



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 050 898 A1** 2007.05.03

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 050 898.7**

(22) Anmeldetag: **21.10.2005**

(43) Offenlegungstag: **03.05.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01F 1/84** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach, CH**

(74) Vertreter:

**Andres, A., Pat.-Anw., 79576 Weil am Rhein**

(72) Erfinder:

**Rieder, Alfred, Dr., 84032 Landshut, DE; Fuchs, Michael, 79427 Eschbach, DE; Drahm, Wolfgang, Dr., 85435 Erding, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

**DE 100 02 635 C2**

**DE 37 38 018 C2**

**DE 600 09 065 T2**

**US2006/00 10 990 A1**

**US 45 24 610**

**EP 11 90 221 B1**

**WO 03/0 29 760 A1**

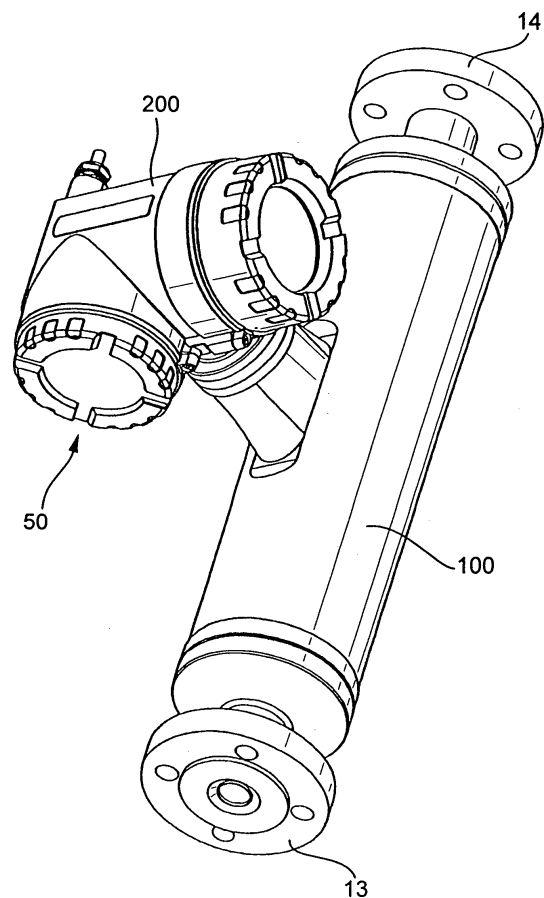
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **In-Line-Meßgerät**

(57) Zusammenfassung: Das In-Line-Meßgerät dient dem Messen wenigstens einer physikalischen Meßgröße eines in einer Rohrleitung geführten Mediums. Das In-Line-Meßgerät weist einen Meßaufnehmer vom Vibrationstyp sowie eine mit dem Meßaufnehmer elektrisch gekoppelte Meßgerät-Elektronik auf. Der Meßaufnehmer umfaßt mindestens ein dem Führen des zu messenden Mediums dienendes, im wesentlichen gerades Meßrohr, das mit der angeschlossenen Rohrleitung kommuniziert, eine auf das Meßrohr einwirkende Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs, die das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in Torsionsschwingungen um eine ein Einlaßende des Meßrohrs und ein Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Torsionsschwingungsachse versetzt, sowie eine Sensoranordnung zum Erfassen von Vibrationen des wenigstens einen Meßrohrs, die wenigstens ein Schwingungen des Meßrohrs repräsentierendes Schwingungssignal liefert. Die Meßgerät-Elektronik liefert zumindest zeitweise ein die Erregeranordnung treibendes Erregersignal und generiert mittels des wenigstens einen Schwingungssignals und/oder mittels des Erregersignals zumindest zeitweise wenigstens einen Meßwert, der die wenigstens eine zu messende physikalische Meßgröße des Mediums repräsentiert. Darüber hinaus ermittelt die Meßgerät-Elektronik anhand des wenigstens einen Schwingungssignals und/oder anhand des Erregersignals wiederkehrend eine Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen des

...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein In-Line-Meßgerät mit einem Meßaufnehmer vom Vibrationstyp, insb. ein Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemeßgerät, für ein in einer Rohrleitung strömendes, insb. zwei- oder mehrphasiges, Medium sowie ein Verfahren zum Erzeugen eines eine physikalische Meßgröße des Mediums, beispielsweise einen Massedurchfluß, eine Dichte und/oder eine Viskosität des Mediums, repräsentierenden Meßwerts mittels eines solchen Meßaufnehmers.

