



(10) **DE 10 2013 020 454 A1** 2015.06.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 020 454.2**

(22) Anmeldetag: **06.12.2013**

(43) Offenlegungstag: **11.06.2015**

(51) Int Cl.: **G01F 1/84 (2006.01)**

(71) Anmelder:
FESTO AG & Co. KG, 73734 Esslingen, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Magenbauer & Kollegen
Partnerschaft mbB, 73730 Esslingen, DE**

(72) Erfinder:
Ruoff, Jürgen, 70597 Stuttgart, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

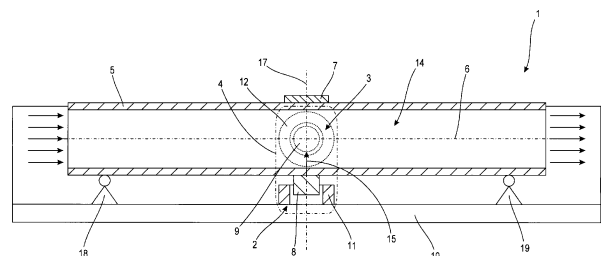
US	5 576 500	A
US	4 972 724	A
JP	H10- 221 147	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Massendurchflusssensor und Verfahren zur Ermittlung eines Massendurchflusses**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Massendurchflusssensor mit einem Rohrabschnitt (5), der an wenigstens einem Lagerbereich (18, 19) an einem Grundkörper (10) gelagert ist und der zur Durchströmung mit einem Massenstrom längs eines Strömungspfad, der von einer Erstreckungsachse (6) des Rohrabschnitts (5) bestimmt wird, ausgebildet ist, mit einer Anregungsanordnung (4), die mit dem Grundkörper (10) verbunden ist und die zur Einleitung von Kräften auf den Rohrabschnitt (5) ausgebildet ist, um eine Schwingung des Rohrabschnitts (5) zu bewirken, mit wenigstens einem Messaufnehmer (7) zur Bereitstellung eines Messsignals in Abhängigkeit von einer ermittelten Schwingungsauslenkung des Rohrabschnitts (5) sowie mit einer Verarbeitungseinrichtung (20) zur Ermittlung eines Massendurchflusses anhand des ermittelten Messsignals. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Anregungsanordnung (4) zur Einleitung von Kräften in unterschiedlichen Krafrichtungen (15, 16) auf den Rohrabschnitt (5) ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Massendurchflusssensor mit einem Rohrabschnitt, der an wenigstens einem Lagerbereich an einem Grundkörper gelagert ist und der zur Durchströmung mit einem Massenstrom längs eines Strömungspfads, der von einer Erstreckungsachse des Rohrabschnitts bestimmt wird, ausgebildet ist, mit einer Anregungsanordnung, die mit dem Grundkörper verbunden ist und die zur Einleitung von Kräften auf den Rohrabschnitt ausgebildet ist, um eine Schwingung des Rohrabschnitts zu bewirken, mit wenigstens einem Messaufnehmer zur Bereitstellung eines Messsignals in Abhängigkeit von einer ermittelten Schwingungsauslenkung des Rohrabschnitts sowie mit einer Verarbeitungseinrichtung zur Ermittlung eines Massendurchflusses anhand des ermittelten Messsignals. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Ermittlung eines Massendurchflusses durch einen Rohrabschnitt.

[0002] Aus der DE 35 03 841 A1 ist ein Massedurchflussmesser bekannt, bei dem mindestens ein vom Messmedium durchflossenes Rohr von einem Anregesystem in Schwingung versetzt wird, wobei durch den Massedurchfluss in dem Rohr Corioliskräfte erzeugt werden, die dessen Schwingbewegung in messbarer Weise beeinflussen. Dabei ist das Rohr als gerades Rohr ausgebildet, das an seinen entgegengesetzten Enden eingespannt ist und von dem Anregesystem nach Art einer Schwingensaiten in Schwingung versetzt wird. Die Corioliskräfte werden an den Einspannstellen des Rohres ermittelt, wo sie sich mit in Bezug auf einander entgegengesetzter Wirkungsrichtung ausgerichteten kinetischen Kräften überlagern, die ihre Ursache in der angeregten Schwingbewegung des Rohres haben, und jeweils um 90 Grad phasenverschoben auftreten, so dass die ermittelten resultierenden Kräfte an den Einspannstellen ebenfalls gegeneinander phasenverschoben sind, wobei die Größe der Phasenverschiebung durchflussproportional ist.

[0003] Die WO 92/14123 offenbart einen Messapparat zur Messung eines Massenstroms unter Ausnutzung des Coriolisprinzips. Hierbei ist vorgesehen, einen geraden Rohrabschnitt mit Hilfe vom entgegengesetzt am Rohrabschnitt angeordneten Antriebsmitteln derart in Schwingung zu versetzen, dass ausschließlich eine Querschnittsdeformation des Rohrabschnitts stattfindet, während eine Mittelachse des Rohrabschnitts unverformt bleibt. Durch Verwendung eines derartigen Apparates sollen neben dem Massenstrom auch ein Druck und eine Dichte des durch den Rohrabschnitt strömenden Fluids bestimmbar sein.

[0004] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Massendurchflusssensor und ein Verfahren zur Ermittlung eines Massendurchflusses durch einen

Rohrabschnitt bereitzustellen, die eine kontinuierliche Messung des Massendurchflusses durch den Rohrabschnitt ermöglichen.

