

(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
6. März 2003 (06.03.2003)

PCT

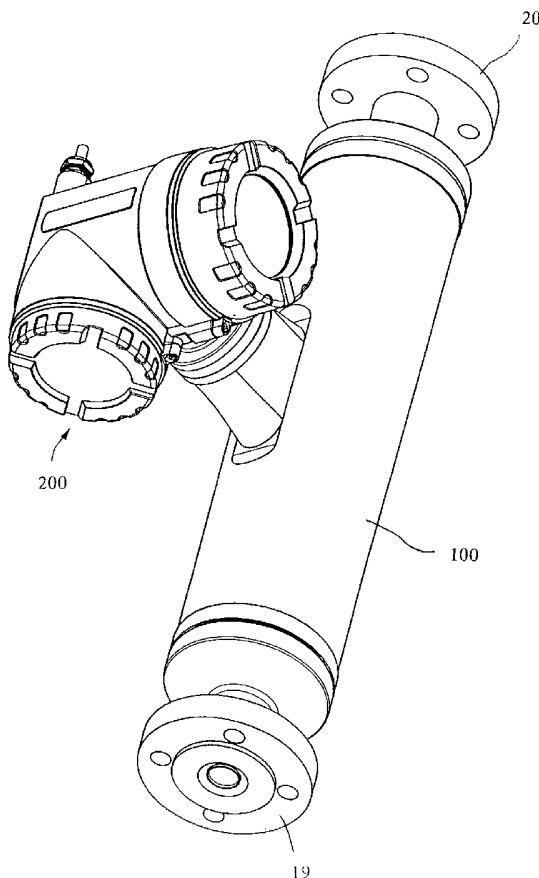
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/019153 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01N 11/16** (71) **Anmelder:** **ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG**
[CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/09215 (72) **Erfinder:** **DRAHM, Wolfgang**; Am Hochrainacker 82,
85435 Erding (DE). **RIEDER, Alfred**; Buchenstrasse 9,
84034 Landshut (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. August 2002 (17.08.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) **Anwalt:** **ANDRES, Angelika**; c/o Endress + Hauser
Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse
6, 79576 Weil am Rhein (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
01120343.7 24. August 2001 (24.08.2001) EP (81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT,
01121869.0 11. September 2001 (11.09.2001) EP AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** VISCOSITY MEASURING INSTRUMENT

(54) **Bezeichnung:** VISKOSITÄTS-MESSGERÄT



(57) **Abstract:** The invention relates to a viscosity measuring instrument. Said instrument supplies a viscosity measuring value (Xh) which represents the viscosity of a liquid flowing in a connected pipe. To this end, the inventive instrument comprises a vibrational measuring sensor (10) having at least one measuring tube (13) which is in communication with the pipe and is used to guide the liquid. Driven by an excitation device (16), the measuring tube (13) is vibrated in operation in such a way that friction forces acting in the liquid are generated. The viscosity measuring device also comprises an electronic measuring instrument (50) which feeds an excitation current (iexc) into the excitation device (16). A first internal intermediate value (X1) corresponding to the excitation current (iexc), and thus representing friction forces acting in the liquid, is formed by means of the electronic measuring instrument (50). According to the invention, a second internal intermediate value (X2) representing a non-homogeneity in the liquid is also produced in the electronic measuring instrument (50). Said electronic measuring instrument (50) then determines the viscosity measuring value (Xh) by means of the two intermediate values (X1, X2). Furthermore, the intermediate value (X1) is normalised, preferably by means of an amplitude adjustment signal (yAM) for the excitement current (iexc), said signal corresponding to the vibrations of the measuring tube (13). The viscosity measuring value (Xh) supplied by the viscosity measuring instrument is thus highly precise and extensively robust, especially independently of the assembly position of the measuring tube (13).

(57) **Zusammenfassung:** Das Viskositäts-Messgerät liefert einen Viskositäts-Messwert (Xh), der eine Viskosität eines in einer angeschlossenen Rohrleitung strömenden Fluids repräsentiert. Das Viskositäts-Messgerät umfasst dazu einen Messaufnehmer (10) vom Vibrationstyp mit wenigstens einem mit der Rohrleitung

kommunizierenden Messrohr (13) zum Führen des Fluids. Angetrieben von einer Erregeranordnung (16) wird das Messrohr (13) im Betrieb so vibrieren gelassen, dass im Fluid wirkende

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/019153 A1



CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

Reibungskräfte erzeugt werden. Des weiteren weist das Viskositäts-Messgerät eine Messgerät-Elektronik (50) auf, die einen Erregerstrom (iexc) in die Erregeranordnung (16) einspeist. Mittels der Messgerät-Elektronik (50) wird ein mit dem Erregerstrom (iexc) korrespondierender und so die im Fluid wirkenden Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwert (X1) gebildet. Erfindungsgemäss wird in der Messgerät-Elektronik (50) ausserdem ein Inhomogenitäten im Fluid repräsentierender zweiter interner Zwischenwert (X2) erzeugt, wobei die Messgerät-Elektronik (50) den Viskositäts-Messwert (Xh) dann unter Verwendung der beiden Zwischenwerte (X1, X2) ermittelt. Ferner wird der Zwischenwert (X1) bevorzugt mittels eines mit den Schwingungen des Messrohrs (13) korrespondierenden Amplitudenstellsignals (yAM) für den Erregerstrom (iexc) normiert. Der vom Viskositäts-Messgerät gelieferte Viskositäts-Messwert (Xh) ist dadurch, insb. auch unabhängig von der Einbaulage des Messrohrs (13), hoch genau und weitgehend robust.

Viskositäts-Meßgerät

Die Erfindung betrifft ein Viskositäts-Meßgerät für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid sowie ein Verfahren zum Ermitteln einer Viskosität des Fluids.

In der Meß- und Automatisierungstechnik werden zur Ermittlung der Viskosität eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, insb. einer Flüssigkeit, oftmals solche Meßgeräte verwendet, die mittels eines Meßaufnehmers vom Vibrationstyp und einer daran angeschlossenen Meßgerät-Elektronik, im hindurchströmenden Fluid innere Reibungskräfte bewirken und von diesen abgeleitet ein die jeweilige Viskosität repräsentierendes Meßsignal erzeugen.

Derartige Viskositäts-Meßgeräte sind z.B. in der US-A 45 24 610 oder in der WO-A 95/16 897 beschrieben, wobei die Viskositäts-Meßgeräte jeweils umfassen:

- einen Meßaufnehmer vom Vibrationstyp
- mit einem im wesentlichen geraden, mit der Rohrleitung kommunizierenden und im Betrieb vibrierenden Meßrohr zum Führen des Fluids,
- mit einer Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des Meßrohrs,
- wobei eine gedachte Meßrohrmittelachse des vibrierenden Meßrohrs im wesentlichen in ihrer Form und Raumlage belassen wird, so daß das Meßrohr eine im zugewiesene statische Ruhelage praktisch nicht verläßt und
- mit einer Sensoranordnung zum Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs und zum Erzeugen wenigstens eines die Vibrationen des Meßrohrs repräsentierenden Sensorsignals sowie
- eine Meßgerät-Elektronik, die
- einen die Erregeranordnung speisenden Erregerstrom und
- zumindest einen die Viskosität des Fluids momentan repräsentierenden Meßwert liefert,
- wobei die Meßgerät-Elektronik
- mittels des wenigstens einen Sensorsignals den Erregerstrom einstellt und
- mittels des Erregerstroms einen Reibungen im Fluid momentan repräsentierenden internen Zwischenwert erzeugt und
- wobei die Meßgerät-Elektronik den Viskositäts-Meßwert unter Verwendung des internen Zwischenwerts ermittelt.

Es hat sich hierbei jedoch gezeigt, daß der anhand des Erregerstroms ermittelte Viskositäts-Meßwert trotz, insb. auch unter Laborbedingungen, praktisch konstantgehaltener Viskosität und Dichte erhebliche Ungenauigkeiten aufweisen kann, die bis zu einem Hundertfachen der tatsächlichen Viskosität des Fluids betragen können.

In der US-A 45 24 610 wird bereits eine mögliche Ursache dieses Problems angedeutet, nämlich der Umstand, daß vom Fluid in das Meßrohr eingetragene Gasblasen sich an der Meßrohrwand anlagern können. Zur Umgehung des Problems wird ferner vorgeschlagen, den Meßaufnehmer so einzubauen, daß das gerade Meßrohr im wesentlichen senkrecht verläuft und somit ein Anlagern von Gasblasen verhindert wird. Hierbei handelt es sich jedoch um eine sehr spezielle und, insb. in der industriellen Prozeßmeßtechnik, nur sehr bedingt realisierbare Lösung. Zum einen müßte nämlich für diesen Fall die Rohrleitung, in die der Meßaufnehmer eingefügt werden soll, ggf. an diesen angepaßt werden und nicht umgekehrt, was dem Anwender wohl eher nicht zu vermitteln ist. Zum anderen kann es sich bei den Meßrohren, wie bereits erwähnt, auch um solche mit einer gekrümmten Rohrform handeln, so daß das Problem auch durch eine Anpassung der Einbaulage nicht gelöst werden kann. Es hat sich hierbei außerdem gezeigt, daß die vorgenannten Verfälschungen des Viskositäts-Meßwerts auch bei Verwendung eines senkrecht eingebauten, geraden Meßrohrs nicht wesentlich verringert werden können. Außerdem lassen sich die im weiteren festgestellten Schwankungen des Viskositäts-Meßwerts bei strömendem Fluid auf diese Weise ebenfalls nicht verhindern.

Ein Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Viskositäts-Meßgerät für Fluide anzugeben, das, insb. auch bei strömendem Fluid, einerseits von der Einbaulage des Meßrohrs und andererseits von den Schwingungen des Meßrohrs, insb. von deren Schwingungsamplitude, im wesentlichen unabhängig einen hoch genauen und möglichst robusten Viskositäts-Meßwert liefert.

Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung nach einer ersten Variante in einem Viskositäts-Meßgerät für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welches Viskositäts-Meßgerät umfaßt:

- einen Meßaufnehmer vom Vibrationstyp

- mit wenigstens einem mit der Rohrleitung kommunizierenden, im Betrieb vibrierenden Meßrohr zum Führen des Fluids und zum Erzeugen von im Fluid wirkenden Reibungskräften und
- mit einer Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs sowie
 - eine Meßgerät-Elektronik, die
 - einen die Erregeranordnung speisenden Erregerstrom und
 - einen eine Viskosität des Fluids momentan repräsentierenden Viskositäts-Meßwert liefert,
 - wobei die Meßgerät-Elektronik
 - einen mit dem Erregerstrom korrespondierenden und die im Fluid wirkenden Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwert und
 - einen Inhomogenitäten im Fluid repräsentierenden zweiten internen Zwischenwert erzeugt und
 - wobei die Meßgerät-Elektronik den Viskositäts-Meßwert unter Verwendung des ersten und des zweiten internen Zwischenwerts ermittelt.

Des weiteren besteht die Erfindung nach einer zweiten Variante in einem Viskositäts-Meßgerät für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welches Viskositäts-Meßgerät umfaßt:

- einen Meßaufnehmer, insb. vom Biegeschwingungstyp,
- mit wenigstens einem mit der Rohrleitung kommunizierenden, im Betrieb vibrierenden Meßrohr zum Führen des Fluids und zum Erzeugen von im Fluid wirkenden Reibungskräften,
- mit einer Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs sowie
- mit einer Sensoranordnung zum Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs und zum Erzeugen wenigstens eines diese repräsentierenden ersten Sensorsignals und
- eine Meßgerät-Elektronik, die
- einen die Erregeranordnung speisenden Erregerstrom und
- einen eine Viskosität des Fluids momentan repräsentierenden Viskositäts-Meßwert liefert,
- wobei die Meßgerät-Elektronik
- vom wenigstens ersten Sensorsignal ein dem Einstellen des Erregerstroms dienendes Amplitudenstellsignal ableitet und

-- anhand des wenigstens ersten Sensorsignals und anhand des Amplitudenstellsignals den Viskositäts-Meßwert ermittelt.

