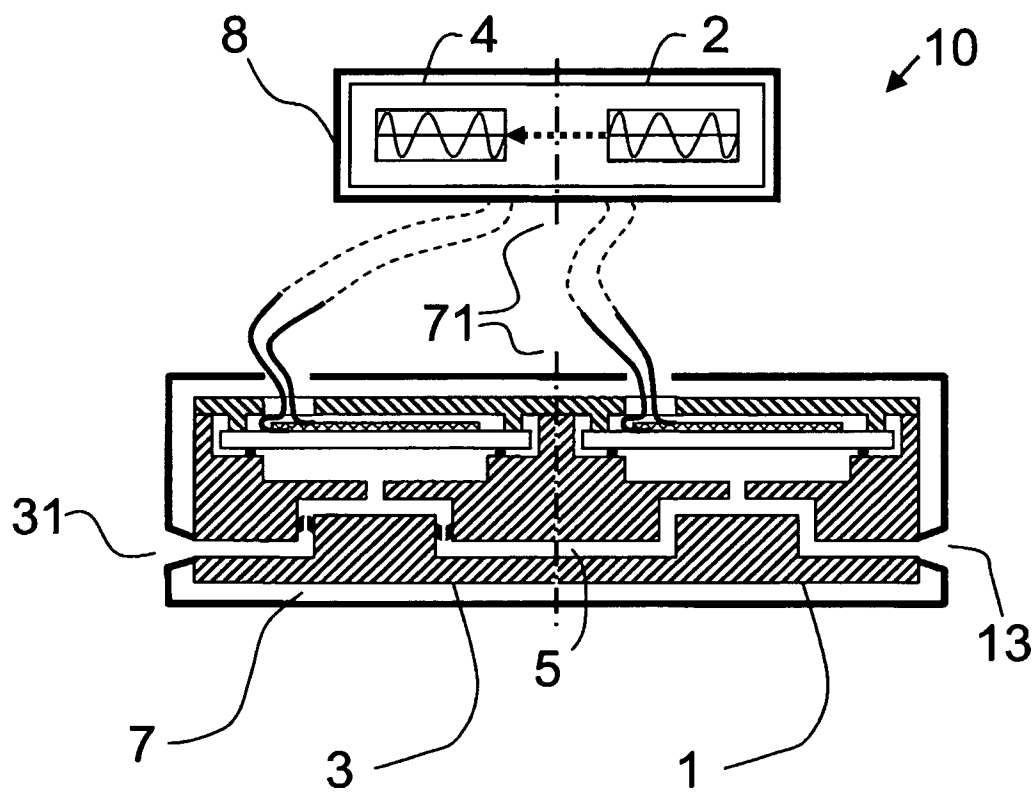


FIG. 3

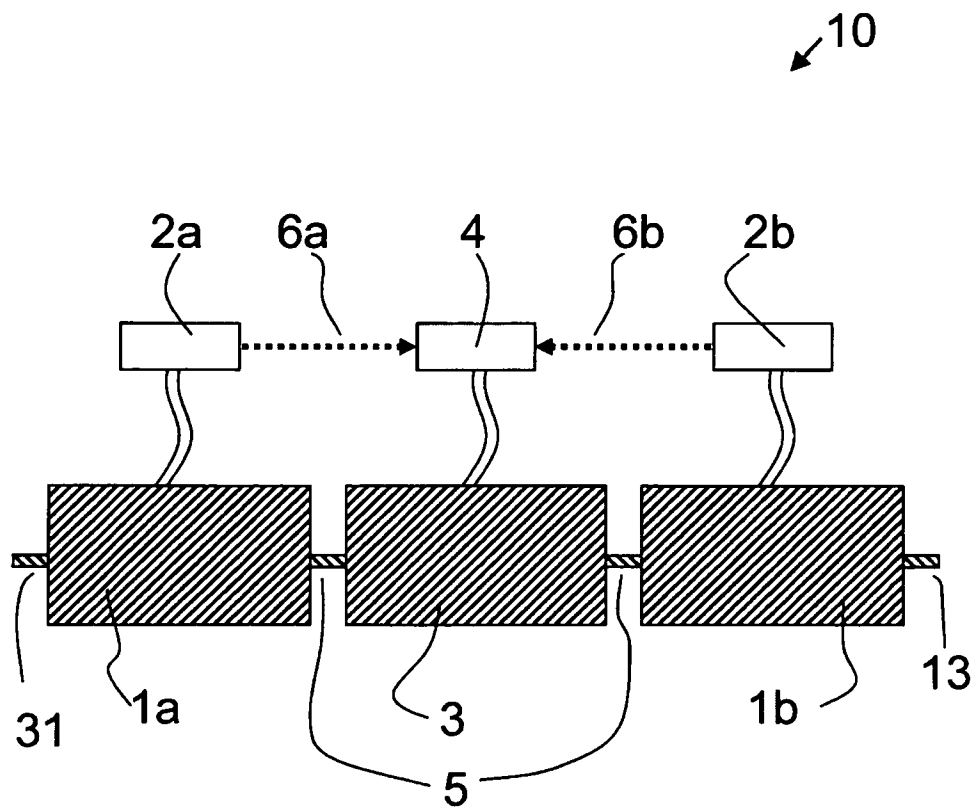