[0005] Diese Aufgabe wird gemäß einem ersten Erfindungsaspekt für einen Massendurchflusssensor der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Hierbei ist vorgesehen, dass die Anregungsanordnung zur Einleitung von Kräften in unterschiedlichen Krafrichtungen auf den Rohrabschnitt ausgebildet ist.

[0006] Durch die Einleitung von Kräften in unterschiedlichen Krafrichtungen auf den Rohrabschnitt kann eine Schwingungsbewegung des Rohrabschnitts erzielt werden, bei der ein geometrisches Zentrum eines quer zum Strömungspfad ausgerichteten Querschnitts des Rohrabschnitts eine Bewegung auf einer zweidimensionalen Bahn beschreibt. Die Kräfte mit unterschiedlichen Krafrichtungen beinhalten dabei stets eine erste Kraft, deren Krafrichtung auf das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts gerichtet ist, sowie ein zweite Kraft, deren Krafrichtung quer oder orthogonal zur ersten Kraft ausgerichtet ist. Dabei kann exemplarisch auch vorgesehen sein, dass die Krafrichtung der zweiten Kraft ebenfalls auf das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts gerichtet ist, sofern eine Einleitung der beiden Kräfte an unterschiedlichen Orten des Rohrabschnitts erfolgt. Ferner ist vorgesehen, dass ein Betrag der zweiten Kraft wenigstens 10 Prozent eines Betrags der ersten Kraft beträgt, so dass eine signifikante Bewegung des Zentrums des Querschnitts des Rohrabschnitts in Richtung der zweiten Kraft stattfindet und durch die Überlagerung der beiden Kräfte sichergestellt werden kann, dass die Bewegungsgeschwindigkeit für das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts während der Durchführung der Messung stets größer Null ist. Die Bewegung für das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts kann als Überlagerung von zwei Bewegungen, die in zueinander senkrechten Raumrichtungen durchgeführt werden, beschrieben werden. Dabei kann das Rohr wahlweise gerade oder gekrümmt ausgebildet sein, da dies für das Messverfahren allenfalls eine untergeordnete Bedeutung hat.

[0007] Durch diese zweidimensionale Bewegung kann bei geeigneter Ansteuerung der Anregungsanordnung erreicht werden, dass zu jedem beliebigen Zeitpunkt während eines Durchflussmessvorgangs zumindest eine der beiden Bewegungskomponenten für die Bewegung des Zentrums des Querschnitts des Rohrabschnitts ungleich Null ist. Dadurch ergibt sich, dass auch zu jedem Zeitpunkt während der Durchführung der Durchflussmessung aus der Wechselwirkung zwischen dem Massendurchfluss durch den Rohrabschnitt und der Schwingungsbewegung des Rohrabschnitts resultierende Corioliskräfte auftreten,

die mit Hilfe des Messaufnehmers ermittelt werden können.

[0008] Dementsprechend ist es abweichend vom bekannten Stand der Technik möglich, eine tatsächlich kontinuierliche Messung des Massendurchflusses durch den Rohrabschnitt durchzuführen. Beim Stand der Technik stellt sich aufgrund der in den Rohrabschnitt eingeleiteten harmonischen Schwingungen und der damit verknüpften Bewegungsumkehr in regelmäßigen Abständen eine verschwindende Bewegungsgeschwindigkeit des entsprechenden Zentrums des jeweiligen Querschnitts des überwachten Rohrabschnitts ein. Dementsprechend ist zu diesen Zeitpunkten auch keine Corioliskraft messbar, so dass Lücken in der Messung auftreten. Darüber hinaus ergeben sich in Bereichen, die an die jeweiligen Umkehrpunkte der Schwingungen angrenzen, relativ geringe Bewegungsgeschwindigkeiten, in denen nur sehr geringe Corioliskräfte auftreten, so dass zumindest in diesen Bereichen mit einer erhöhten Messgenauigkeit gerechnet werden muss.

[0009] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0010] Zweckmäßig ist es, wenn die Anordnungsanordnung wenigstens zwei Anregungsmittel umfasst, die jeweils zur, insbesondere kontaktlosen, Einleitung von Kräften in einer vorgebbaren Krafrichtung auf den Rohrabschnitt ausgebildet sind. Hiermit kann eine kostengünstige Aufbauweise für die Anordnungsanordnung erzielt werden, da die unterschiedlichen Krafrichtungen von separat ausgebildeten Anregungsmitteln auf den Rohrabschnitt eingeleitet werden. Bei den Anregungsmitteln handelt es sich beispielsweise um Magnetspulenantriebe, die eine kontaktlose Einkopplung von Kräften auf den Rohrabschnitt ermöglichen. Vorzugsweise sind die Krafrichtungen der ersten und der zweiten Kraft jeweils auf das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts gerichtet. Dies kann dadurch erzielt werden, dass die Anregungsmittel an unterschiedlichen Orten auf den Rohrabschnitt aufweisen. In der Praxis wird eine Ausrichtung der wenigstens zwei Anregungsmittel so erfolgen, dass stets neben der auf das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts gerichteten Kraftkomponente des jeweiligen Anregungsmittels eine weitere, nicht auf das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts gerichtete Kraftkomponente auftritt. Hierbei ist es vorteilhaft, wenn die auf das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts gerichtete Kraftkomponente erheblich größer, insbesondere mindestens um den Faktor 10 größer, als die hierzu senkrechte Kraftkomponente ist, um die gewünschte Bewegung für das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts ohne allzu großen Aufwand bezüglich der Ansteuerung der Anregungsmittel erreichen zu können.