Außerdem besteht die Erfindung in einem Verfahren zum Ermitteln einer Viskosität eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- Einspeisen eines Erregerstroms in eine mit einem das Fluid führenden Meßrohr mechanisch gekoppelten Erregeranordnung zum Bewirken von mechanischen Schwingungen, insb. Biegeschwingungen, des Meßrohrs,
- Vibrierenlassen des Meßrohrs zum Erzeugen von inneren Reibungskräften im Fluid,
- Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs zum Erzeugen eines im Fluid wirkende Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwerts,
- Erzeugen eines Samplings erster interner Zwischenwerte,
- Ermitteln eines Inhomogenitäten im Fluid repräsentierenden zweiten internen Zwischenwerts unter Verwendung des Samplings sowie
- Erzeugen eines die Viskosität repräsentierenden Viskositäts-Meßwerts anhand der beiden internen Zwischenwerte.

Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik den zweiten internen Zwischenwert anhand des Erregerstroms.

Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung schwingt das vibrierende Meßrohr zum Erzeugen von im Fluid wirkenden Reibungskräften zumindest anteilig in einem Biegeschwingungsmodus.

Nach einer bevorzugten dritten Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwerts anhand des wenigstens ersten Sensorsignals einen Geschwindigkeits-Meßwert, der die Reibungskräfte im Fluid verursachende Bewegungen repräsentiert.

Nach einer bevorzugten vierten Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik den mit dem Erregerstrom

korrespondierenden und die im Fluid wirkenden Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwert anhand des Amplitudenstellsignals.

Nach einer bevorzugten fünften Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung normiert die Meßgerät-Elektronik zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwerts den ersten internen Zwischenwert auf den Geschwindigkeits-Meßwert.

Nach einer bevorzugten sechsten Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung umfaßt die Meßgerät-Elektronik einen flüchtigen Datenspeicher, in dem ein Sampling erster interner Zwischenwerte vorgehalten ist und erzeugt die Meßgerät-Elektronik den zweiten internen Zwischenwert mittels des Samplings.

Nach einer bevorzugten siebenten Ausgestaltung des Viskositäts-Meßgeräts der Erfindung dient zum Erzeugen des zweiten internen Zwischenwerts eine mittels des Samplings geschätzte Standardabweichung des ersten internen Zwischenwerts.

Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird wenigstens ein die Vibrationen des Meßrohrs repräsentierendes Sensorsignal erzeugt und wird der Erregerstrom unter Verwendung des wenigstens einen Sensorsignals eingestellt.

Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung wird ein Geschwindigkeits-Meßwert unter Verwendung des Sensorsignals ermittelt, der eine Geschwindigkeit einer die im Fluid wirkende Reibungskräfte verursachenden Bewegung repräsentiert und wird der erste interne Zwischenwert auf den Geschwindigkeits-Meßwert normiert.

Die Erfindung beruht insb. auf der Erkenntnis, daß die in den Meßaufnehmer zur Aufrechterhaltung der Vibrationen des Meßrohrs eingespeiste Erregerleistung und somit auch der davon abgeleitete Viskositäts-Meßwert in einem überproportional hohen Maße von Inhomogenitäten im Fluid, wie z.B. eingepertlen Gasblasen oder mitgeführten Feststoffpartikeln etc., beeinflußt werden kann. Ferner liegt der Erfindung auch auf die Erkenntnis zugrunde, daß die Erregerleistung auf sehr einfache Weise auch anhand von intern in der Meßgerät-Elektronik erzeugten Einstellsignalen oder Einstellwerten sehr präzise

erfaßt werden kann und daß sowohl die Einstellsignale für die Erregerleistung als auch die tatsächlich eingespeiste die Erregerleistung, insb. auch bei Meßrohrschwingungen mit einer konstant geregelten Schwingungsamplitude, für sich allein genommen zu ungenau für eine robuste Viskositätsmessung ist.

Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, abgeleitet von der Erregerleistung, insb. auch von der Art des Fluids unabhängig, einen internen Meßwert zu ermitteln, der die für die Viskositäts-Messung relevanten Inhomogenitäten im Fluid repräsentiert und der ein Maß für deren Einfluß auf den Viskositäts-Meßwert ist.

Ein weiterer Grundgedanke der Erfindung besteht ferner darin, den Viskositäts-Meßwert anhand von in der Meßgerät-Elektronik intern erzeugten Einstellsignalen oder Einstellwerten für die Erregerleistung und anhand der Vibrationen des Meßrohrs zu ermitteln, die von der tatsächlich eingespeisten Erregerleistung aufrechterhalten werden. Diese praktisch indirekte Erfassung der Erregerleistung hat den Vorteil, daß auf eine zusätzliche Messung der eingespeisten Erregerleistung zum Zwecke der Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts verzichtet werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht daher auch darin, daß sie z.B. auch in marktüblichen Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräte und praktisch auch unabhängig von der konkreten Form und Anzahl der im jeweiligen Meßaufnehmer verwendeten Meßrohre, also auch ohne grundsätzliche Änderung des mechanischen Aufbaus des Meßaufnehmers, implementiert werden kann.

Die Erfindung und weitere Vorteile werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind; gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Falls es der Übersichtlichkeit dienlich ist, wird auf die Angabe bereits vergebener Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet.

Fig. 1 zeigt ein der Erzeugung eines Viskositäts-Meßwerts dienendes Viskositäts-Meßgerät perspektivisch in einer Seitenansicht,

Fig. 2 zeigt schematisch nach der Art eines Blockschaltbildes eine bevorzugte Ausgestaltung einer für das Viskositäts-Meßgerät von Fig. 1 geeigneten Meßgerät-Elektronik,

Fig. 3 zeigt teilweise geschnitten ein Ausführungsbeispiel eines für das Viskositäts-Meßgerät von Fig. 1 geeigneten Meßaufnehmers vom Vibrations-Typ perspektivisch in einer ersten Seitenansicht,

Fig. 4 zeigt den Meßaufnehmer von Fig. 3 perspektivisch in einer zweiten Seitenansicht,

Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer elektro-mechanischen Erregeranordnung für den Meßaufnehmer von Fig. 3 und

Fig. 6 symbolisiert anhand eines Diagramms für die Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts in der Meßgerät-Elektronik implementierte Verfahrensschritte.

In der Fig. 1 ist ein Viskositäts-Meßgerät mit einem, bevorzugt in einem Wandlergehäuse 100 untergebrachten, Meßaufnehmer 10 vom Vibrationstyp sowie einer in einem Elektronikgehäuse 200 untergebrachten und, wie in Fig. 2 gezeigt, mit dem Meßaufnehmer 10 elektrisch verbundenen Meßgerät-Elektronik 50 schematisch dargestellt. Das Viskositäts-Meßgerät dient insb. dazu, eine Viskosität, η , eines in einer, hier nicht gezeigten, Rohrleitung strömenden Fluids zu erfassen und in einen diese Viskosität, η , momentan repräsentierenden Viskositäts-Meßwert X_{η} abzubilden. Zu diesem Zweck werden im Betrieb mittels des von der Meßgerät-Elektronik 50 angetriebenen Meßaufnehmers 10 im hindurchströmenden Fluid solche Reibungskräfte erzeugt, die von der Viskosität, η , abhängig sind und die meßbar, also sensorisch erfaßbar und elektronisch auswertbar, auf den Meßaufnehmer 10 zurückwirken.

Für den bevorzugten Fall, daß das Vibrations-Meßgerät für eine Ankopplung an einen Feldbus vorgesehen ist, weist die, insb. programmierbare, Meßgerät-Elektronik 50 eine entsprechende Kommunikations-Schnittstelle für eine Datenkommunikation auf, z.B. zum Senden der Meßdaten an eine übergeordnete speicherprogrammierbare Steuerung oder ein übergeordnetes Prozeßleitsystem, auf.

In den Fig. 3 und 4 ist ein Ausführungsbeispiel einer als ein Meßaufnehmer 10 dienenden physikalisch-elektrischen Wandleranordnung vom Vibrations-Typ gezeigt. Der Aufbau einer derartigen Wandleranordnung ist z.B. in der US-A 60 06 609 ausführlich beschrieben. Ferner werden derartige Meßaufnehmer bereits in marktüblichen Coriolis-Massedurchfluß/ Dichtemeßgeräten verwendet, wie sie z.B. auch von der Anmelderin selbst mit der Serie "PROMASS I" angeboten werden.

Zum Führen des zu messenden Fluids umfaßt der Meßaufnehmer 10 wenigstens ein ein Einlaßende 11 und ein Auslaßende 12 aufweisendes Meßrohr 13 von vorgebbarem, elastisch verformbaren Meßrohrlumen 13A und von vorgebbarer Nennweite. Elastisches Verformen des Meßrohrlumens 13A bedeutet hier, daß zum Erzeugen von fluidinternen und somit das Fluid beschreibenden Reaktionskräften, nämlich von Scher- oder auch Reibungskräften, aber auch von Corioliskräften und/oder Masseträgheitskräften, im Betrieb des Meßaufnehmers 10 eine Raumform und/oder eine Raumlage des Meßrohrlumens 13A innerhalb eines Elastizitätsbereiches des Meßrohrs 13 in vorgebbbarer Weise zyklisch, insb. periodisch, verändert wird, vgl. z.B. die US-A 48 01 897, die US-A 56 48 616, die US-A 57 96 011 und/oder die US-A 60 06 609.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf verwiesen, daß zur Realisierung der Erfindung anstelle eines Meßaufnehmers gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 und 4 praktisch jeder der dem Fachmann bereits für Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräte bekannten Meßaufnehmer, insb. auch ein solcher vom Biegeschwingungstyp mit ausschließlich oder zumindest anteilig in einem Biegeschwingungsmoden vibrierendem, gebogenem oder geradem Meßrohr, verwendet werden kann. Weitere geeignete Ausführungsformen für solche als Meßaufnehmer 10 dienende Wandleranordnungen sind z.B. in der US-A 53 01 557, der US-A 53 57 811, der US-A 55 57 973, der US-A 56 02 345, der US-A 56 48 616 oder in der US-A 57 96 011 ausführlich beschrieben, deren Offenbarung als zur Offenbarung dieser Anmeldung zugehörig erachtet wird.

Als Material für das, hier im wesentlichen gerade, Meßrohr 13 sind z.B. Titanlegierungen besonders geeignet. Anstelle von Titanlegierungen können aber

auch andere für derartige, insb. auch für gebogene, Meßrohre üblicherweise verwendete Materialien wie z.B. rostfreier Stahl oder Zirkonium etc. verwendet werden.

Das Meßrohr 13, welches in der üblichen Weise einlaßseitig und auslaßseitig mit der das Fluid zu- bzw. abführende Rohrleitung kommuniziert, ist in einen starren, insb. biege- und verwindungssteifen, und bevorzugt von einem Wandlergehäuse 100 umhüllten Tragrahmen 14 schwingfähig eingespannt.