FIG. 4

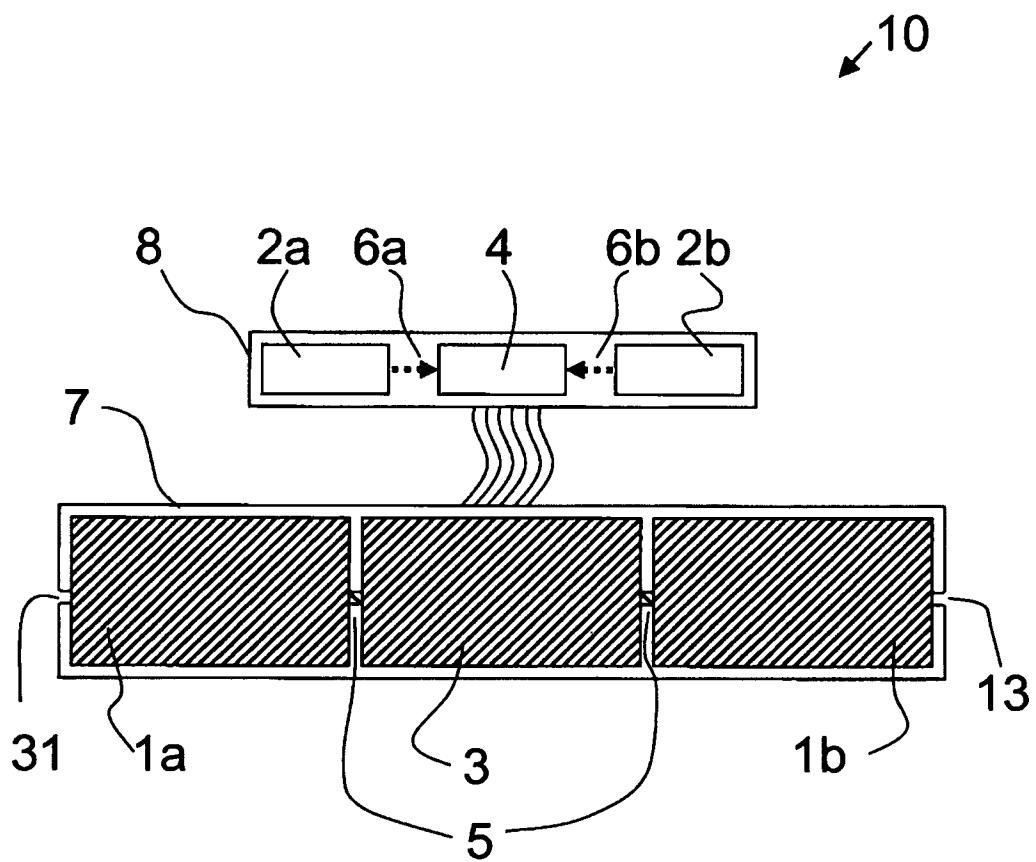


FIG. 5