[0011] Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Krafrichtungen der von den wenigstens zwei Anregungsmitteln bereitgestellten Kräfte eine Schwingungsebene für den Rohrabschnitt bestimmen, die quer zur Erstreckungsachse des Rohrabschnitts ausgebildet ist. Dadurch soll erreicht werden, dass auf das im Rohrabschnitt strömende Fluid zumindest nahezu ausschließlich Querkräfte wirken, während in Längsrichtung des Rohrabschnitts gerichtete Kräfte zumindest weitgehend, insbesondere vollständig, vermieden werden. Hierdurch ist eine besonders präzise Messung der auftretenden Corioliskräfte gewährleistet.

[0012] Hierbei ist es vorteilhaft, wenn die Krafrichtungen der von den wenigstens zwei Anregungsmitteln bereitgestellten Kräfte einen Winkel zwischen 45 Grad und 125 Grad, vorzugsweise 90 Grad, miteinander einschließen.

[0013] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Anordnungsanordnung eine Ansteuereinrichtung umfasst, die derart für eine koordinierte Bereitstellung von Energie an die wenigstens zwei Anregungsmittel ausgebildet ist, dass der Rohrabschnitt eine Schwingungsbewegung mit einer stets von Null verschiedenen Geschwindigkeit ausführt.

[0014] Vorzugsweise ist die Ansteuereinrichtung derart ausgebildet, dass sie die wenigstens zwei Anregungsmittel derart ansteuern kann, dass das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts eine vorzugsweise vom Massendurchfluss unabhängige, vorgegebene zweidimensionale Bahn, insbesondere eine Ellipsenbahn oder eine Kreisbahn, beschreibt. Dazu kann beispielsweise vorgesehen werden, die an die Anregungsmittel bereitgestellten Energiemengen derart zu regeln, dass das Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts die vorgegebene zweidimensionale Bahn unabhängig vom vorliegenden Massendurchfluss abfährt. Bei dieser Betriebsweise kann aus den Energiemengen für die Anregungsmittel ein Rückschluss auf den Massendurchfluss gezogen werden.

[0015] Alternativ kann ein in der Verarbeitungseinrichtung ablaufendes Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Massendurchflusses anhand des ermittelten Messsignals des Messaufnehmers beispielsweise darauf gerichtet sein, die einzelnen Bewegungskomponenten der Bewegung des Zentrums des Querschnitts des Rohrabschnitts bei fest vorgegebener Einleitung von Kräften auf den Rohrabschnitt zu ermitteln, um daraus auf den Massendurchfluss zu schließen. Dabei folgend die eingeleiteten Kräfte vorzugsweise einem vorgegebenen Kraftverlauf und sind somit in zyklisch wiederkehrender Weise als konstant anzusehen.

[0016] Vorzugsweise ist der Messaufnehmer als Wegsensor oder als Beschleunigungssensor oder als Geschwindigkeitssensor ausgebildet, der zumindest zwei senkrechte Bewegungskomponenten für die Bewegung des Zentrums des Querschnitts des Rohrabschnitts ermitteln kann. Alternativ kann vorgesehen sein, dass der Messaufnehmer wenigstens zwei am Umfang des Rohrabschnitts angeordnete Dehnungsmesselemente, insbesondere Dehnungsmessstreifen, umfasst, mit deren Hilfe eine durch die eingeleiteten Kräfte und die resultierenden Corioliskräfte bewirkte Deformation des Rohrabschnitts gemessen werden kann. Der Messaufnehmer kann auch als kontaktloser Messaufnehmer, insbesondere als optischer Messaufnehmer, ausgebildet sein, beispielsweise um eine Position des Zentrums des Querschnitts des Rohrabschnitts ermitteln zu können. Beispielfhaft umfasst der Messaufnehmer eine Kamera und ein Bildverarbeitungssystem zur Ermittlung der Deformation des Rohrabschnitts während des Messvorgangs.

[0017] Die Aufgabe der Erfindung wird gemäß einem zweiten Erfindungsaspekt mit einem Verfahren zur Ermittlung eines Massendurchflusses gelöst, wie es im Anspruch 6 angegeben ist. Zur Durchführung des Verfahrens sind eine Anregungsanordnung zur Erzeugung von Schwingungen des Rohrabschnitts, wenigstens ein Messaufnehmer zur Bereitstellung eines Messsignals in Abhängigkeit von einer ermittelten Schwingungsauslegung des Rohrabschnitts sowie eine Verarbeitungseinrichtung zur Ermittlung eines Massendurchflusses anhand des ermittelten Messsignals vorgesehen, wobei die Anregungsanordnung eine Bewegung eines geometrischen Zentrums eines Querschnitts in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen bewirkt. Vorzugsweise ist eine Einkopplung der von den Anregungsmitteln auf den Rohrabschnitt abgegebenen Kräfte derart vorgesehen, dass der Querschnitt des Rohrabschnitts in der quer zur Erstreckungsachse ausgerichteten Querschnittsebene möglichst nicht oder nur in geringer und vorhersehbarer Weise deformiert wird. Das Hauptanliegen des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, das geometrische Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts in den zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen auf einer zweidimensionalen Bahn zu bewegen, um zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Durchführung des Messverfahrens eine Bewegung quer zur Strömungsrichtung des Fluids und somit auch eine messbare Corioliskraft zur Verfügung zu haben.