Der Tragrahmen 14 ist am Meßrohr 13 einlaßseitig mittels einer Einlaßplatte 213 und außelaßseitig mittels einer Auslaßplatte 223 fixiert, wobei letztere beiden jeweils von entsprechenden Verlängerungsstücken des Meßrohrs 13 durchstoßen sind. Des weiteren weist der Tragrahmen 14 eine erste Seitenplatte 24 und eine zweite Seitenplatte 34 auf, welche beiden Seitenplatten 24, 34 derart an der Einlaßplatte 213 und an der Auslaßplatte 223 fixiert sind, daß sie im wesentlichen parallel zum Meßrohr 13 sowie von diesem und voneinander beabstandet angeordnet sind, vgl. Fig. 3. Somit sind einander zugewandte Seitenflächen der beiden Seitenplatten 24, 34 ebenfalls parallel zueinander.

In vorteilhafter Weise ist ein Längsstab 25 an den Seitenplatten 24, 34 vom Meßrohr 13 beabstandet fixiert, der als Schwingungen des Meßrohrs 13 tilgende Auswuchtmasse dient. Der Längsstab 25 erstreckt sich, wie in Fig. 4 dargestellt, praktisch parallel zur gesamten schwingfähigen Länge des Meßrohrs 13; dies ist jedoch nicht zwingend, der Längsstab 25 kann selbstverständlich, falls erforderlich, auch kürzer ausgeführt sein.

Der Tragrahmen 14 mit den beiden Seitenplatten 24, 34, der Einlaßplatte 213, der Auslaßplatte 223 und ggf. dem Längsstab 25 hat somit eine Längsschwerelinie, die im wesentlichen parallel zu einer das Einlaßende 11 und das Auslaßende 12 virtuell verbindenden Meßrohrmittelachse 13B verläuft.

In den Fig. 3 und 4 ist durch die Köpfe der gezeichneten Schrauben angedeutet, dass das erwähnte Fixieren der Seitenplatten 24, 34 an der Einlaßplatte 213, an der Auslaßplatte 223 und am Längsstab 25 durch Verschrauben erfolgen kann; es können aber auch andere geeignete und dem Fachmann geläufige Befestigungsarten angewendet werden.

Für den Fall, daß der Meßaufnehmer 10 lösbar mit der Rohrleitung zu montieren ist, ist dem Meßrohr 13 bevorzugt einlaßseitig ein erster Flansch 19 und auslaßseitig ein zweiter Flansch 20 angeformt, vgl. Fig. 1; anstelle der Flansche 19, 20 können aber z.B. auch sogenannte, wie in Fig. 3 angedeutet, Triclamp-Anschlüsse zur lösbaren Verbindung mit der Rohrleitung dienen. Falls erforderlich kann das Meßrohr 13 aber auch direkt mit der Rohrleitung, z.B. mittels Schweißen oder Hartlötung etc.

Zum Erzeugen oben genannter Reibungskräfte wird das Meßrohr 13 im Betrieb des Meßaufnehmers 10, angetrieben von einer mit dem Meßrohr gekoppelten elektro-mechanischen Erregeranordnung 16, bei einer vorgebbaren Schwingfrequenz, insb. einer auch von einer Dichte, ρ , des Fluids abhängigen natürlichen Resonanzfrequenz, im sogenannten Nutzmode vibrieren gelassen und somit in vorgebbarer Weise elastisch verformt.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird das vibrierende Meßrohr 13, wie bei solchen Wandleranordnungen vom Biegeschwings-Typ üblich, aus einer statischen Ruhelage räumlich, insb. lateral, ausgelenkt; gleiches gilt praktisch auch für solche Wandleranordnungen, bei denen ein oder mehrere gebogene Meßrohre im Betrieb bekanntlich Auslegerschwingungen um eine entsprechende, das jeweilige Einlaß- und Auslaßende virtuell verbindende Längsachse oder auch für solche, bei denen ein oder mehrere gerade Meßrohre lediglich ebene Biegeschwingungen um ihre Meßrohr-Längsachse ausführen. Für den anderen Fall, daß als Meßaufnehmer 10, wie z.B. in der WO-A 95/16 897 beschrieben, eine Wandleranordnung vom Radialschwingungs-Typ dient und das vibrierende Meßrohr in der dafür üblichen Weise symmetrisch verformt wird, würde letzteres im wesentlichen in seiner statischen Ruhelage belassen.

Die Erregeranordnung 16 dient dazu, unter Umsetzung einer von der Meßgerät-Elektronik 50 eingespeisten, elektrischen Erregerleistung P_{exc} eine auf das Meßrohr 13 einwirkende Erregerkraft F_{exc} zu erzeugen. Die Erregerleistung P_{exc} dient praktisch lediglich zur Kompensation des über mechanische und fluidinterne Reibung dem Schwingungssystem entzogenen Leistungsanteils. Zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades ist die Erregerleistung P_{exc} bevorzugt möglichst genau so eingestellt, daß im wesentlichen die Schwingungen des

Meßrohrs 13 im Nutzmode, z.B. die mit einer niedrigsten Resonanzfrequenz, aufrecht erhalten werden.

Zum Zwecke des Übertragens der Erregerkraft F_{exc} auf das Meßrohr 13 weist die Erregeranordnung 16, wie in Fig. 5 dargestellt, eine starre, elektromagnetisch und/oder elektrodynamisch angetriebene Hebelanordnung 15 mit einem am Meßrohr 13 biegefest fixierten Ausleger 154 und mit einem Joch 163 auf. Das Joch 163 ist an einem vom Meßrohr 13 beabstandeten Ende des Auslegers 154 ebenfalls biegefest fixiert, und zwar so, daß es oberhalb des Meßrohrs 13 und quer zu ihm angeordnet ist. Als Ausleger 154 kann z.B. eine metallische Scheibe dienen, die das Meßrohr 13 in einer Bohrung aufnimmt. Für weitere geeignete Ausführungen der Hebelanordnung 15 sei an dieser Stelle auf die bereits erwähnte US-A 60 06 609 verwiesen. Die, hier T-förmige, Hebelanordnung 15 ist bevorzugt, wie in Fig. 3 ohne weiteres erkennbar ist, so angeordnet, daß sie etwa in der Mitte zwischen Einlaß- und Auslaßende 11, 12 auf das Meßrohr 13 einwirkt, wodurch dieses im Betrieb mittig seine größte laterale Auslenkung ausführt.

Zum Antreiben der Hebelanordnung 15 umfaßt die Erregeranordnung 16 gemäß Fig. 5 eine erste Erregerspule 26 und einen zugehörigen ersten dauermagnetischen Anker 27 sowie eine zweite Erregerspule 36 und einen zugehörigen zweiten dauermagnetischen Anker 37. Die beiden, elektrisch bevorzugt in Reihe geschalteten, Erregerspulen 26, 36 sind beiderseits des Meßrohrs 13 unterhalb des Jochs 163 am Tragrahmen 14, insb. lösbar, so fixiert, daß sie mit ihrem jeweils zugehörigen Anker 27 bzw. 37 im Betrieb in Wechselwirkung stehen; im übrigen können die beiden Erregerspulen 26, 36, falls erforderlich, selbstverständlich auch zueinander parallel geschaltet sein.

Wie in Fig. 3 und 5 dargestellt, sind die beiden Anker 27, 37 derart voneinander beabstandet am Joch 163 fixiert, daß im Betrieb des Meßaufnehmers 10 der Anker 27 im wesentlichen von einem Magnetfeld der Erregerspule 26 und der Anker 37 im wesentlichen von einem Magnetfeld der Erregerspule 36 durchsetzt und aufgrund entsprechender elektrodynamischer und/oder elektromagnetischer Kraftwirkungen bewegt wird.

Die mittels der Magnetfelder der Erregerspulen 26, 36 erzeugten Bewegungen der Anker 27, 37 werden via Joch 163 und Ausleger 154 auf das Meßrohr 13

übertragen. Diese Bewegungen der Anker 27, 37 sind so ausgebildet, daß das Joch 163 alternierend in Richtung der Seitenplatte 24 oder in Richtung der Seitenplatte 34 aus seiner Ruhelage ausgelenkt wird. Eine entsprechende, zur bereits erwähnten Meßrohrmittelachse 13B parallele Drehachse der Hebelanordnung 15 kann z.B. durch den Ausleger 154 verlaufen.

Insbesondere zum Haltern der Erregerspulen 26, 36 und ggf. einzelner Komponenten einer weiter unten genannten Magnetbremsanordnung 217 umfaßt der Tragrahmen 14 ferner bevorzugt eine mit den Seitenplatten 24, 34, insb. lösbar, verbundene Halterung 29 für die elektromechanische Erregeranordnung 16.

Beim Meßaufnehmer 10 des Ausführungsbeispiels bewirken die lateralen Auslenkungen des am Einlaßende 11 und am Auslaßende 12 fest eingespannten, vibrierenden Meßrohrs 13 gleichzeitig eine elastische Verformung seines Meßrohrlumens 13A, die praktisch über die gesamte Länge des Meßrohrs 13 ausgebildet ist.

Ferner wird beim Meßwertaufnehmer des Ausführungsbeispiels im Meßrohr 13 aufgrund eines via Hebelanordnung 15 auf dieses wirkenden Drehmoments gleichzeitig zu den lateralen Auslenkungen zumindest abschnittsweise eine torsionale Verdrehung um die Meßrohrmittelachse 13B erzwungen, so daß dieses praktisch in einem als Nutzmode dienenden gemischten Biegeschwingungs-Torsionsmode schwingt. Die Verdrehung des Meßrohrs 13 kann dabei so ausgebildet sein, daß eine laterale Auslenkung des vom Meßrohr 13 beabstandeten Ende des Auslegers 154 entweder gleich oder entgegen gerichtet zur lateralen Auslenkung des Meßrohrs 13 ist. Anders gesagt, das Meßrohr 13 kann Torsionsschwingungen in einem dem ersteren Fall entsprechenden ersten Biegeschwingungs-Torsionsmode oder in einem dem letzteren Fall entsprechenden zweiten Biegeschwingungs-Torsionsmode ausführen, wobei beim Meßaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel die natürliche Resonanzfrequenz des zweiten Biegeschwingungs-Torsionsmodes von z.B. 900 Hz annähernd doppelt so hoch ist wie die des ersten Biegeschwingungs-Torsionsmodes.

Für den bevorzugten Fall, daß das Meßrohr 13 betriebsmäßig Schwingungen lediglich im zweiten Biegeschwings-Torsionsmode ausführen soll, ist in vorteilhafter Weise eine auf dem Wirbelstromprinzip beruhende Magnetbremsanordnung 217 in die Erregeranordnung 16 integriert, die dazu dient, die Lage dieser Drehachse zu stabilisieren. Mittels der Magnetbremsanordnung 217 kann somit sichergestellt werden, daß das Meßrohr 13 stets im zweiten Biegeschwings-Torsionsmode schwingt und somit allfällige äußere Störeinflüsse auf das Meßrohr 13 nicht zu einem spontanen Wechsel in einen anderen, insb. auch nicht in den ersten, Biegeschwings-Torsionsmode führen. Einzelheiten einer solchen Magnetbremsanordnung sind z.B. in der US-A 60 06 609 ausführlich beschrieben; ferner ist die Verwendung von derartigen Magnetbremsanordnungen bereits von Meßaufnehmern der erwähnten Serie "PROMASS I" bekannt.

Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß bei dem auf diese Weise gemäß dem zweiten Biegeschwings-Torsionsmode ausgelenkten Meßrohr 13 die gedachte Meßrohrmittelachse 13B praktisch leicht deformiert wird und somit bei den Schwingungen keine Ebene sondern eine schwach gewölbte Fläche aufspannt. Ferner weist eine in dieser Fläche liegende, durch den Mittelpunkt der Meßrohrmittelachse beschriebene Bahnkurve die kleinste Krümmung aller durch die Meßrohrmittelachse beschriebenen Bahnkurven auf.