6 / 13

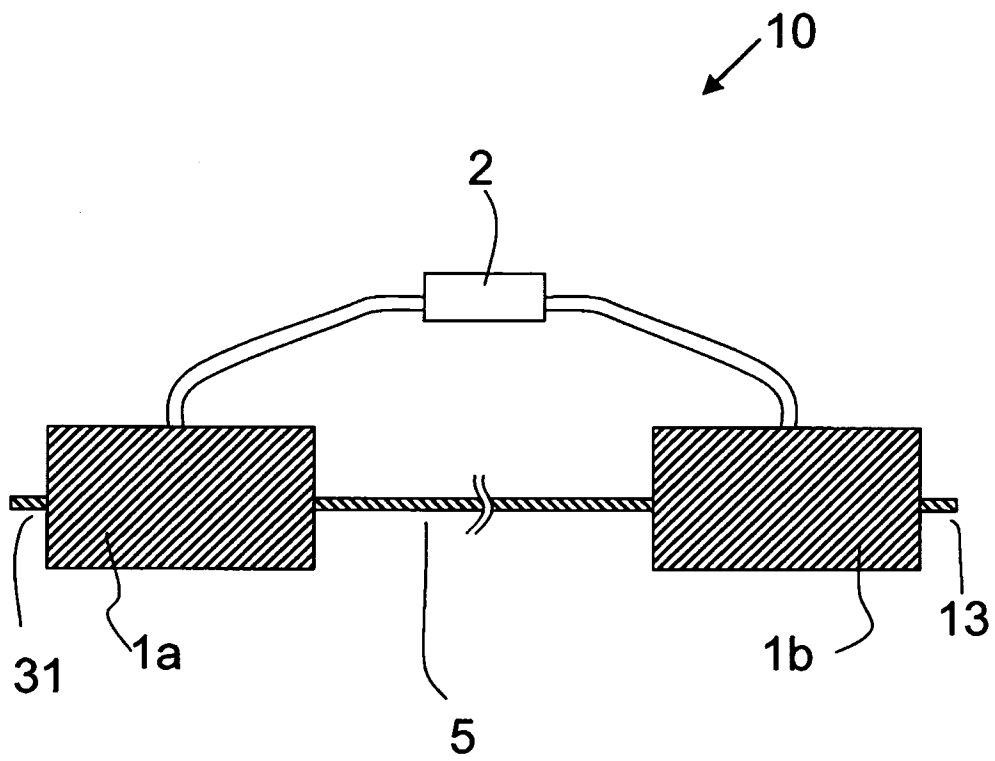


FIG. 6

7 / 13