[0018] Dementsprechend ist es bei der Durchführung des Verfahrens vorgesehen, dass ein Betrag einer Bewegungsgeschwindigkeit für die Bewegung des geometrischen Zentrums des Rohrabschnitts während der Ermittlung des Massendurchflusses stets größer Null ist. Bevorzugt ist eine Bewegung des geometrischen Zentrums des Rohrabschnitts auf einer zweidimensionalen Bahn vorgesehen, die zu-

mindest zu einer Spiegelebene spiegelsymmetrisch ist, wobei die Spiegelebene die Erstreckungsachse umfasst.

[0019] In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass das geometrische Zentrum des Rohrabschnitts bei der Ermittlung des Massendurchflusses auf einer elliptischen Bahn, insbesondere auf einer Kreisbahn, bewegt wird. Eine Ansteuerung der Anregungsanordnung soll vorzugsweise so erfolgen, dass unabhängig von auftretenden Corioliskräften, insbesondere auch ohne Vorliegen eines Massendurchflusses, das geometrische Zentrum des Rohrabschnitts auf einer zweidimensionalen elliptischen Bahn bewegt wird. Vorzugsweise stehen Längen von zueinander senkrechten Hauptachsen der zweidimensionalen elliptischen Bahn in einem Verhältnis kleiner 1 zu 5, insbesondere in einem Verhältnis 1 zu 1, was einer Kreisbahn entspricht. Je mehr das Verhältnis der Längen der Hauptachsen der elliptischen Bahn sich, unter der Voraussetzung einer konstanten Winkelgeschwindigkeit für die Bahnbewegung, einem Verhältnis von 1 zu 1 annähert, liegt zu jedem Zeitpunkt während der Durchführung des Messverfahrens eine im Wesentlichen konstante Corioliskraft vor, sofern der Massendurchfluss während der Durchführung des Messvorgangs konstant ist.

[0020] Dementsprechend ist bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens vorgesehen, dass das geometrische Zentrum des Rohrabschnitts mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt wird.

[0021] Bei einer alternativen Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass das geometrische Zentrum des Rohrabschnitts mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit bewegt wird. Dies ist insbesondere dann von Interesse, wenn das geometrische Zentrum des Rohrabschnitts auf einer Kreisbahn bewegt wird, so dass zu jedem beliebigen Zeitpunkt während der Durchführung des Messvorgangs unter der Voraussetzung eines konstanten Massenstroms durch den Vorabschnitt eine ebenfalls konstante Corioliskraft vorliegt.

[0022] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt. Hierbei zeigt:

[0023] Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung eines Massendurchflusssensors, der einen Rohrabschnitt, zwei voneinander beabstandete Lagermittel und zwei senkrecht zueinander angeordnete Anregungsmittel umfasst,

[0024] Fig. 2 den Massendurchflusssensor gemäß Fig. 1 in einer Seitenansicht mit einer zugeordneten Ansteuereinrichtung,

[0025] Fig. 3 eine erste Bewegungsbahn für ein geometrisches Zentrum eines Querschnitts des Rohrabschnitts

schnitts des Massendurchflusssensors gemäß den Fig. 1 und Fig. 2,

[0026] Fig. 4 eine zweite Bewegungsbahn des geometrischen Zentrums des Rohrabschnitts, die durch eine anders geartete Anregung durch die Anregungsmittel des Massendurchflusssensors gemäß den Fig. 1 und Fig. 2 hervorgerufen werden kann und

[0027] Fig. 5 eine dritte Bewegungsbahn für das geometrische Zentrum des Querschnitts des Rohrabschnitts.

[0028] Ein in den Fig. 1 und Fig. 2 schematisch dargestellter Massendurchflusssensor **1** ist zur kontaktlosen Messung eines Fluidmassenstroms, insbesondere eines Gasstroms oder eines Flüssigkeitsstroms (mit oder ohne Feststoffpartikel) oder eines Aerosolstroms (mit festen und/oder flüssigen Partikeln), durch einen vorgegebenen, exemplarisch kreisrunden, Querschnitt **14** ausgebildet und kann beispielsweise in einer verfahrenstechnischen Anlage wie einem chemischen Reaktor oder an einer Bearbeitungsmaschine zur Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt werden, um einen Massendurchfluss eines Fluids, insbesondere einer Flüssigkeit, zu ermöglichen. Anhand eines ermittelten Massendurchflusses kann beispielsweise festgestellt werden, ob eine ausreichende Menge eines Rohstoffs für einen chemischen Prozess in einem Reaktor zugeführt wurde oder ob bei einer Bearbeitungsmaschine ein Fluidstrom, beispielsweise ein Kühlschmiermittelstrom oder ein Druckluftstrom, während einer Bearbeitung eines Werkstücks innerhalb eines vorgegebenen Intervalls liegt.

[0029] Der in den Fig. 1 und Fig. 2 dargestellte Massendurchflusssensor **1** ist für die Ermittlung eines Massendurchflusses auf der Basis der Ermittlung von Corioliskräften ausgebildet. Corioliskräfte stellen sich bei einer Bewegung von Teilchen in einem rotierenden Bezugssystem ein, dementsprechend umfasst der Massendurchflusssensor **1** exemplarisch als Magnetspulen ausgebildete Anregungsmittel **2, 3**, die eine Anregungsanordnung **4** bilden, um einen Rohrabschnitt **5** mit Kräften beaufschlagen zu können, die zu einer Schwingungsbewegung dieses Rohrabschnitts **5** führen. Im Rahmen der Schwingungsbewegung und eines Massenstroms durch den Rohrabschnitt **5** längs einer Erstreckungsachse **6** treten die vom tatsächlichen Massendurchfluss abhängigen Corioliskräfte auf. Um diese Corioliskräfte ermitteln zu können, ist ein exemplarisch als Beschleunigungssensor ausgebildeter Messaufnehmer **7** vorgesehen, der beispielhaft an einer Außenoberfläche des Rohrabschnitts **5** angebracht ist und der zur Ermittlung von Beschleunigungen in zumindest zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen ausgebildet ist. Alternativ oder ergänzend können auch ein oder mehrere Wegsensoren eingesetzt werden, die beispielsweise

eine optische, also berührungslose Abtastung der Position des Rohrabschnitts ermöglichen.