Zum Detektieren der Verformungen des Meßrohrs 13 umfaßt der Meßaufnehmer 10 ferner eine Sensoranordnung 60, die mittels wenigstens eines auf Vibrationen des Meßrohrs 13 reagierenden ersten Sensors 17 ein diese repräsentierendes erstes, insb. analoges, Sensorsignal s_1 erzeugt. Der Sensor 17 kann z.B., wie bei derartigen Meßaufnehmern üblich, mittels eines am Meßrohr 13 fixierten und mit einer vom Tragrahmen 14 gehaltenen Sensorspule in Wechselwirkung stehenden dauermagnetischen Ankers gebildet sein.

Als Sensor 17 sind besonders solche geeignet, die basierend auf dem elektrodynamischen Prinzip, eine Geschwindigkeit der Auslenkungen des Meßrohrs erfassen. Es können aber z.B. auch beschleunigungsmessende elektrodynamische oder aber auch wegmessende resistive oder optische Sensoren verwendet werden. Selbstverständlich können aber auch andere dem

Fachmann bekannte und für die Detektion solcher Vibrationen geeignete Sensoren verwendet werden.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Sensoranordnung 60 ferner einen, insb. zum ersten Sensor 17 identischen, zweiten Sensor 18, mittels dem sie ein ebenfalls Vibrationen des Meßrohrs repräsentierendes zweites Sensorsignal s_1 liefert. Die beiden Sensoren 17, 18 sind bei dieser Ausgestaltung entlang des Meßrohrs 13 voneinander beabstandet, insb. auch in einem gleichen Abstand von der Mitte des Meßrohrs 13, so im Meßaufnehmer 10 angeordnet, daß mittels der Sensoranordnung 60 sowohl einlaßseitige als auch auslaßseitige Vibrationen des Meßrohrs 13 örtlich erfaßt und in die entsprechenden Sensorsignale s_1 bzw. s_2 abgebildet werden.

Das erste und ggf. das zweite Sensorsignal s_1 bzw. s_2 , die üblicherweise jeweils eine der momentanen Schwingfrequenz des Meßrohrs 13 entsprechende Signalfrequenz aufweisen, sind, wie in Fig. 2 gezeigt, der Meßgerät-Elektronik 50 zugeführt.

Zum Vibrierenlassen des Meßrohrs 13 wird die Erregeranordnung 16 mittels eines von der Meßgerät-Elektronik 50 gelieferten, gleichfalls oszillierenden, uni-polaren oder bi-polaren, Erregerstroms i_{exc} von einstellbarer Amplitude und von einstellbarer Erregerfrequenz f_{exc} derart gespeist, daß die Erregerspulen 26, 36 im Betrieb von diesem durchflossen sind und in entsprechender Weise die zum Bewegen der Anker 27, 37 erforderlichen Magnetfelder erzeugt werden. Somit kann die für das Vibrierenlassen des Meßrohrs 13 erforderliche Erregerkraft F_{exc} in der dem Fachmann bekannten Weise, z.B. mittels einer Strom-und/oder Spannungs-Regelschaltung, hinsichtlich ihrer Amplitude und z.B. mittels einer Phasen-Regelschleife hinsichtlich ihrer Frequenz, überwacht und eingestellt werden. Der von der Meßgerät-Elektronik 50 gelieferte Erregerstrom i_{exc} ist bevorzugt sinusförmig ausgebildet; er kann aber z.B. auch ein pulsierender, ein dreieckförmiger oder ein rechteckförmiger Wechselstrom sein.

Die Erregerfrequenz f_{exc} des Erregerstroms i_{exc} entspricht, wie bei Vibrations-Meßgeräten der beschriebenen Art üblich, der vorgegebenen Schwingfrequenz des Meßrohrs 13 und ist daher bevorzugt auf eine momentane natürliche Resonanzfrequenz des fluidführenden Meßrohrs 13 eingestellt. Wie bereits

angedeutet, wird für den Meßaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel vorgeschlagen, den Erregerstrom i_{exc} durch die beiden Erregerspulen 26, 36 so fließen zu lassen und dessen Erregerfrequenz f_{exc} so zu wählen, daß das lateral schwingende Meßrohr 13 möglichst ausschließlich gemäß dem zweiten Biegeschwings-Torsionsmode torsional verdreht wird.

Zum Erzeugen und Einstellen des Erregerstroms i_{exc} umfaßt die Meßgerät-Elektronik 50 eine entsprechende Treiberschaltung 53, die von einem die einzustellende Erregerfrequenz f_{exc} repräsentierenden Frequenzstellsignal y_{FM} und von einem die einzustellende Amplitude des Erregerstroms i_{exc} repräsentierenden Amplitudenstellsignal y_{AM} gesteuert ist. Die Treiberschaltung kann z.B. mittels eines spannungsgesteuerten Oszillators und eines nachgeschalteten Spannungs-zu-Stromwandler realisiert sein; anstelle eines analogen Oszillators kann aber z.B. auch ein numerisch gesteuerter digitaler Oszillator zum Einstellen des Erregerstroms i_{exc} verwendet werden.

Zum Erzeugen des Amplitudenstellsignals y_{AM} kann z.B. eine in die Meßgerät-Elektronik 50 integrierte Amplitudenregelschaltung 51 dienen, die anhand der momentanen Amplitude wenigstens eines der beiden Sensorsignale s_1 , s_2 sowie anhand eines entsprechenden konstanten oder variablen Amplitudenreferenzwerts W_1 das Amplitudenstellsignal y_{AM} aktualisiert; ggf. kann auch eine momentane Amplitude des Erregerstroms i_{exc} zur Generierung des Amplitudenstellsignals y_{AM} hinzugezogen werden. Derartige Amplitudenregelschaltungen sind dem Fachmann ebenfalls bekannt. Als ein Beispiel für eine solche Amplitudenregelschaltung sei nochmals auf Coriolis-Massedurchflußmesser der Serie "PROMASS I" verwiesen. Deren Amplitudenregelschaltung ist bevorzugt so ausgeführt, daß die lateralen Schwingungen des Meßrohrs 13 auf eine konstante, also auch von der Dichte, ρ , unabhängige, Amplitude geregelt werden.

Des weiteren kann das Frequenzstellsignal y_{FM} von einer entsprechenden Frequenzregelschaltung 52 geliefert werden, die dieses z.B. anhand wenigstens des Sensorsignals s_1 sowie anhand einer als ein entsprechender Frequenzreferenzwert W_2 dienenden, frequenz-repräsentativen Gleichspannung aktualisiert.

Bevorzugt ist die Frequenzregelschaltung 52 und die Treiberschaltung 53 zu einer Phasen-Regelschleife zusammengeschaltet, die in der dem Fachmann bekannten Weise dazu verwendet wird, anhand einer Phasendifferenz, gemessen zwischen wenigstens einem der Sensorsignale s_1 , s_2 und dem einzustellenden bzw. dem gemessenen Erregerstrom i_{exc} , das Frequenzstellsignal y_{FM} ständig auf eine momentane Resonanzfrequenz des Meßrohrs 13 abzugleichen. Der Aufbau und die Verwendung solcher Phasenregel-Schleifen zum Betreiben von Meßrohren auf einer ihrer mechanischen Resonanzfrequenzen ist z.B. in der US-A 48 01 897 ausführlich beschrieben. Selbstverständlich können auch andere, dem Fachmann bekannte Frequenzregelschaltungen verwendet werden, wie z.B. auch in der US-A 45 24 610 oder der US-A 48 01 897 beschrieben sind. Ferner sei hinsichtlich einer Verwendung solcher Frequenzregelschaltungen für Meßaufnehmer der beschriebenen Art auf die bereits erwähnte Serie "PROMASS I" verwiesen.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Amplitudenregelschaltung 51 und die Frequenzregelschaltung 52 mittels eines in der Meßgerät-Elektronik 50 vorgesehenen digitalen Signalprozessors DSP und mittels in diesen entsprechend implementierter und darin ablaufender Programm-Codes realisiert. Die Programm-Codes können z.B. in einem nicht-flüchtigen Speicher EEPROM eines den Signalprozessor steuernden und/oder überwachenden Mikrocomputers 55 persistent oder aber auch permanent gespeichert sein und beim Starten des Signalprozessors DSP in einen, z.B. im Signalprozessors DSP integrierten, flüchtigen Datenspeicher RAM der Meßgerät-Elektronik 50 geladen werden. Für derartige Anwendungen geeignete Signalprozessoren sind z.B. solche vom Typ TMS320VC33, wie sie von der Firma Texas Instruments Inc. am Markt angeboten werden.

Es versteht sich praktisch von selbst, daß zumindest das Sensorsignal s_1 und ggf. auch das Sensorsignal s_2 für eine Verarbeitung im Signalprozessor DSP mittels entsprechender Analog-zu-digital-Wandler A/D in entsprechende Digitalsignale umzuwandeln sind, vgl. hierzu insb. die EP-A 866 319. Falls erforderlich, sind vom Signalprozessor ausgegebene Stellsignale, wie z.B. das Amplitudenstellsignal y_{AM} oder das Frequenzstellsignal y_{FM} , ggf. in entsprechender Weise digital-zu-analog zu wandeln.

Da wie bereits mehrfach angedeutet, mittels derartiger Wandleranordnungen vom Vibrationstyp neben fluidinternen Reibungskräften z.B. auch massedurchflußabhängige Corioliskräfte und fluiddichteabhängige Massenträgheitskräfte induziert werden, dient das Viskositäts-Meßgerät nach einer bevorzugten Weiterbildung ferner auch dazu, neben der Viskosität, η , eine Dichte, ρ , sowie einen Massedurchfluß, $\dot{m}$, des Fluids, insb. simultan, zu ermitteln und in entsprechender Weise in einen die Dichte repräsentierenden Dichte-Meßwert X_ρ und in einen den Massendurchfluß repräsentierenden Massedurchfluß-Meßwert $X_{\dot{m}}$ abzubilden. Hierbei können die in herkömmlichen Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräten, insb. auch in solchen der bereits erwähnten Serie "PROMASS I", zum Messen des Massendurchflusses und/oder der Dichte eingesetzten und dem Fachmann an und für sich bekannten Verfahren verwendet werden, vgl. hierzu auch die US-A 41 87 721, die US-A 48 76 879, die US-A 56 48 616, die US-A 56 87 100, die US-A 57 96 011 oder die US-A 60 73 495.

Zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwerts X_η wird mittels der Meßgerät-Elektronik 50 von der in die Erregeranordnung 16 eingespeisten, insb. der Kompensation der in der oben beschriebenen Weise im Fluid erzeugten inneren Reibung dienenden, Erregerleistung P_{exc} zunächst ein erster, insb. digitaler, Zwischenwert X_1 abgeleitet, der die schwingungsdämpfenden Reibungskräfte im Fluid repräsentiert; neben oder anstelle der tatsächlich eingespeisten Erregerleistung P_{exc} kann ferner auch eine mittels der Meßgerät-Elektronik 50 vorgegebene, z.B. durch das an die Treiberschaltung Amplitudenstellsignal y_{AM} und/oder das Frequenzstellsignal y_{FM} repräsentierte, Erregerleistung zur Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts X_η , insb. aber auch zur Ermittlung des Zwischenwerts X_1 , dienen.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Zwischenwert X_1 anhand des seitens der Meßgerät-Elektronik 50 vorgegebenen und/oder anhand des tatsächlich eingespeisten, gemessenen Erregerstroms i_{exc} , insb. anhand von dessen Amplitude oder anhand eines gleitenden Erregerstrom-Mittelwerts, ermittelt. Der Erregerstrom i_{exc} dient dabei praktisch als ein Maß für die Gesamtheit der den Auslenkungenbewegungen des vibrierenden Meßrohrs 13 entgegenwirkenden Dämpfungskräfte. Bei der Verwendung des Erregerstroms i_{exc} zur Bestimmung des Zwischenwerts X_1 ist jedoch zu berücksichtigen, daß vorgenannte Dämpfungskräfte einerseits zwar auch von den

viskositätsabhängigen Reibungen innerhalb des Fluids, andererseits aber z.B. auch von mechanischen Reibungen in der Erregeranordnung 16 und im vibrierenden Meßrohr abhängig sind.