### Stand der Technik

**[0002]** In der Prozeß-Meß- und Automatisierungstechnik werden für die Meßung physikalischer Parameter eines in einer Rohrleitung strömenden Mediums, wie z.B. dem Massedurchfluß, der Dichte und/oder der Viskosität, oftmals solche In-Line-Meßgeräte, insb. Coriolis-Massendurchfluß-Meßgeräte, verwendet, die mittels eines im Betrieb vom Medium durchströmten Meßaufnehmers vom Vibrationstyp und einer daran angeschlossenen Meß- und Betriebsschaltung, im Medium Reaktionskräfte, wie z.B. mit dem Massedurchfluß korrespondierende Corioliskräfte, mit der Dichte korrespondierende Trägheitskräfte oder mit der Viskosität korrespondierende Reibungskräfte etc., bewirken und von diesen abgeleitet ein den jeweiligen Massedurchfluß, ein die jeweilige Viskosität und/oder ein die jeweilige Dichte des Mediums repräsentierendes Meßsignal erzeugen. Derartige In-Line-Meßgeräte mit einem Meßaufnehmer vom Vibrationstyp sowie deren Wirkungsweise sind dem Fachmann an und für sich bekannt und z.B. in der WO-A 05/040734, der WO-A 05/040733, der WO-A 03/095950, der WO-A 03/095949, der WO-A 03/076880, der WO-A 02/37063, der WO-A 01/33174, der WO-A 00/57141, der WO-A 99/39164, der WO-A 98/07009, der WO-A 95/16897, der WO-A 88/03261, der US-A 2004/0200268, der US-A 2003/0208325, der US-B 68 89 561, der US-B 68 40 109, der US-B 66 91 583, der US-B 66 51 513, der US-B 65 13 393, der US-B 65 05 519, der US-A 60 06 609, der US-A 58 69 770, der US-A 57 96 011, der US-A 56 16 868, der US-A 56 02 346, der US-A 56 02 345, der US-A 55 31 126, der US-A 53 01 557, der US-A 52 53 533, der US-A 52 18 873, der US-A 50 69 074, der US-A 48 76 898, der US-A 47 33 569, der US-A 46 80 974, der US-A 46 60 421, der US-A 45 24 610, der US-A 44 91 025, der US-A 41 87 721, der EP-A1 291 639, der EP-A 1 281 938, der EP-A 1 001 254 oder der EP-A 553 939 ausführlich und detailliert beschrieben.

**[0003]** Zum Führen des Mediums umfassen die Meßaufnehmer jeweils mindestens ein in einem, beispielsweise rohr- oder kastenförmigen, Tragrahmen gehaltenes Meßrohr mit einem geraden Rohrsegment, das zum Erzeugen oben genannter Reaktionskräfte im Betrieb – angetrieben von einer elektromechanischen Erregeranordnung – in einem primären Nutzmode praktisch einfrequenz vibrieren gelassen wird. Zum Erfassen, insb. einlaßseitiger und auslaßseitiger, Vibrationen des Rohrsegments weisen die Meßaufnehmer ferner jeweils eine auf Bewegungen des Rohrsegments reagierende physikalisch-elektrische Sensoranordnung auf.

**[0004]** Bei Coriolis-Massedurchflußmeßgeräten beruht die Meßung des Massedurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Mediums beispielsweise darauf, daß das Medium durch das in die Rohrleitung eingefügte und im Betrieb im Nutzmode lateral zu einer Meßrohrachse schwingende Meßrohr strömen gelassen wird, wodurch im Medium Corioliskräfte induziert werden. Diese wiederum bewirken, daß einlaßseitige und auslaßseitige Bereiche des Meßrohrs zueinander phasenverschoben schwingen. Die Größe dieser Phasenverschiebungen dient als ein Maß für den Massedurchfluß. Die Schwingungen des Meßrohrs werden daher mittels zweier entlang des Meßrohres voneinander beabstandeter Schwingungssensoren der vorgenannten Sensoranordnung erfaßt und in Schwingungsmeßsignale gewandelt, aus deren gegenseitiger Phasenverschiebung der Massedurchfluß abgeleitet wird. Bereits die eingangs referierte US-A 41 87 721 erwähnt ferner, daß mittels solcher In-Line-Meßgeräte auch die momentane Dichte des strömenden Mediums meßbar ist, und zwar anhand einer Frequenz wenigstens eines der von der Sensoranordnung gelieferten Schwingungsmeßsignale. Überdies wird zumeist auch eine Temperatur des Mediums in geeigneter Weise direkt gemessen, beispielsweise mittels eines am Meßrohr angeordneten Temperatursensors. Zudem können gerade Meßrohre bekanntlich, zu Torsionsschwingungen um eine im wesentlichen mit der Meßrohr längsachse parallel verlaufenden oder koinzidierenden Torsions-Schwingungsachse angeregt, bewirken, daß im hindurchgeführten Medium radiale Scherkräfte erzeugt werden, wodurch wiederum den Torsionsschwingungen signifikant Schwingungsenergie entzogen und im Medium dissipiert wird. Daraus resultierend erfolgt eine erhebliche Bedämpfung der Torsionsschwingungen des schwingenden Meßrohrs zu deren Aufrechterhaltung demzufolge dem Meßrohr zusätzlich elektrische Erregerleistung zugeführt werden muß. Abgeleitet von einer zum Aufrechterhalten von Torsionsschwingungen des Meßrohrs erforderlichen elektrischen Erregerleistung, kann in der dem Fachmann bekannten Weise mittels des Meßaufnehmers so auch eine Viskosität des Mediums zumindest näherungsweise bestimmt werden, vgl. hierzu insb. auch die US-A 45 24 610, die US-A 52 53 533, die US-A 60 06 609 oder die US-B 66 51 513.