[0030] Exemplarisch ist vorgesehen, dass an einer Außenoberfläche des Rohrabschnitts **5** jeweils den Anregungsmitteln **2, 3** zugehörige Permanentmagnete **8, 9** angeordnet sind, die in magnetische Wechselwirkung mit ortsfest an einem Grundkörper **10** angeordneten Magnetspulen **11, 12** stehen, sobald die Magnetspulen **11, 12** mit geeigneten Strömen beaufschlagt werden. Beispielhaft sind die Anregungsmittel **2, 3** geometrisch derart gegenüber dem Rohrabschnitt **5** ausgerichtet, dass von den Anregungsmitteln **2, 3** eingeleitete, durch Kraftpfeile **15** und **16** symbolisierte Anregungskräfte einen Winkel von 90 Grad zueinander einnehmen und eine Kraftebene **17** bestimmen, die senkrecht zur Erstreckungsachse **6** ausgerichtet ist und die auch eine Bewegungsebene bzw. Schwingungsebene für einen Querschnitt des Rohrabschnitts **5** bildet. In der idealisierten Darstellung der Fig. 1 und Fig. 2 sind die Kraftpfeile **15, 16** jeweils unmittelbar auf den Mittelpunkt des Rohrabschnitts **5** ausgerichtet. In der Praxis wird eine derart exakte Ausrichtung nur schwierig zu erreichen sein, so dass zu der in den Fig. 1 und Fig. 2 eingezeichneten, auf den Mittelpunkt des Rohrabschnitts **5** ausgerichteten Kraftkomponente **15, 16** eine nicht dargestellte, erheblich kleinere Kraftkomponente hinzukommt, die quer zur jeweiligen Kraftkomponente **15, 16** ausgerichtet ist. Entscheidend für die Durchführung des Messverfahrens ist jedoch lediglich, dass eine Ansteuerung der Anregungsmittel **2, 3** in einer Weise erfolgen kann, bei der sichergestellt ist, dass während der Durchführung der Durchflussmessung eine Bewegungsgeschwindigkeit des Rohrabschnitts **5** stets größer Null ist.

[0031] Der Rohrabschnitt **5** ist jeweils endseitig an Lagermitteln **18, 19** mit dem Grundkörper **10** gekoppelt, wobei es sich bei den Lagermitteln **18, 19** exemplarisch um Kugel-Schwenklager handelt, die jeweils zwei Freiheitsgrade der Bewegung für den Rohrabschnitt **5** gegenüber dem Grundkörper **10** sicherstellen und somit eine im wesentlichen freie Deformation des Rohrabschnitts **5** bei Einleitung von Anregungskräften durch die Anregungsmittel **2, 3** ermöglichen. Bei einer nicht dargestellten Ausführungsform ist der Rohrabschnitt nur einseitig fest eingespannt und an einem der Einspannstelle entgegengesetzten Endbereich frei schwingend ausgebildet. Dies kann beispielsweise realisiert werden, wenn der Rohrabschnitt als Ausguss ausgebildet ist, so dass das durch den Rohrabschnitt strömende Fluid an einer der Einspannstelle entgegengesetzten Mündungsöffnung des Rohrabschnitts in eine Umgebung ausströmen kann, beispielsweise als Flüssigkeitsstrom im Freistrahlauslaufen kann.

[0032] Wie in der Fig. 2 exemplarisch dargestellt, sind die Anregungsmittel **2, 3** sowie der Messauf-

nehmer **7** elektrisch mit einer Ansteuereinrichtung **20** verbunden, die zum einen zur Bereitstellung von Anregungsenergie an die Anregungsmittel **2, 3** sowie zur Verarbeitung von Messsignalen des Messaufnehmers ausgebildet ist. In der **Fig. 2** ist ferner ein geometrisches Zentrum **21** eines exemplarisch in der Kraftebene **17** liegenden Querschnitts des Rohrabschnitts **5** in einer Ruhelage eingezeichnet, in der keine Anregungskräfte von den Anregungsmitteln **2, 3** auf den Rohrabschnitt **5** ausgeübt werden.

[0033] In den **Fig. 3** bis **Fig. 5** sind jeweils die aus der **Fig. 2** zu entnehmende Ruheposition des geometrischen Zentrums **21** sowie eine auf einer Bewegungsbahn **22, 23, 24** liegende Bewegungsposition für das geometrische Zentrum **21** dargestellt.