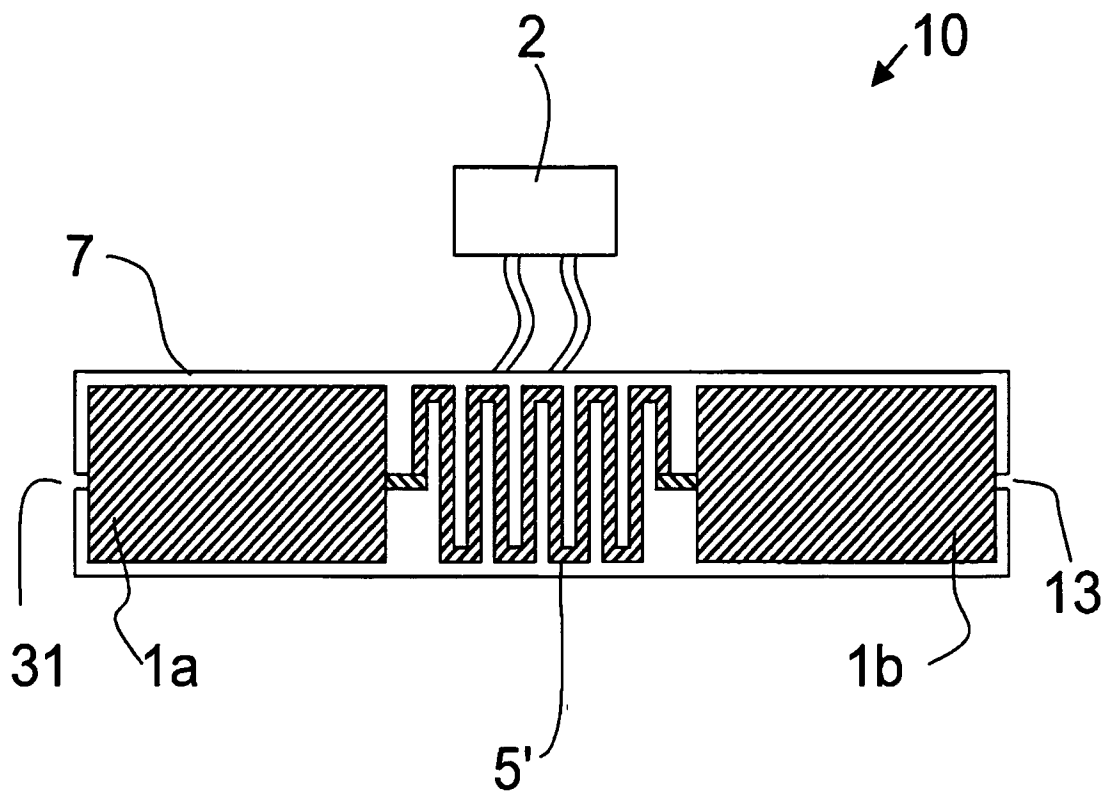


FIG. 7

8 / 13

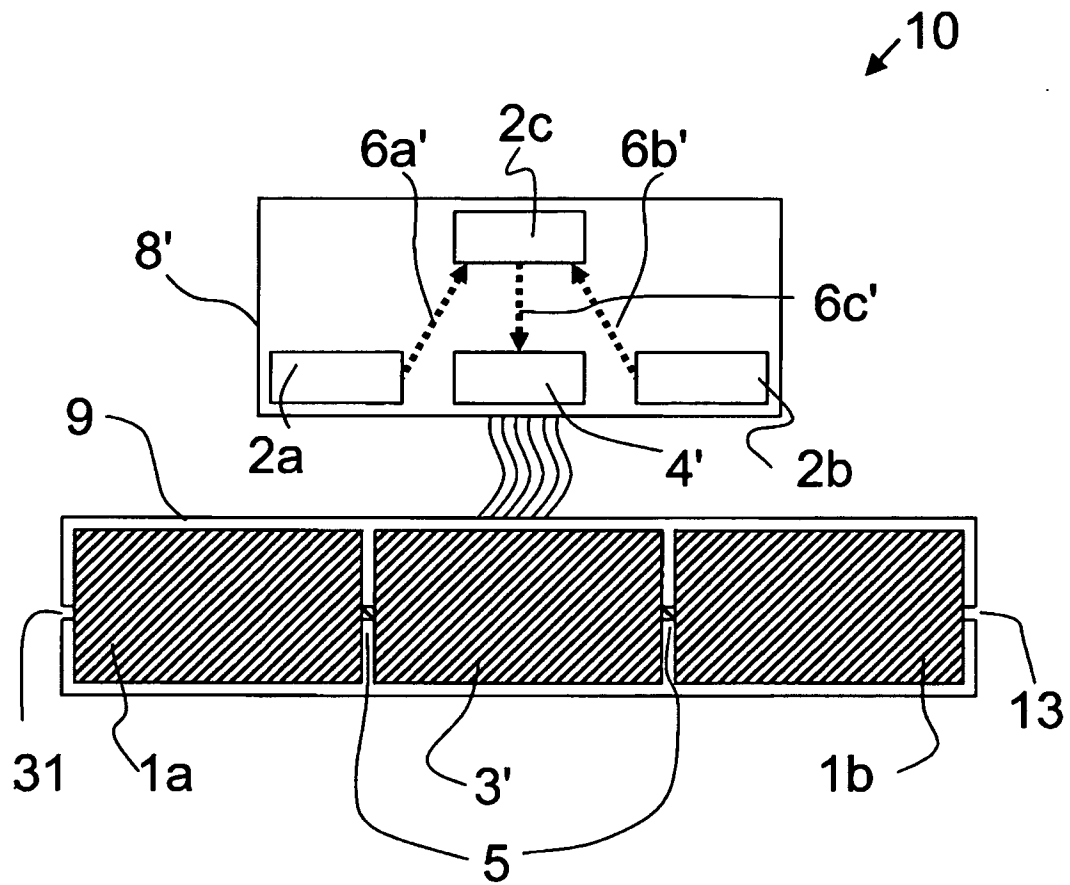