**[0005]** Ein Problem von In-Line-Meßgeräten der beschriebenen Art ist allerdings darin zu sehen, daß die Schwingungseigenschaften des Meßaufnehmers und insoweit auch die von den Schwingungen des Meßrohrs abgeleiteten Schwingungsmeßsignale nicht nur allein von den primären physikalischen Meßgrößen des Mediums, beispielsweise dem Massendurchfluß, der Dichte und/oder der Viskosität etc., und deren betriebsgemäßen Änderungen abhängig sind, sondern in erheblichem Maße auch von gleichfalls veränderlichen sekundären Parametern, beispielsweise meßgerätspezifischen Parameter oder aber auch die Umgebungs- und Einbaubedingungen reflektierende Parameter. Als Beispiel seien stellvertretend für solche sich ändernden sekundären Parameter die Elastizitäts- und Schubmoduln der im Meßaufnehmer verbauten Materialien sowie die Geometrie des wenigstens einen Meßrohrs genannt. Die Änderungen der sekundären Parameter können dabei sowohl reversible, beispielsweise im Falle von temperaturbedingten elastischen Verformungen, als auch im wesentlichen irreversible sein. Erfreulicherweise kann ein Großteil solcher sekundärer Parameter oder zumindest die deren Änderungen verursachenden Einflußgrößen im Meßbetrieb ergänzend erfaßt und insoweit die Einflüsse von Änderungen solcher Geräte- und/oder Einbauparameter auf die Meßgenauigkeit weitgehend kompensiert werden. Dies kann, wie z.B. in der der US-B 65 12 987, der US-A 47 68 384, EP-A 578 113, vorgeschlagen, einerseits unter Verwendung zusätzlich im In-Line-Meßgerät angeordneter Sensoren, wie z.B. Temperaturfühler, Dehnungsmeßstreifen, Beschleunigungssensoren, Drucksensor etc., realisiert werden und andererseits anhand der Schwingungsmeßsignale selbst erfolgen.

**[0006]** Das Prinzip der auf den Schwingungsmeßsignalen beruhenden Kompensationsverfahren besteht im Kern darin, daß zusätzlich zu den die oben erwähnten Reaktionskräfte bewirkenden primären Nutzmoden weitere, zumeist lediglich als sekundäre Hilfsmoden dienende Schwingungsmoden von zumeist höherer Schwingungsfrequenz angeregt werden. So ist z.B. in der WO-A 05/040734, der US-B 68 89 561, der US-B 65 57 422, der US-A 59 07 104, der US-A 58 31 178, der US-A 57 73 727, der US-A 57 28 952, der US-A 46 80 974 jeweils ein In-Line-Meßgerät zum Meßen wenigstens einer physikalischen Meßgröße eines in einer Rohrleitung geführten Mediums gezeigt, welches In-Line-Meßgerät einen Meßaufnehmer vom Vibrationstyp und eine mit dem Meßaufnehmer elektrisch gekoppelte Meßgerät-Elektronik umfaßt,