Zur Separierung der Information über die Viskosität aus dem Erregerstrom i_{exc} wird dieser daher für die Ermittlung des Zwischenwerts X_1 intern der Meßgerät-Elektronik 50 um einen von der fluid-internen Reibung praktisch unabhängigen Leerstrom, gemessen bei evakuiertem oder zumindest nicht mit Flüssigkeit befülltem Meßrohr 13, reduziert. Der üblicherweise langzeitstabile Leerstrom kann z.B. während einer Kalibrierung des Viskositäts-Meßgeräts vorab ohne weiteres ermittelt und in entsprechender Weise in der Meßgerät-Elektronik 50, z.B. im nichtflüchtigen Speicher EEPROM, in Form eines digitalen Leerstromwertes abgespeichert werden.

Bevorzugt wird der Zwischenwert X_1 ebenfalls anhand eines oder mehrerer digitalen, z.B. die momentane Amplitude oder einen momentanen Mittelwert des Erregerstroms i_{exc} repräsentierenden, Erregerstrom-Meßwerte und des digitalen Leerstromwertes mittels einer einfachen numerischen Differenzbildung gebildet. Selbstverständlich ist für den Fall, daß der Erregerstrom-Meßwert die Amplitude oder den Mittelwert des Erregerstroms i_{exc} repräsentiert von diesem zum Zwecke der Erzeugung des Zwischenwerts X_1 ebenfalls eine Amplitude bzw. ein entsprechender Mittelwert des Leerstroms abzuziehen. Zur Erzeugung des Erregerstrom-Meßwerts kann z.B. eine einfache Strommessung ausgangs vorgenannter Treiberschaltung 53 dienen. Bevorzugt jedoch wird der Erregerstrom-Meßwert und somit auch der Zwischenwert X_1 , wie auch in der Fig. 2 schematisch dargestellt, indirekt unter Verwendung des von der Amplitudenregelschaltung 51 gelieferten Amplitudenstellsignal y_{AM} ermittelt. Dies hat nämlich auch den Vorteil, daß auf eine zusätzliche Strommessung, insb. auch auf dafür notwendige Meßschaltungen, verzichtet werden kann.

Unter Berücksichtigung des bereits in der US-A 45 24 610 beschriebenen Zusammenhangs:

$$\sqrt{\eta} \sim i_{exc}, \quad (1)$$

nachdem der Erregerstrom i_{exc} , zumindest bei konstanter Dichte, ρ , sehr gut mit der Quadratwurzel der Viskosität, η , korreliert ist, wird in entsprechender Weise für

die Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts X_η zunächst intern der Meßgerät-Elektronik 50 das Quadrat des vom Erregerstrom i_{exc} abgeleiteten Zwischenwerts X_1 gebildet.

Es hat sich nunmehr gezeigt, daß für den Fall, daß der Viskositäts-Meßwert X_η lediglich anhand des Zwischenwerts X_1 ermittelt wird, der Viskositäts-Meßwert X_η trotz praktisch konstant bleibender Viskosität und Dichte für viele industrielle Anwendungen viel zu hohe Ungenauigkeiten aufweisen kann.

Nähere Untersuchungen des Phänomens unter Laborbedingungen, also mit Fluiden bekannter, insb. auch konstant gehaltener, Viskosität und Dichte, ergaben u.a., daß der Zwischenwert X_1 dabei nicht nur sehr empfindlich auf sich anlagernde Gasblasen, sondern vor allem auch überaus empfindlich auf Inhomogenitäten innerhalb des strömenden Fluids reagiert. Solche Inhomogenitäten können z.B. in das Fluid eingeperrlte und mitströmende Luftblasen oder vom Fluid mitgeführte Feststoff-Partikel sein. Schon geringfügige Störungen der Homogenität innerhalb des strömenden Fluids können hierbei zu erheblichen Fehlern im Viskositäts-Meßwert X_η führen, die in einer Größenordnung von bis zu einem Hundertfachen der tatsächlichen Viskosität, η , des Fluids liegen.

Unter Auswertung einer Anzahl von zeitlichen Amplitudenverläufen des Erregerstroms i_{exc} , die während an verschiedenen, in vorbestimmter Weise gestörten Flüssigkeiten durchgeführten Messungen aufgenommen wurden, ergab sich überraschenderweise, daß der Erregerstrom i_{exc} zum einen, trotz im wesentlichen gleichbleibender Bedingungen, also z.B. bei stationär strömender Flüssigkeit mit konstanter Dichte und Viskosität und mit einem weitgehend konstant gehaltenen Anteil an mitgeführten Luftblasen, über die Zeit in erheblichem Maße schwanken kann. Zum anderen aber wurde auch festgestellt, daß der in praktisch nicht vorherbestimmbare Weise schwankende Erregerstrom i_{exc} , insb. dessen Amplitude, und somit auch der Zwischenwert X_1 eine empirische Standardabweichung $s_{i_{exc}}$ bzw. eine empirische Streuung aufweist, die sehr stark mit dem Grad der Inhomogenität korreliert ist.

Abgeleitet davon wird mittels der Meßgerät-Elektronik 50 erfindungsgemäß ein zweiter interner Zwischenwert X_2 gebildet, der, als eine Bewertung des bei der

Bildung des Zwischenwerts X_1 zunächst nicht berücksichtigten Einflusses von Inhomogenitäten im Fluid dienend, bei der Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts X_η zur Wichtung des Zwischenwerts X_1 hinzugezogen wird.

Die Verwendung des Zwischenwerts X_2 basiert dabei auf der Erkenntnis, daß einerseits der Zwischenwert X_1 allein nur bei einem weitgehend homogenen Fluid eine hinreichend genaue Information über dessen Viskosität, η , liefern kann und daß andererseits, wie oben beschrieben, die momentan im Fluid gebildeten Inhomogenitäten anhand des zeitlichen Verlaufs des eingespeisten Erregerstroms i_{exc} sehr genau und weitgehend fluidunabhängig bewertet werden können.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird Zwischenwert X_1 zur Bildung des Viskositäts-Meßwerts X_η mittels einer einfachen numerischen Division auf den Zwischenwert X_2 normiert, d.h. es soll für den Viskositäts-Meßwert X_η gelten:

$$X_\eta = X_p \cdot (X_2) \quad (2)$$

worin

K_1 eine, insb. auch von der Geometrie des Meßrohrs 13 abhängige, Gerätekonstante ist.

Der in den Nenner der mit Gl. (2) beschriebenen Bildungsvorschrift gestellte Dichte-Meßwert X_p trägt hier lediglich der Tatsache Rechnung, daß vom Stromquadrat eigentlich die Information über das Produkt aus Dichte und Viskosität geliefert wird, vgl. hierzu auch die US-A 45 24 610.

Es hat sich ferner überraschenderweise gezeigt, daß bei einer Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts nach Gl. (2) der interne Zwischenwert X_2 nach folgender linearer Beziehung leicht ermittelt werden kann:

$$X_2 = K_2 \cdot s_{iexc} + K_3 \quad (3)$$

worin

K_2, K_3 mittels Kalibriermessung ermittelte Konstanten sind, die, wie ohne weiteres ersichtlich, den Parametern Anstieg bzw. Offset einer einfachen Geradengleichung entsprechen, vgl. Fig. 6.

Zur Bestimmung der beiden Konstanten K_2, K_3 , werden bei der Kalibriermessung für zwei Kalibrier-Fluid bekannter, möglichst konstant gehaltener Viskosität und in unterschiedlicher jedoch jeweils gleichbleibender Weise ausgebildeter Inhomogenität sowohl die momentane Standardabweichung für den jeweiligen Erregerstrom, insb. für dessen Amplituden, geschätzt als auch ein Verhältnis X_{η}/η des jeweils ermittelten Viskositäts-Meßwert zur dann jeweils aktuellen Viskosität gebildet. Beispielsweise kann als erstes Kalibrier-Fluid (Index I) strömendes Wasser mit eingepreßten Luftblasen und als zweites Kalibrier-Fluid (Index II) möglichst homogenes Wasser verwendet werden.

Für den oben beschriebenen Fall, daß die Viskosität im Betrieb gemäß Gl. (2) ermittelt werden soll, können die beiden Konstanten K_2, K_3 wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_{i_{exc},I}^2 - \sigma_{i_{exc},II}^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{i_{exc},I}^2 = \eta_{II} \cdot \sigma_{i_{exc},I}^2$$

Die Berechnung der jeweiligen empirischen Standardabweichung $\sigma_{i_{exc}}$ erfolgt bevorzugt anhand eines Samplings AF mehrerer, z.B. im flüchtigen Datenspeicher RAM digital abgelegter, Zwischenwerte X_1 gemäß der bekannten Funktion:

Falls erforderlich, kann das der Ermittlung der Standardabweichung dienende Sampling AF z.B. auch eine in entsprechender Weise abgespeicherte Abtastfolge eines Amplitudenverlaufs vom Erregerstrom i_{exc} , also ein Abschnitt einer digitalisierten Hüllkurve des Erregerstroms i_{exc} sein.

Untersuchungen haben gezeigt, daß für eine hinreichend genaue Schätzung der Standardabweichung $\sigma_{i_{exc}}$ Samplings von nur relativ geringer Mächtigkeit, m, z.B. von etwa 100 bis 1000 Zwischenwerten X_1 , erforderlich sind, wobei die einzelnen Zwischenwerten X_1 auch nur innerhalb eines sehr schmalen Abtastfenster von

etwa 1 bis 2 Sekunden abgetastet sein müssen. Dementsprechend wäre auch eine relativ niedrige Abtastfrequenz in der Größenordnung von wenigen Kilohertz, z.B. etwa 1 bis 5 kHz ausreichend.

Der Zwischenwert X_2 kann in vorteilhafter Weise ferner z.B. auch dazu verwendet werden, den Grad der Inhomogenität des Fluids oder davon abgeleitet Meßwerte, wie z.B. einen prozentualen Luftgehalt im Fluid oder einen Volumen- Mengen- oder Massenanteil von im Fluid mitgeführten Feststoff-Partikeln, z.B. vor Ort oder in einer entfernten Leitwarte visuell wahrnehmbar, zu signalisieren.