FIG. 8

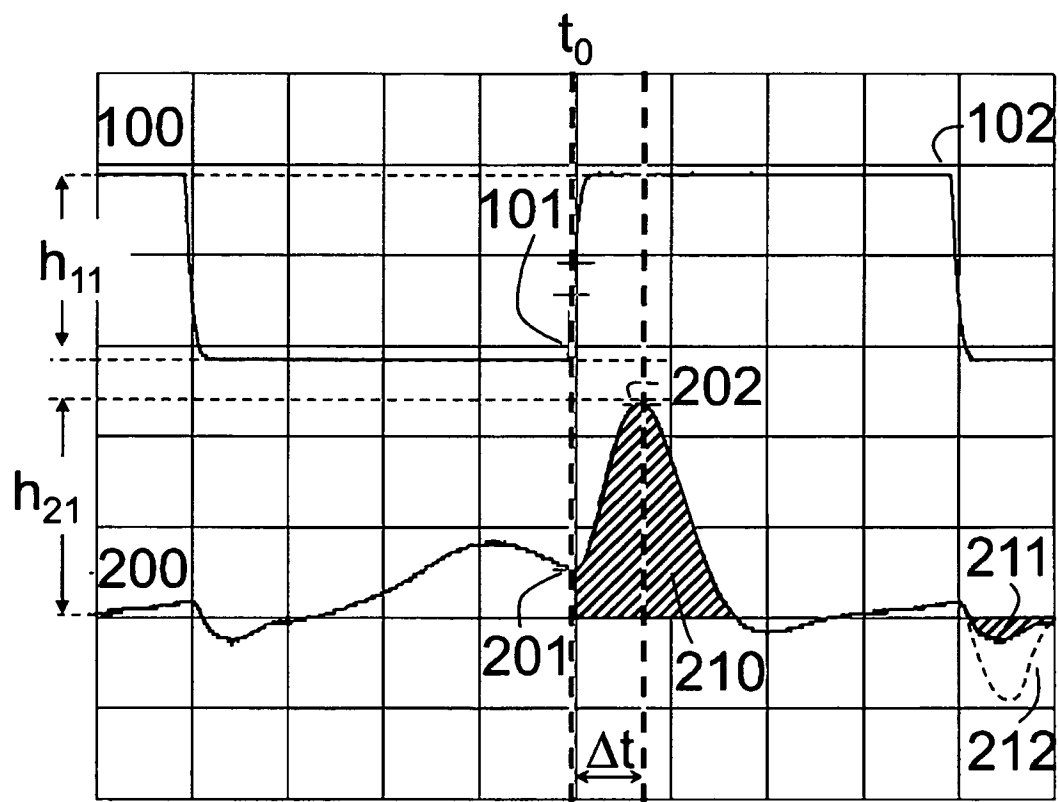


FIG. 9