[0034] Die in der **Fig. 3** dargestellte elliptische Bahn für das geometrische Zentrum **21** kann beispielsweise durch eine Ansteuerung der beiden Anregungsmittel **2, 3** mit elektrischen Strömen erfolgen, die jeweils Sinusschwingungen folgen, wobei ein Phasenversatz für die Ströme der beiden Anregungsmittel **2, 3** von 90 Grad vorgesehen ist. Ferner stellt sich die elliptische Bewegungsbahn **22** unter Zugrundelegung eines homogenen Querschnitts für den Rohrabschnitt **5** ein, wenn das exemplarisch in vertikaler Richtung wirkende zweite Anregungsmittel **3** mit einer kleineren Amplitude hinsichtlich der sinusförmigen Anregungsströme als das erste Anregungsmittel **2** versorgt wird. Beispielfhaft ist vorgesehen, dass die vom geometrischen Zentrum **21** gemäß der **Fig. 3** beschriebene elliptische Bewegungsbahn eine erste, beispielfhaft waagrecht ausgerichtete Hauptachse **25** sowie eine zweite, beispielfhaft senkrecht ausgerichtete zweite Hauptachse **26** aufweist, wobei die Länge der zweiten Hauptachse **26** zumindest 20 Prozent der Länge der ersten Hauptachse **25** beträgt.

[0035] Bei der in **Fig. 4** dargestellten Bewegungsbahn **23** für das geometrische Zentrum **21** ist vorzugsweise vorgesehen, dass beide Anregungsmittel **2, 3** mit um 90 Grad phasenversetzten sinusförmigen Anregungsströmen beaufschlagt werden und unter der Zugrundelegung eines homogenen Querschnitts für den Rohrabschnitt **5** die Amplituden der Anregungsströme für die beiden Anregungsmittel **2, 3** zumindest weitestgehend, insbesondere vollständig, identisch sind. Dementsprechend ergibt sich eine Kreisbahn als Sonderfall einer elliptischen Bewegungsbahn, wobei die Hauptachsen **27** und **28** jeweils eine identische Länge aufweisen.

[0036] Mit der in **Fig. 5** dargestellten Bewegungsbahn **24** soll dargelegt werden, dass durch geeignete Ansteuerung der Anregungsmittel **2, 3** auch Bahnverläufe abseits einer Kreisbahn oder einer elliptischen Bahn möglich sind.

[0037] Entscheidend für die Funktion des Massendurchflusssensors **1** ist es, dass das geometrische Zentrum während der Durchführung des Messvorgangs auf einer zweidimensionalen Bahn bewegt wird und somit zu jedem Zeitpunkt eine von Null unterschiedliche Bahngeschwindigkeit aufweist, so dass ebenfalls zu jedem Zeitpunkt auch tatsächlich Corioliskräfte auftreten, die mit Hilfe des Messaufnehmers **7** ermittelt werden können.

[0038] Für die Durchführung des Messvorgangs kann vorgesehen werden, dass die Anregungsmittel **2, 3** bei fluidgefülltem Rohrabschnitt, jedoch ohne Fluidströmung, mit vorgebbaren Anregungsströmen beaufschlagt werden und mit Hilfe des Messaufnehmers **7** eine sich einstellende Bahn des geometrischen Zentrums **21** ermittelt wird. Diese Bahn wird in der als Verarbeitungseinrichtung dienenden Ansteuereinrichtung **20** gespeichert und kann zu einem späteren Zeitpunkt während der Durchführung eines Messvorgangs mit einer tatsächlichen Bahn des geometrischen Zentrums **21** verglichen werden, die bei gleichartiger Bereitstellung von Anregungsstrom an die Anregungsmittel **2, 3** vollzogen wird. Aus einer Differenz zwischen der gespeicherten Bahn und der sich während des Massendurchflusses tatsächlich einstellenden Bahn kann auf die Corioliskräfte und somit auf den Massendurchfluss rückgeschlossen werden.

[0039] Alternativ kann vorgesehen werden, zunächst zu Kalibrierungszwecken den mit ruhendem Fluid gefüllten Rohrabschnitt auf einer vorgebbaren Bewegungsbahn zu bewegen und die hierbei notwendigen Anregungsströme für die Anregungsmittel **2, 3** in der Ansteuereinrichtung zu speichern, um anschließend während der Durchführung eines Messvorgangs einen Vergleich mit dem tatsächlich erforderlichen Anregungsströmen für die Anregungsmittel **2, 3** vornehmen zu können, die aufgebracht werden müssen, um das geometrische Zentrum auf der vorgegebenen Bewegungsbahn bei strömendem Fluid zu halten.

[0040] Abweichend von der in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten Ausrichtung der Anregungsmittel **2, 3** können diese auch in einer Weise angeordnet werden, dass die Kraftrichtungen einen Winkel zwischen 45 Grad und 135 Grad einschließen. Dabei ist es keinesfalls zwingend, dass die beiden Anregungsmittel **2, 3** derart am Rohrabschnitt **5** angeordnet sind, dass sich die von den jeweiligen Anregungsmitteln **2, 3** ausgerichteten Kräfte und die zur Beschreibung dieser Kräfte dienenden Kraftpfeile exakt im geometrischen Zentrum **21** des Querschnitts des Rohrabschnitts **5** schneiden. Auch andere Anordnung der Anregungsmittel **2, 3** können vorgenommen werden, ohne die prinzipielle Durchführbarkeit des Messverfahrens in Frage zu stellen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 3503841 A1 [0002]
- WO 92/14123 [0003]

Patentansprüche

1. Massendurchflusssensor mit einem Rohrabschnitt (5), der an wenigstens einem Lagerbereich (18, 19) an einem Grundkörper (10) gelagert ist und der zur Durchströmung mit einem Massenstrom längs eines Strömungspfad, der von einer Erstreckungsachse (6) des Rohrabschnitts (5) bestimmt wird, ausgebildet ist, mit einer Anregungsanordnung (4), die mit dem Grundkörper (10) verbunden ist und die zur Einleitung von Kräften auf den Rohrabschnitt (5) ausgebildet ist, um eine Schwingung des Rohrabschnitts (5) zu bewirken, mit wenigstens einem Messaufnehmer (7) zur Bereitstellung eines Messsignals in Abhängigkeit von einer ermittelten Schwingungsauslenkung des Rohrabschnitts (5) sowie mit einer Verarbeitungseinrichtung (20) zur Ermittlung eines Massendurchflusses anhand des ermittelten Messsignals, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anregungsanordnung (4) zur Einleitung von Kräften in unterschiedlichen Krafrichtungen (15, 16) auf den Rohrabschnitt (5) ausgebildet ist.

2. Massendurchflusssensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anregungsanordnung (4) wenigstens zwei Anregungsmittel (2, 3) umfasst, die jeweils zur, insbesondere kontaktlosen, Einleitung von Kräften in einer vorgebbaren Krafrichtung (15, 16) auf den, insbesondere mit gerader Erstreckungsachse (6) ausgebildeten, Rohrabschnitt (5) ausgebildet sind.

3. Massendurchflusssensor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Krafrichtungen (15, 16) der von den wenigstens zwei Anregungsmitteln (2, 3) bereitgestellten Kräfte eine Schwingungsebene (17) für den Rohrabschnitt (5) bestimmen, die quer zur Erstreckungsachse (6) des Rohrabschnitts (5) ausgerichtet ist.

4. Massendurchflusssensor nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Krafrichtungen (15, 16) der von den wenigstens zwei Anregungsmitteln (2, 3) bereitgestellten Kräfte einen Winkel zwischen 45 Grad und 135 Grad, vorzugsweise 90 Grad, miteinander einschließen.

5. Massendurchflusssensor nach Anspruch 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anregungsanordnung (4) eine Ansteuereinrichtung umfasst, die derart für eine koordinierte Bereitstellung von Energie an die wenigstens zwei Anregungsmittel (2, 3) ausgebildet ist, dass der Rohrabschnitt (5) eine Schwingungsbewegung mit einer stets von Null verschiedenen Geschwindigkeit ausführt.

6. Verfahren zur Ermittlung eines Massendurchflusses durch einen Rohrabschnitt (5) mit einer Anregungsanordnung (4) zur Erzeugung von Schwingungen des Rohrabschnitts (5), mit wenigstens einem

Messaufnehmer (7) zur Bereitstellung eines Messsignals in Abhängigkeit von einer ermittelten Schwingungsauslenkung des Rohrabschnitts (5) sowie mit einer Verarbeitungseinrichtung (20) zur Ermittlung eines Massendurchflusses anhand des ermittelten Messsignals, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anregungsanordnung (4) eine Bewegung eines geometrischen Zentrums (21) eines Querschnitts des Rohrabschnitts (5) in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen (15, 16) bewirkt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das ein Betrag einer Bewegungsgeschwindigkeit für die Bewegung des geometrischen Zentrums (21) des Rohrabschnitts (5) während der Ermittlung des Massendurchflusses stets größer Null ist.

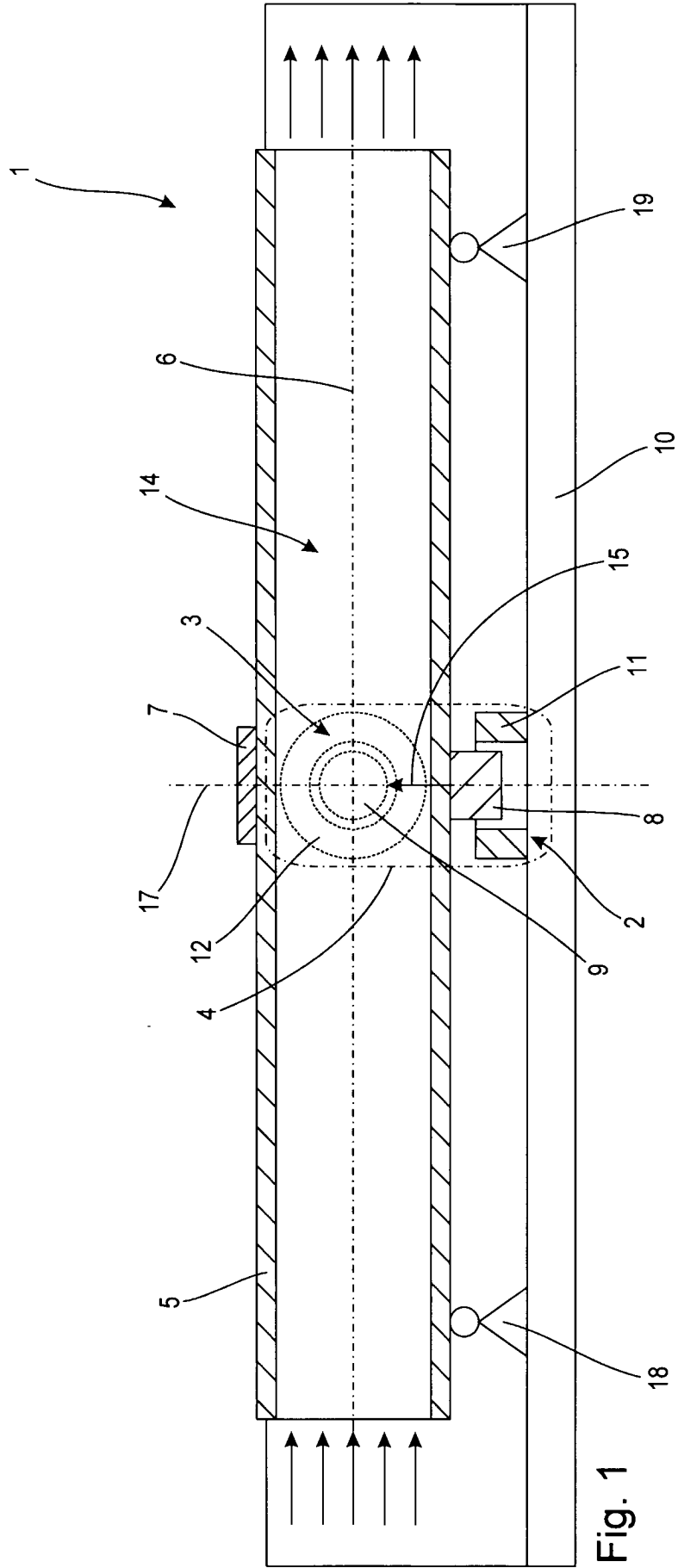
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das geometrische Zentrum (21) des Rohrabschnitts (5) bei der Ermittlung des Massendurchflusses auf einer elliptischen Bahn (22), insbesondere auf einer Kreisbahn (23), bewegt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das geometrische Zentrum (21) des Rohrabschnitts (5) mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das geometrische Zentrum (21) des Rohrabschnitts (5) mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit bewegt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