Der nach Gl. (2) ermittelte Viskositäts-Meßwert X_η stellt eine gute Schätzung für eine dynamische Viskosität des Fluids dar, die bekanntlich auch als Produkt aus kinematischer Viskosität und Dichte, ρ , des Fluids gebildet werden kann. Soll der Viskositäts-Meßwert X_η als eine Schätzung für die kinematische Viskosität dienen, so ist vor dessen Ausgabe eine entsprechende Normierung, z.B. mittels einer einfachen numerischen Division, auf den Dichte-Meßwert X_ρ vorzunehmen. Zu diesem Zweck kann Gl.(2) wie folgt modifiziert werden:

$$X_\eta = \frac{X_1}{X_\rho \cdot X_2} \quad (6)$$

Es hat sich ferner gezeigt, daß für derartige Viskositäts-Meßgeräte mit einem solchen Meßaufnehmer vom Biegeschwingungstyp, insb. auch bei konstant geregelter Schwingungsamplitude, ein Verhältnis i_{exc}/θ des Erregerstroms i_{exc} zu einer praktisch nicht direkt meßbaren Geschwindigkeit θ einer die inneren Reibungen und somit auch die Reibungskräfte im Fluid verursachenden Bewegung eine genauere Schätzung für die bereits erwähnte, den Auslenkungen des Meßrohrs 13 entgegenwirkenden Dämpfung ist. Daher ist zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit des Viskositäts-Meßwerts X_η , insb. aber auch zur Verringerung von dessen Empfindlichkeit auf im Betrieb schwankenden Schwingungsamplituden des Meßrohrs 13, nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ferner vorgesehen, daß für die Ermittlung des Viskositäts-Meßwerts X_η der Zwischenwert X_1 zunächst auf einen Geschwindigkeits-Meßwert X_θ normiert wird, der die oben genannte Geschwindigkeit θ repräsentiert. Anders gesagt es wird ein normierter Zwischenwert X_1^* gemäß folgender Vorschrift gebildet:

$$\hat{x}_1 = \overline{x_\theta} \quad (7)$$

Der Geschwindigkeits-Meßwert x_θ wird, basierend auf der Erkenntnis, daß, insb. auch bei der Verwendung einer Wandleranordnung vom Biegeschwings-Typ als Meßaufnehmer 10, die die interne Reibung im Fluid verursachenden Bewegung, sehr stark mit der mittels des Sensors 17 oder auch mit der mittels des Sensors 18 örtlich erfaßten Bewegung des vibrierenden Meßrohrs 13 korrespondiert, bevorzugt mittels der Meßgerät-Elektronik 50, z.B. mittels interner Amplituden-Meßschaltung 55, vom wenigstens einen, ggf. bereits digitalisierten, Sensorsignal s_1 abgeleitet. Die Verwendung des wenigstens einen Sensorsignals s_1 hat nämlich den Vorteil, das nicht nur, wie bereits erwähnt, am mechanischen Aufbau der Wandleranordnung herkömmlicher Coriolis-Massedurchflußmesser praktisch keine grundsätzliche Änderungen erforderlich werden, sondern auch deren jeweilige Sensoranordnung praktisch unverändert weiter genutzt werden können.

Unter Verwendung des normierten Zwischenwerts x_1^* , kann der Viskositäts-Meßwert dann z.B. nach folgender Vorschrift ermittelt werden:

$$\eta = K_f \cdot x_p \cdot (x_2) \quad (8)$$

Der mit Gl.(8) eingeführte Korrekturfaktor K_f dient dazu, den Dichte-Meßwert x_p mit der aktuellen Schwingfrequenz des vibrierenden Meßrohrs 13 zu wichten.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, daß das Sensorsignal s_1 bevorzugt proportional zu einer Geschwindigkeit einer, insb. lateralen, Auslenkungsbewegung des vibrierenden Meßrohrs 13; das Sensorsignal s_1 kann aber z.B. auch proportional zu einer auf das vibrierende Meßrohr 13 wirkenden Beschleunigung oder zu einem vom vibrierenden Meßrohr 13 zurückgelegten Weg sein. Für den Fall, daß das Sensorsignal s_1 im obigen Sinne geschwindigkeitsproportional ausgelegt ist, entspricht der Korrekturfaktor K_f der Schwingfrequenz des vibrierenden Meßrohrs 13, während er z.B. bei einem wegproportionalen Sensorsignal s_1 gleich der dritten Potenz der Schwingfrequenz ist.

Die vorgenannten, dem Erzeugen des Viskositäts-Meßwertes X_η dienenden Funktionen, symbolisiert durch die Gl. (1) bis (8) sind zumindest teilweise in einer Auswerte-Stufe 54 der Meßgerät-Elektronik 50 implementiert, die in vorteilhafter Weise z.B. ebenfalls mittels des Signalprozessors DSP oder z.B. auch mittels des oben erwähnten Mikrocomputers 55 realisiert sein kann.

Das Erstellen und Implementieren von entsprechenden Algorithmen, die mit den vorbeschriebenen Gleichungen korrespondierenden oder die die Funktionsweise der Amplitudenregelschaltung 51 bzw. der Frequenzregelschaltung 52 nachbilden, sowie deren Übersetzung in in solchen Signalprozessoren ausführbaren Programm-Codes ist dem Fachmann an und für sich geläufig und bedarf daher keiner detaillierteren Erläuterung. Selbstverständlich können vorgenannte Gleichungen auch ohne weiteres ganz oder teilweise mittels entsprechender diskret aufgebauter, analoger und/oder digitaler Rechenschaltungen in der Meßgerät-Elektronik 50 dargestellt werden.

Das erfindungsgemäße Viskositäts-Meßgerät zeichnet sich auch dadurch aus, daß der von diesem gelieferte Viskositäts-Meßwert X_η aufgrund seiner Unempfindlichkeit gegenüber den Inhomogenitäten im Fluid auch von geringer Querempfindlichkeit gegenüber Änderungen des Massendurchflusses oder der Dichte ist.

PATENTANSPRÜCHE

1. Viskositäts-Meßgerät für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welches Viskositäts-Meßgerät umfaßt:

- einen Meßaufnehmer (10) vom Vibrationstyp
- mit wenigstens einem mit der Rohrleitung kommunizierenden, im Betrieb vibrierenden Meßrohr (13) zum Führen des Fluids und zum Erzeugen von im Fluid wirkenden Reibungskräften und
- mit einer Erregeranordnung (16) zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs (13) sowie
- eine Meßgerät-Elektronik (50), die
- einen die Erregeranordnung (16) speisenden Erregerstrom (i_{exc}) und
- einen eine Viskosität des Fluids momentan repräsentierenden Viskositäts-Meßwert (X_η) liefert,
- wobei die Meßgerät-Elektronik (50)
- einen mit dem Erregerstrom (i_{exc}) korrespondierenden und die im Fluid wirkenden Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwert (X_1) und
- einen Inhomogenitäten im Fluid repräsentierenden zweiten internen Zwischenwert (X_2) erzeugt und
- wobei die Meßgerät-Elektronik (50) den Viskositäts-Meßwert (X_η) unter Verwendung des ersten und des zweiten internen Zwischenwerts (X_1 , X_2) ermittelt.

2. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 1, bei dem der Meßaufnehmer (10) eine Sensoranordnung (60) zum Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs (13) und zum Erzeugen wenigstens eines diese repräsentierenden ersten Sensorsignals (s_1) umfaßt.

3. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 2, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) den Erregerstrom (i_{exc}) mittels des wenigstens ersten Sensorsignals (s_1) einstellt.

4. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 2 oder 3, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) den ersten internen Zwischenwert (X_1) anhand eines dem Einstellen des Erregerstroms (i_{exc}) dienenden Amplitudenstellsignals (y_{AM}) ermittelt.

5. Viskositäts-Meßgerät für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welches Viskositäts-Meßgerät umfaßt:

- einen Meßaufnehmer (10), insb. vom Biegeschwingungstyp,
- mit wenigstens einem mit der Rohrleitung kommunizierenden, im Betrieb vibrierenden Meßrohr (13) zum Führen des Fluids und zum Erzeugen von im Fluid wirkenden Reibungskräften,
- mit einer Erregeranordnung (16) zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs (13) sowie
- mit einer Sensoranordnung (60) zum Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs (13) und zum Erzeugen wenigstens eines diese repräsentierenden ersten Sensorsignals (s_1) und
- eine Meßgerät-Elektronik (50), die
- einen die Erregeranordnung (16) speisenden Erregerstrom (i_{exc}) und
- einen eine Viskosität des Fluids momentan repräsentierenden Viskositäts-Meßwert (X_η) liefert,
- wobei die Meßgerät-Elektronik (50)
- vom wenigstens ersten Sensorsignal (s_1) ein dem Einstellen des Erregerstroms (i_{exc}) dienendes Amplitudenstellsignal (y_{AM}) ableitet und
- anhand des wenigstens ersten Sensorsignals (s_1) und anhand des Amplitudenstellsignals (y_{AM}) den Viskositäts-Meßwert (X_η) ermittelt.

6. Viskositäts-Meßgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 5, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwerts (X_η) anhand des wenigstens ersten Sensorsignals (s_1) einen Geschwindigkeits-Meßwert (X_θ) ermittelt, der die Reibungskräfte im Fluid verursachende Bewegungen repräsentiert.

7. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 5 oder 6, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwerts (X_η) anhand des Amplitudenstellsignals (y_{AM}) einen mit dem Erregerstrom (i_{exc}) korrespondierenden und die im Fluid wirkenden Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwert (X_1) ermittelt.

8. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 6 und 7, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwerts (X_η) den ersten internen Zwischenwert (X_1) auf den Geschwindigkeits-Meßwert (X_θ) normiert.

9. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 7 oder 8, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50)

- einen Inhomogenitäten im Fluid repräsentierenden zweiten internen Zwischenwert (X_2) erzeugt und
- den Viskositäts-Meßwert (X_η) unter Verwendung des ersten und des zweiten internen Zwischenwerts (X_1 , X_2) ermittelt.

10. Viskositäts-Meßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das vibrierende Meßrohr (13) zum Erzeugen von im Fluid wirkenden Reibungskräften zumindest anteilig in einem Biegeschwingungsmodus schwingt.

11. Viskositäts-Meßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 8 bis 10, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) den zweiten internen Zwischenwert (X_2) anhand des Erregerstroms (i_{exc}) ermittelt.

12. Viskositäts-Meßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 8 bis 11,

- bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) einen flüchtigen Datenspeicher (RAM) umfaßt, in dem ein Sampling (AF) erster interner Zwischenwerte (X_1) vorgehalten ist und
- bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) den zweiten internen Zwischenwert (X_2) mittels des Samplings (AF) erzeugt.

13. Viskositäts-Meßgerät nach Anspruch 12, bei dem zum Erzeugen des zweiten internen Zwischenwerts (X_2) eine mittels des Samplings (AF) geschätzte Standardabweichung ($s_{i_{exc}}$) des ersten internen Zwischenwerts (X_1) dient.

14. Verfahren zum Ermitteln einer Viskosität eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- Einspeisen eines Erregerstroms (i_{exc}) in eine mit einem das Fluid führenden Meßrohr (13) mechanisch gekoppelten Erregeranordnung (16) zum Bewirken von mechanischen Schwingungen, insb. Biegeschwingungen, des Meßrohrs (13),

- Vibrierenlassen des Meßrohrs (13) zum Erzeugen von inneren Reibungskräften im Fluid,
- Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs (13) zum Erzeugen eines im Fluid wirkende Reibungskräfte repräsentierenden ersten internen Zwischenwerts (X_1),
- Erzeugen eines Samplings (AF) erster interner Zwischenwerte (X_1),
- Ermitteln eines Inhomogenitäten im Fluid repräsentierenden zweiten internen Zwischenwerts (X_2) unter Verwendung des Samplings (AF) sowie
- Erzeugen eines die Viskosität repräsentierenden Viskositäts-Meßwerts (X_η) anhand der beiden internen Zwischenwerte (X_1 , X_2).

15. Verfahren nach Anspruch 14, das folgende weitere Schritte umfaßt:

- Erzeugen wenigstens eines die Vibrationen des Meßrohrs (13) repräsentierendes Sensorsignals (s_1) und
- Einstellen des Erregerstroms (i_{exc}) unter Verwendung des wenigstens einen Sensorsignals (s_1).

16. Verfahren nach Anspruch 8, das folgende weitere Schritte umfaßt:

- Ermitteln eines Geschwindigkeits-Meßwerts (X_θ) unter Verwendung des Sensorsignals (s_1), der eine Geschwindigkeit einer die im Fluid wirkende Reibungskräfte verursachenden Bewegung repräsentiert und
- Normieren des ersten internen Zwischenwerts (X_1) auf den Geschwindigkeits-Meßwert (X_θ).