10 / 13

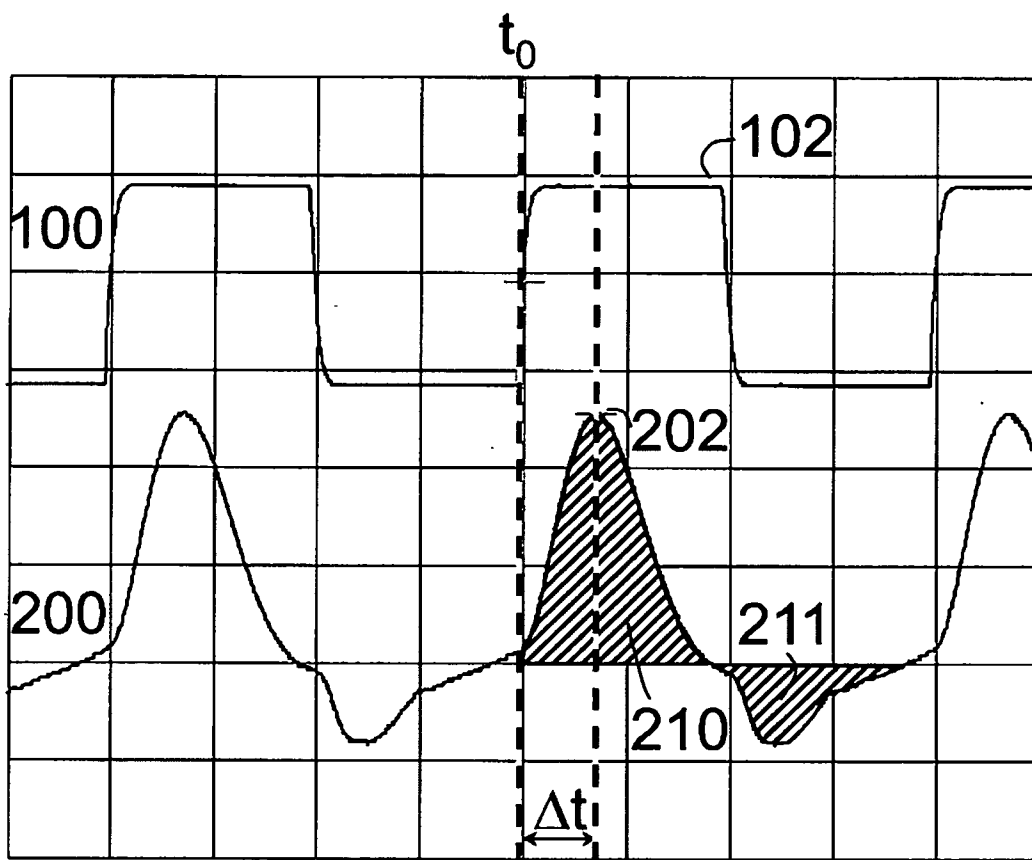


FIG. 10

11 / 13