- wobei der Meßaufnehmer aufweist:
  - wenigstens ein dem Führen des zu messenden Mediums dienendes Meßrohr, das mit der angeschlossenen Rohrleitung kommuniziert,
  - eine auf das wenigstens eine Meßrohr einwirkende Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs,
  - die das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in erste Lateralschwingungen mit einer ersten Schwingungsfrequenz um eine gedachte Lateralschwingungsachse versetzt, und
  - die das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in zweite Lateralschwingungen mit einer von der ersten Schwingungsfrequenz verschiedenen zweiten Schwingungsfrequenz um eine gedachte Lateralschwingungsachse versetzt, sowie
  - eine Sensoranordnung zum Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs, die Schwingungen des Meßrohrs repräsentierende Schwingungsmeßsignale liefert,
- wobei die Meßgerät-Elektronik zumindest zeitweise ein die Erregeranordnung treibendes Erregersignal liefert, und
- wobei die Meßgerät-Elektronik mittels der Schwingungsmeßsignale und/oder mittels des Erregersignals zumindest zeitweise wenigstens einen Meßwert generiert, der die wenigstens eine zu messende physikalische Meßgröße des Mediums repräsentiert.

**[0007]** Anhand der Schwingungsmeßsignale bestimmt die Meßgerät-Elektronik wiederkehrend die Schwingungsfrequenzen der Lateralschwingungen des Meßrohrs und ermittelt und/oder überwacht basierend darauf wenigstens einen Geräte- und/oder Einbauparameter des In-Line-Meßgeräts oder detektiert zumindest einen unzulässig hohen Meßfehler.

**[0008]** Wie u.a. in der WO-A 05/040734 erwähnt, kann auch die Bildung eines Belages an der Innenseite der Meßrohrwand, beispielsweise infolge von Sedimentation, Adhäsion oder dergleichen, in erheblichem Maße zu einer Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit des In-Line-Meßgeräts führen, sofern diese Belagsbildung nicht bei der Ermittlung des Meßwerts berücksichtigt wird. Untersuchungen haben nunmehr aber gezeigt, daß eine möglichst frühzeitige Detektion von Belag am Meßrohr basierend auf multiplen Lateralschwingungen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden sein kann. Dies im besonderen auch deshalb, weil einerseits die Dichte des Belags naturgemäß etwa im Bereich der Dichte des Mediums liegt, und andererseits dessen Einfluß auf die Lateralschwingungen mit dem des zu messenden Mediums in etwa vergleichbar ist. Infolgedessen zeigt ein sich bildender Belag im wesentlichen die gleichen Wirkungen auf die Lateralschwingungen, wie betriebsgemäße Änderungen der physikalischen Eigenschaften des Mediums, insb. Änderungen von dessen Dichte und/oder Viskosität.

**[0009]** Darüber hinaus kann aber auch der Fall eintreten, daß nicht nur das wenigstens eine Meßrohr des In-Line-Meßgeräts von einem solchen Belag befallen ist, sondern im besonderen auch Teile der an das In-Line-Meßgerät angeschlossenen Rohrleitung. Dies wiederum kann dann beispielsweise dazu führen, daß auch andere In-Line-Meßgeräte und/oder deren Einlaufstrecken von Belagsbildung betroffen sein können, ohne daß dies durch eine entsprechende Selbstvalidierung seitens der betroffenen Meßgeräte ohne weiteres erkennbar wäre.

#### Aufgabenstellung

**[0010]** Eine Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein entsprechendes In-Line-Meßgerät mit einem Meßaufnehmer vom Vibrationstyp, insb. ein Coriolis-Massendurchfluß-/Dichtemessgerät und/oder eine Viskositäts-Meßgerät, anzugeben, das einerseits geeignet ist, die zu messende physikalische Meßgröße, insb. den Massendurchfluß, die Dichte und/oder die Viskosität, sehr genau zu messen, und das andererseits in der Lage ist, sich am Meßrohr bildenden Belag zumindest bei Überschreiten einer minimalen Belagsdicke zu detektieren. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein entsprechendes Verfahren anzugeben, das ein verlässliches Detektieren und/oder ein ausreichend genaues Ausmessen eines am Meßrohr gegebildeten Belags anhand von in herkömmlichen Meßaufnehmern der beschriebene Art erzeugten Schwingungssignalen ermöglicht. Ferner besteht eine Aufgabe der Erfindung darin, das Medium berührende Rohrwände, insb. auch die an den Meßaufnehmer angeschlossene Rohrleitung, auf einen allfälligen Belagsbefall hin zu überwachen.