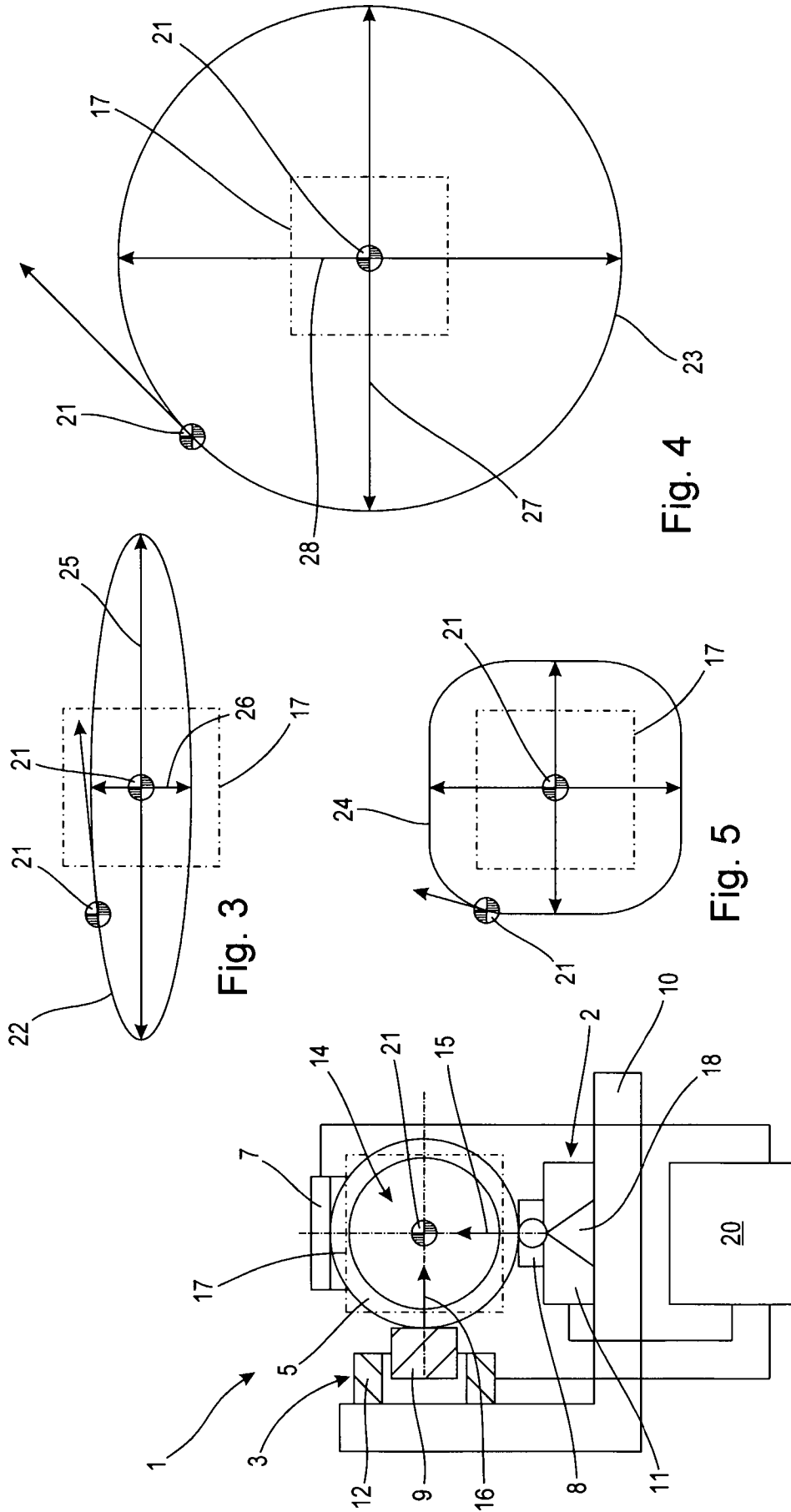


Fig. 2