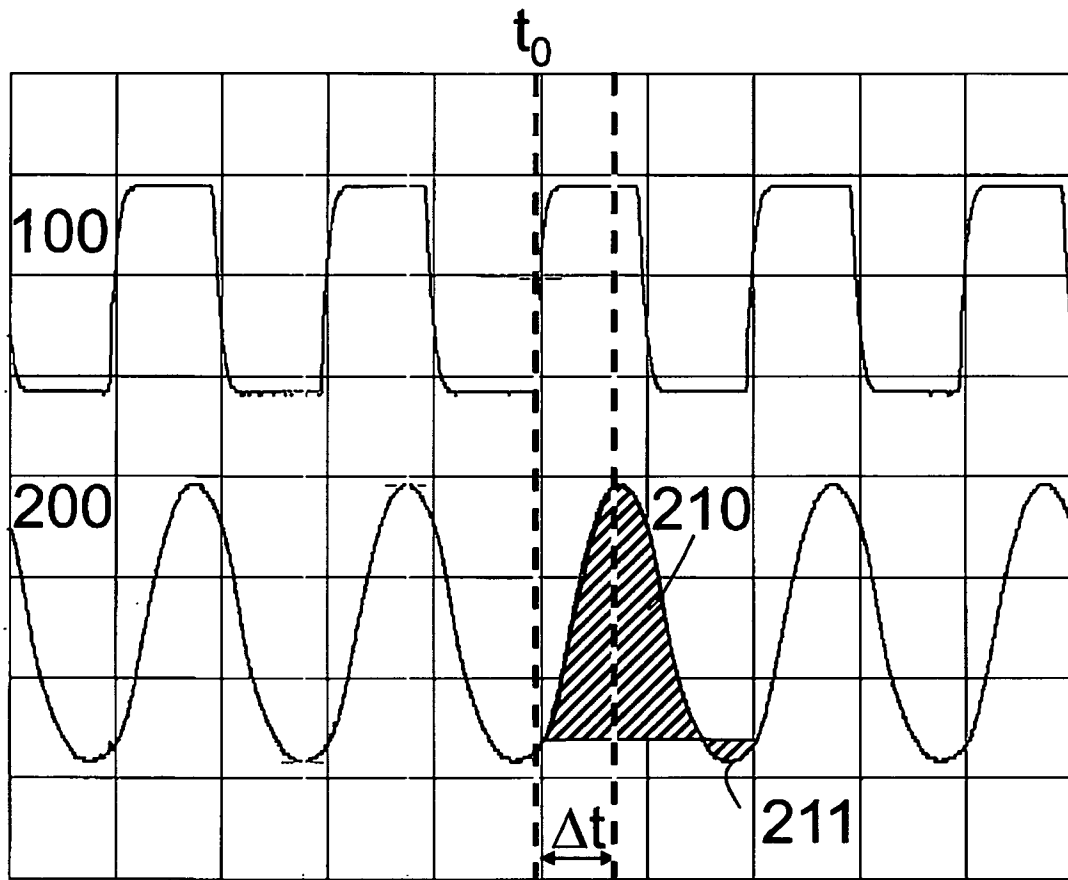


FIG. 11

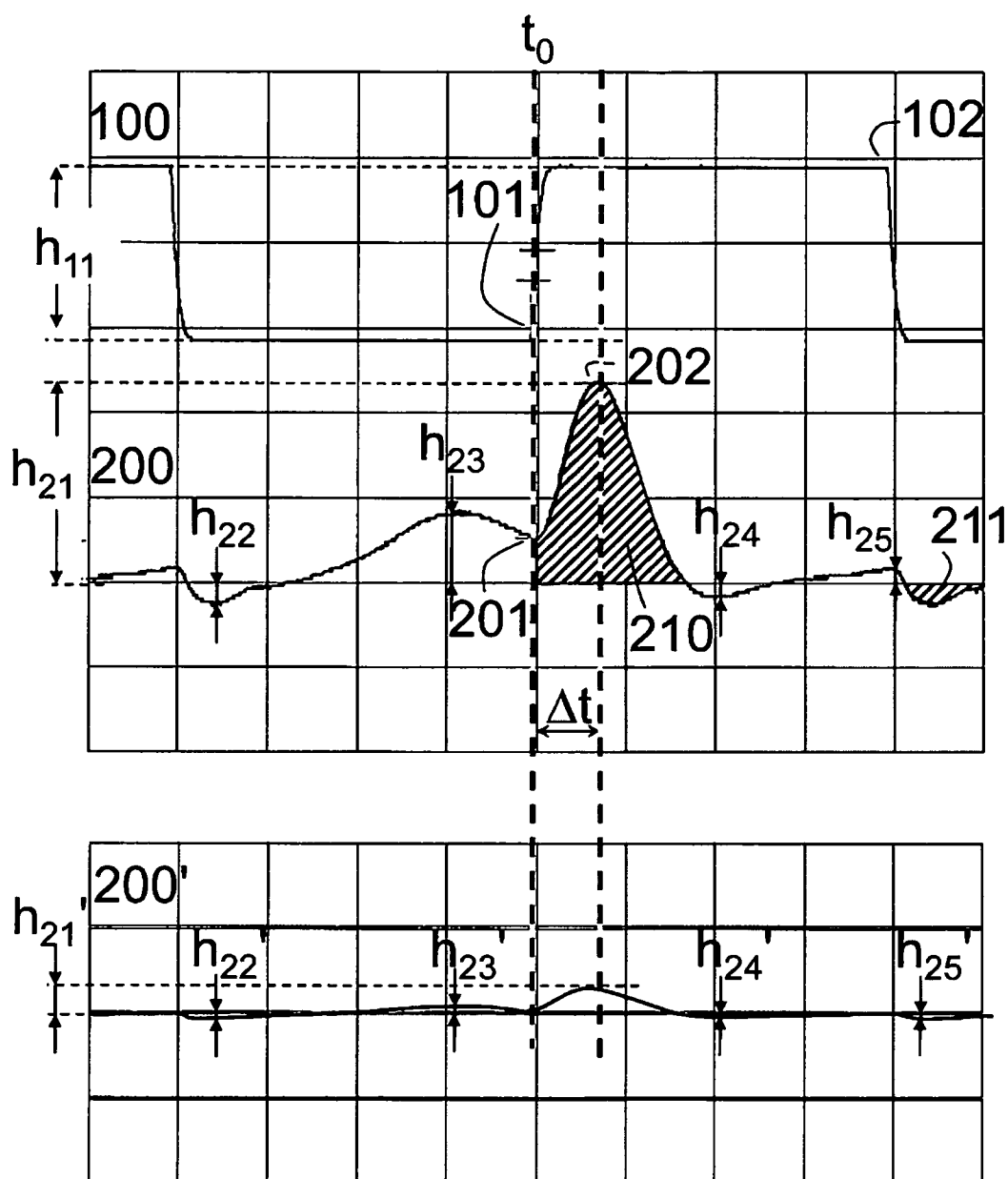