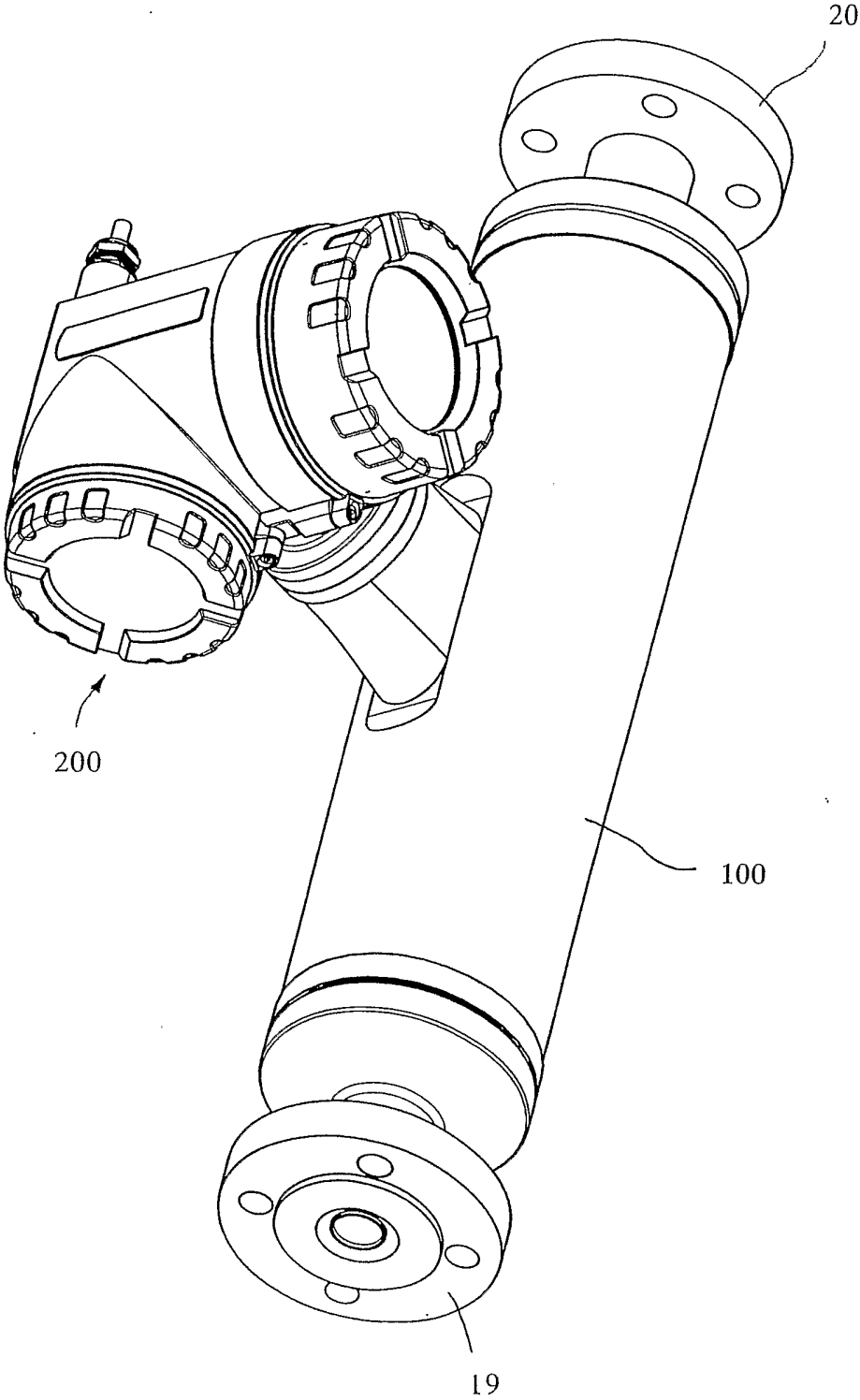


Fig. 1

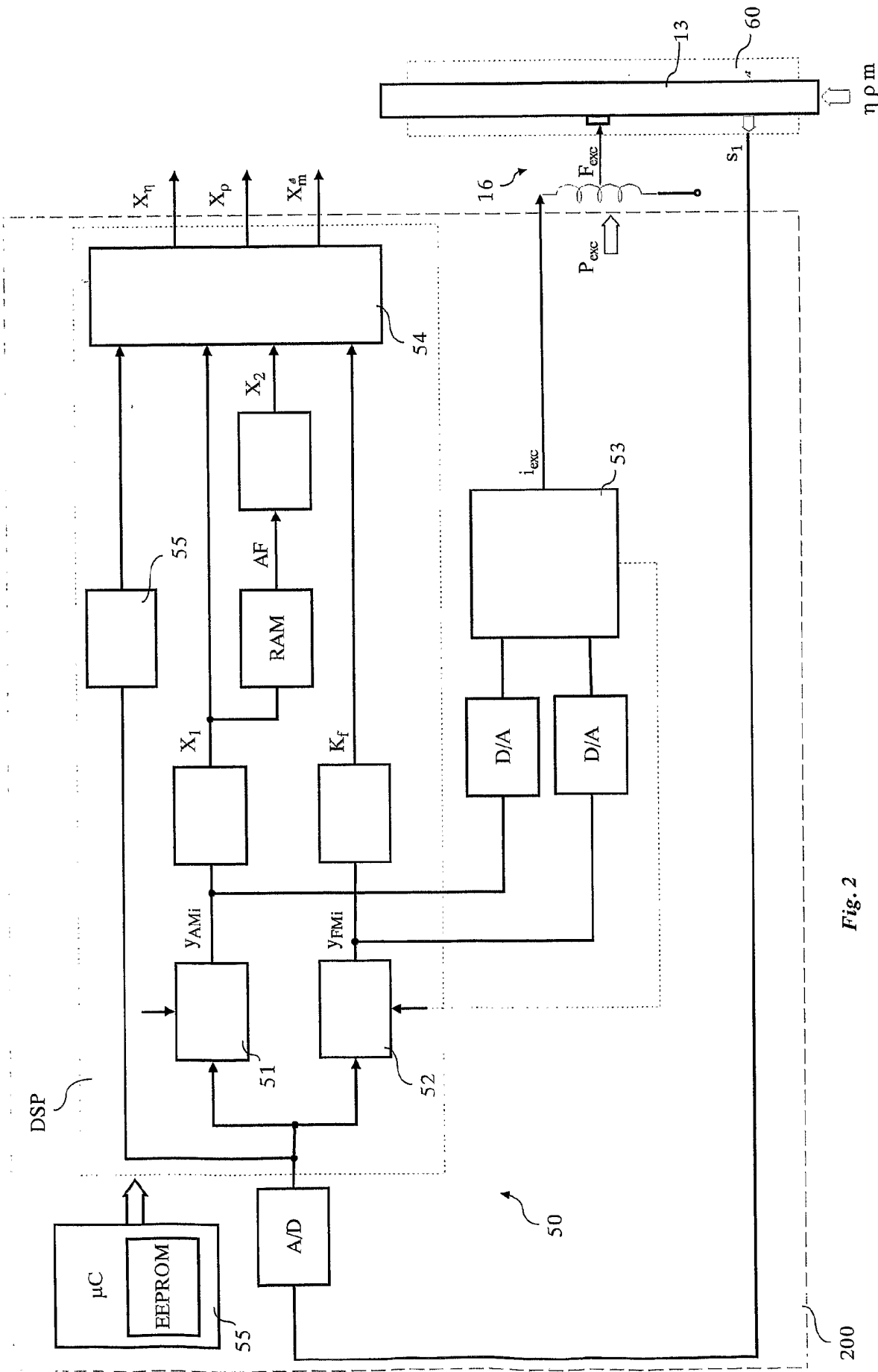


Fig. 2

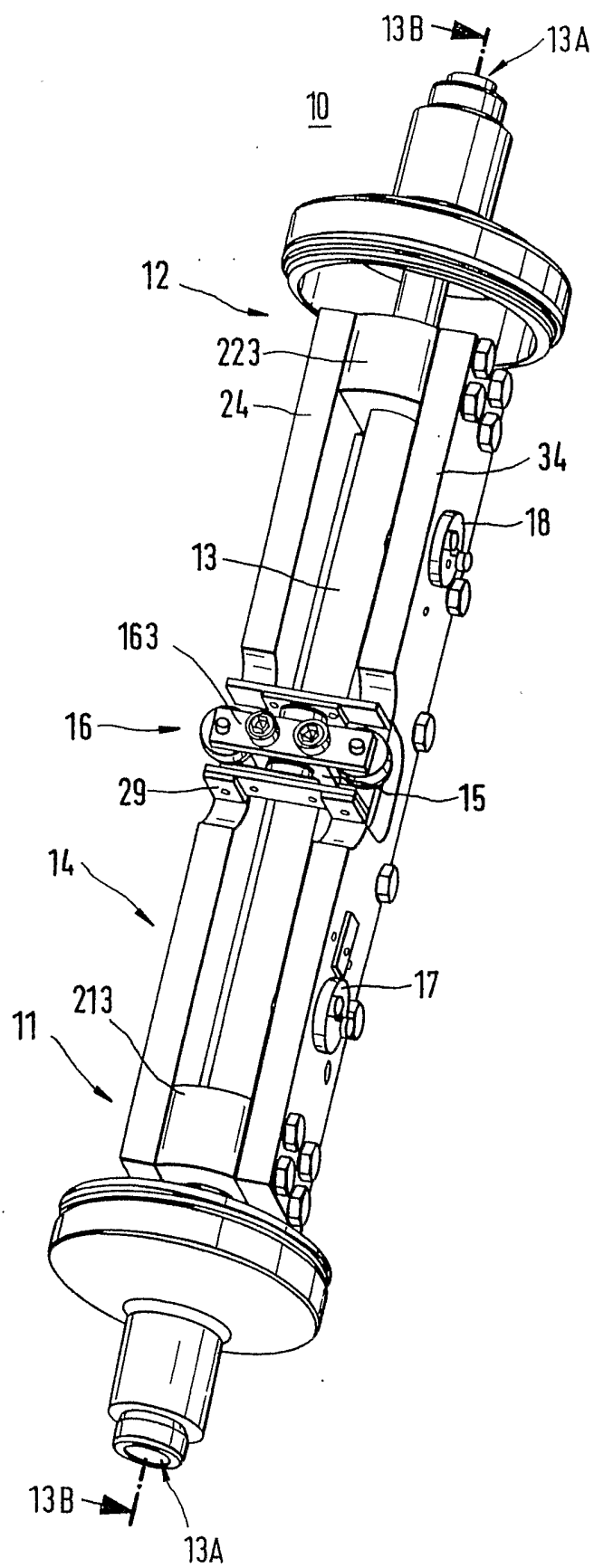


Fig. 3

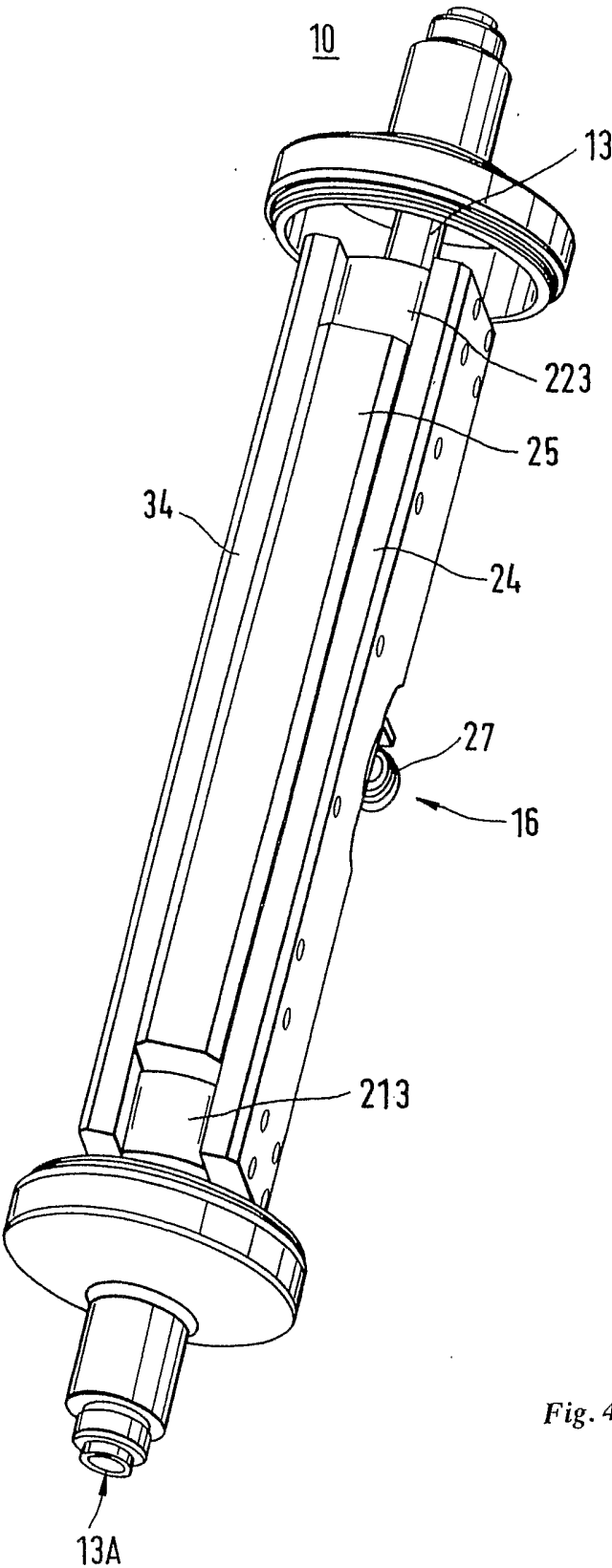
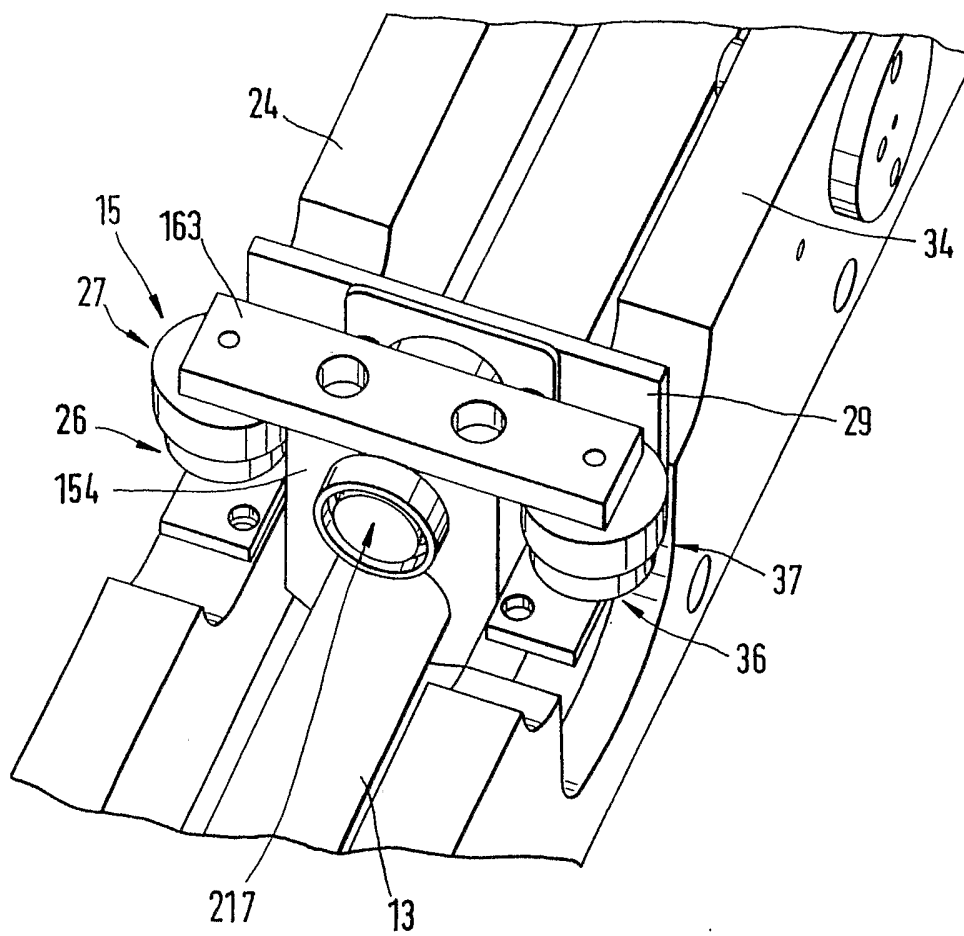


Fig. 4

Fig. 5

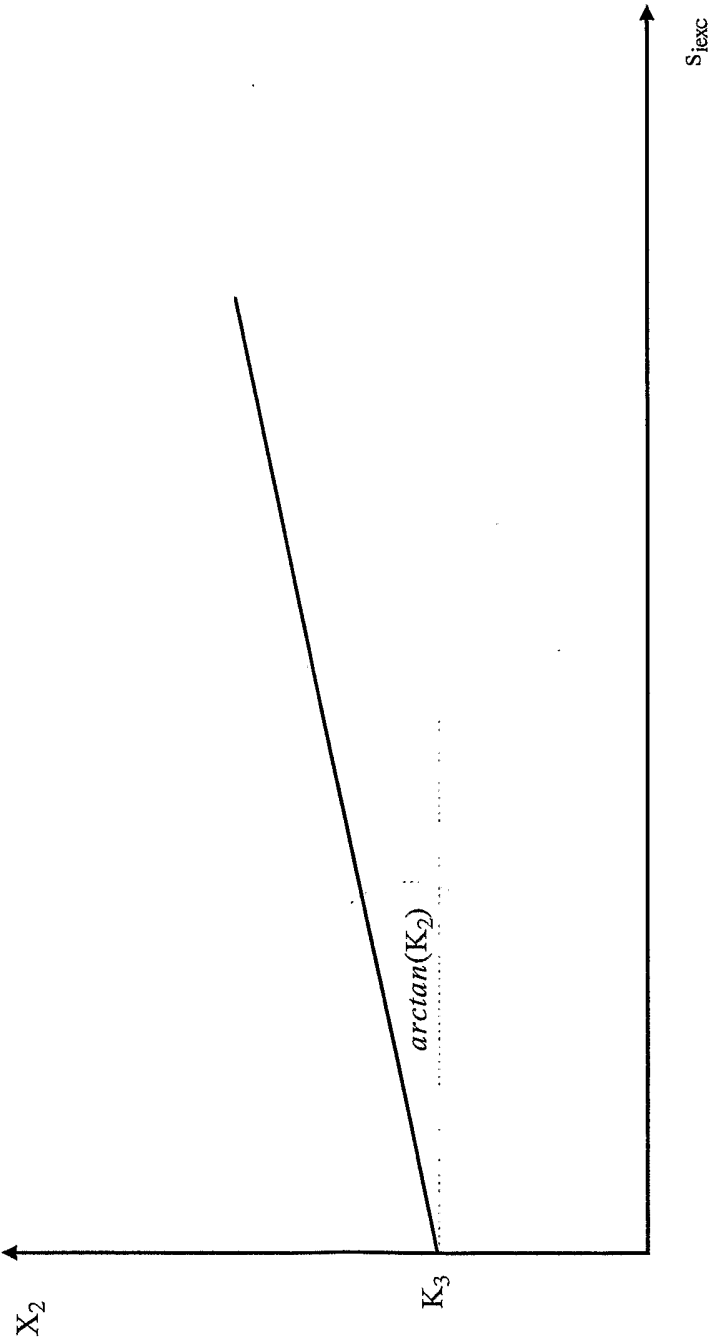


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 02/09215

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01N11/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 524 610 A (FITZGERALD J VINCENT ET AL) 25 June 1985 (1985-06-25) cited in the application	5
A	column 8, line 23 -column 11, line 33; figures 5-7	1-4,6-16
X	EP 0 849 568 A (FLOWTEC AG) 24 June 1998 (1998-06-24)	5
A	column 5, line 51 -column 6, line 11	1-4,6-16
A	US 6 006 609 A (BITTO ENNIO ET AL) 28 December 1999 (1999-12-28) column 3, line 10 -column 4, line 54; figure 15	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 December 2002

Date of mailing of the international search report

17/12/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Thomte, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 02/09215

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4524610	A	25-06-1985	NONE	
EP 0849568	A	24-06-1998	EP 0849568 A1	24-06-1998
			CN 1193733 A	23-09-1998
			DK 849568 T3	15-11-1999
			JP 2872205 B2	17-03-1999
			JP 10185646 A	14-07-1998
			US 2002117010 A1	29-08-2002
			US 6401548 B1	11-06-2002
			US 6006609 A	28-12-1999
			DE 59700185 D1	08-07-1999
			ES 2135285 T3	16-10-1999
US 6006609	A	28-12-1999	EP 0849568 A1	24-06-1998
			CN 1193733 A	23-09-1998
			DE 59700185 D1	08-07-1999
			ES 2135285 T3	16-10-1999
			JP 2872205 B2	17-03-1999
			JP 10185646 A	14-07-1998
			US 2002117010 A1	29-08-2002