**[0011]** Dafür besteht die Erfindung in einem, beispielsweise als Coriolis-Massendurchfluß-/Dichtemessgerät und/oder Viskositätsmeßgerät ausgebildeten, In-Line-Meßgerät zum Meßen wenigstens einer physikalischen Meßgröße  $x$ , beispielsweise eines Massedurchflusses,  $m$ , einer Dichte,  $\rho$ , und/oder einer Viskosität,  $\eta$ , eines in einer Rohrleitung geführten Mediums. Das In-Line-Meßgerät weist einen Meßaufnehmer vom Vibrationstyp sowie eine mit dem Meßaufnehmer elektrisch gekoppelte Meßgerät-Elektronik auf. Der Meßaufnehmer umfaßt mindestens ein dem Führen des zu messenden Mediums dienendes im wesentlichen gerades Meßrohr, das mit der angeschlossenen Rohrleitung kommuniziert, eine auf das Meßrohr einwirkende Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs, die das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in Torsionsschwingungen um eine ein Einlaßende des Meßrohrs und ein Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Torsionsschwingungsachse versetzt, sowie eine Sensoranordnung zum Erfassen von Vibrationen des wenigstens einen Meßrohrs, die wenigstens ein Schwingungen des Meßrohrs repräsentierendes Schwingungsmeßsignal liefert. Die Meßgerät-Elektronik liefert zumindest zeitweise ein die Erregeranordnung treibendes Erregersignal und generiert mittels des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals und/oder mittels des Erregersignals zumindest zeitweise wenigstens einen Meßwert, der die wenigstens eine zu messende physikalische Meßgröße, beispielsweise den Massendurchfluß, die Dichte, oder die Viskosität des Mediums, repräsentiert. Darüberhinaus ermittelt die Meßgerät-Elektronik anhand des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals und/oder anhand des Erregersignals wiederkehrend eine Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen des Meßrohrs und überwacht die Meßgerät-Elektronik basierend auf der Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen wenigstens einen Betriebszustand des wenigstens einen Meßrohrs.

**[0012]** Darüberhinaus besteht die Erfindung in einem Verfahren zum Überwachen eines Betriebszustandes einer Rohrwand, die von einem zumindest zeitweise strömenden Medium kontaktiert und infolgedessen zumindest abschnittsweise Veränderungen unterworfen ist, mittels eines, beispielsweise als Coriolis-Massendurchflußmeßgerät ausgebildeten, In-Line-Meßgeräts mit einem Meßaufnehmer vom Vibrationstyp und einer mit dem Meßaufnehmer elektrisch gekoppelten Meßgerät-Elektronik. Das Verfahren umfaßt dabei im besonderen Schritte des Strömenlassens des Mediums durch wenigstens ein Meßrohr des Meßaufnehmers, das mit einer an den Meßaufnehmer angeschlossenen, das Medium führenden Rohrleitung kommuniziert, des Einspeisens eines Erregersignals in eine mit dem Meßrohr mechanisch gekoppelte Erregeranordnung zum Bewirken von Torsionsschwingungen des Meßrohrs um eine ein Einlaßende des Meßrohrs und ein Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Torsionsschwingungsachse, des Erfassens von Vibrationen des Meßrohrs zum Erzeugen wenigstens eines Torsionsschwingungen des Meßrohrs zumindest anteilig repräsentierenden Schwingungsmeßsignals sowie des Verwendens des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals und/oder des Erregersignals zum Ermitteln einer Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen des Meßrohrs. Ferner umfaßt das Verfahren einen Schritt des Erzeugens eines den Betriebszustand der Rohrwand repräsentierenden Zustandswerts basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen.

**[0013]** Nach einer ersten Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen zumindest die

Anwesenheit eines am Meßrohr gebildeten Belags detektiert, und/oder daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen ein Ausmaß des am Meßrohr gebildeten Belags ermittelt.

**[0014]** Nach einer zweiten Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen wenigsten einen Zustandswert erster Art, der zumindest die Anwesenheit eines am Meßrohr gebildeten Belags signalisiert. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung repräsentiert der von der Meßgerät-Elektronik ermittelte Zustandswert erster Art ein Ausmaß des am Meßrohr gebildeten Belags, insb. eine Dicke des Belags oder eine Masse des Belags. Nach einer anderen Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik zumindest den Zustandswert erster Art auch unter Berücksichtigung einer Dichte des Mediums und/oder einer Viskosität des Mediums ermittelt.

**[0015]** Nach einer dritten Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen Abrasionen des Meßrohrs detektiert. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen ein Ausmaß der am Meßrohr vorliegenden Abrasion ermittelt.