FIG. 12

13 / 13

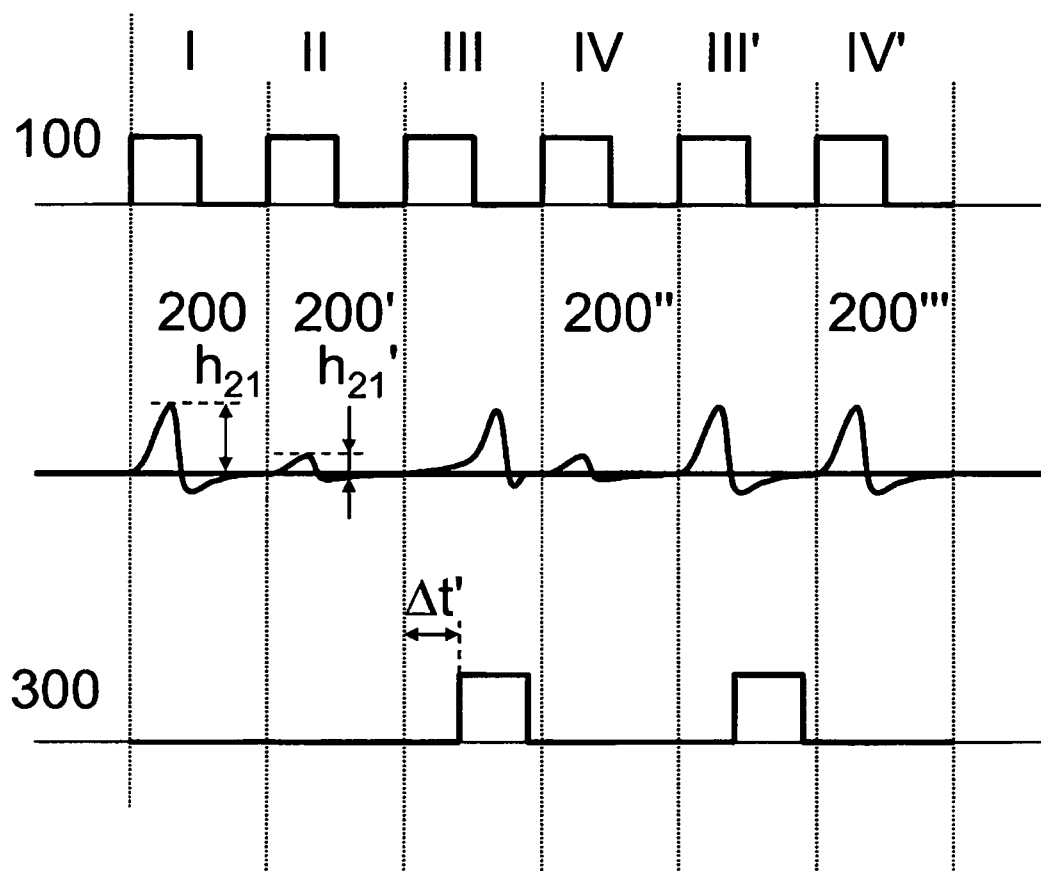


FIG. 13