			US 6401548 B1	11-06-2002
			DK 849568 T3	15-11-1999

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/09215

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 GO1N11/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 GO1N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 524 610 A (FITZGERALD J VINCENT ET AL) 25. Juni 1985 (1985-06-25) in der Anmeldung erwähnt	5
A	Spalte 8, Zeile 23 -Spalte 11, Zeile 33; Abbildungen 5-7	1-4,6-16
X	EP 0 849 568 A (FLOWTEC AG) 24. Juni 1998 (1998-06-24)	5
A	Spalte 5, Zeile 51 -Spalte 6, Zeile 11	1-4,6-16
A	US 6 006 609 A (BITTO ENNIO ET AL) 28. Dezember 1999 (1999-12-28) Spalte 3, Zeile 10 -Spalte 4, Zeile 54; Abbildung 15	1-16

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

g Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Dezember 2002

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

17/12/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2260 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Thomte, M

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/09215

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4524610	A	25-06-1985	KEINE
EP 0849568	A	24-06-1998	EP 0849568 A1 24-06-1998
		CN 1193733 A	23-09-1998
		DK 849568 T3	15-11-1999
		JP 2872205 B2	17-03-1999
		JP 10185646 A	14-07-1998
		US 2002117010 A1	29-08-2002
		US 6401548 B1	11-06-2002
		US 6006609 A	28-12-1999
		DE 59700185 D1	08-07-1999
		ES 2135285 T3	16-10-1999
US 6006609	A	28-12-1999	EP 0849568 A1 24-06-1998
		CN 1193733 A	23-09-1998
		DE 59700185 D1	08-07-1999
		ES 2135285 T3	16-10-1999
		JP 2872205 B2	17-03-1999
		JP 10185646 A	14-07-1998
		US 2002117010 A1	29-08-2002
		US 6401548 B1	11-06-2002
		DK 849568 T3	15-11-1999