**[0016]** Nach einer vierten Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen wenigsten einen Zustandswert zweiter Art, der zumindest das Vorliegen von Abrasionen des Meßrohrs signalisiert. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung repräsentiert der von der Meßgerät-Elektronik ermittelte Zustandswert zweiter Art ein Ausmaß der am Meßrohr vorliegenden Abrasion, insb. ein Defizit in einer momentanen Wandstärke der Rohrwand des Meßrohrs zu einer nominellen Wandstärke.

**[0017]** Nach einer fünften Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ist die gedachte Torsionsschwingungsachse im wesentlichen parallel zu einer Trägheitshauptachse des Meßrohrs ausgerichtet, insb. konzidiert die gedachte Torsionsschwingungsachse im wesentlichen mit der Trägheitshauptachse des Meßrohrs. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung versetzt die Erregeranordnung das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in Lateralschwingungen, insb. Biegeschwingungen, um eine das Einlaßende des Meßrohrs und das Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende, insb. im wesentlichen parallel zur Torsionsschwingungsachse ausgerichtete, Lateralschwingungsachse. In vorteilhafter Weise sind die gedachte Lateralschwingungsachse und die gedachte Torsionsschwingungsachse dabei so zueinander angeordnet und ausgerichtet, das sie im wesentlichen miteinander konzidieren. Nach einer weiteren Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung versetzt die Erregeranordnung das Meßrohr im Betrieb alternierend in Torsionsschwingungen oder Lateralschwingungen oder versetzt die Erregeranordnung das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise simultan in Torsionsschwingungen und Lateralschwingungen, so daß Torsionsschwingungen und Lateralschwingungen einander überlagern.

**[0018]** Nach einer sechsten Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ist vorgesehen, daß die Erregeranordnung das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in Lateralschwingungen, insb. Biegeschwingungen, um eine das Einlaßende des Meßrohrs und das Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Lateralschwingungsachse versetzt, und daß die Meßgerät-Elektronik anhand des wenigstens einen Schwingungsmesssignals und/oder anhand des Erregersignals wiederkehrend eine Schwingungsfrequenz der Lateralschwingungen des Meßrohrs ermittelt. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung handelt es sich bei dem wenigstens einen Meßwert um einen Dichte-Meßwert, der eine zu messende Dichte des Mediums repräsentiert, und wobei die Meßgerät-Elektronik den wenigstens einen Meßwert basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Lateralschwingungen generiert. Nach einer anderen Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung handelt es sich bei dem wenigstens einen Meßwert um einen Viskositäts-Meßwert, der eine zu messende die Viskosität des Mediums repräsentiert. Im besonderen ermittelt die Meßgerät-Elektronik den wenigstens einen Meßwert dabei basierend auf einer vom Medium abhängigen Dämpfung von Schwingungen des Meßrohrs.

**[0019]** Nach einer siebenten Ausgestaltung des In-Line-Meßgeräts der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen wenigstens einen den am Meßrohr gebildeten Belag berücksichtigenden Korrekturwert ermittelt, wobei die Meßgerät-Elektronik den wenigstens einen Meßwert auch unter Verwendung des wenigstens einen Korrekturwerts generiert.

**[0020]** Nach einer ersten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß der Zustandswert zumindest die Anwesenheit von Belag an zumindest einem Abschnitt der Rohrwand signalisiert.

**[0021]** Nach einer zweiten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß der Zustandswert ein Ausmaß des an der Rohrwand zumindest abschnittsweise gebildeten Belags, insb. eine Dicke des Belags oder eine Masse des Belags, repräsentiert.

**[0022]** Nach einer dritten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß der Zustandswert zumindest die zumindest das Vorliegen von Abrasionen an zumindest einem Abschnitt der Rohrwand signalisiert.

**[0023]** Nach einer vierten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß der Zustandswert ein Ausmaß der an Rohrwand zumindest abschnittsweise vorliegenden Abrasion, insb. ein Defizit in einer momentanen Wandstärke der Rohrwand zu einer nominellen Wandstärke, repräsentiert.

**[0024]** Nach einer fünften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß sich der überwachte Abschnitt der Rohrwand zumindest anteilig über das Meßrohr erstreckt.

**[0025]** Nach einer sechsten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß sich der überwachte Abschnitt der Rohrwand zumindest anteilig über die an den Meßaufnehmer angeschlossene Rohrleitung erstreckt.

**[0026]** Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, den Meßaufnehmer zwecks einer Detektion eines am Meßrohr gebildeten Belags, insb. auch zum Zwecke einer Kompensation von damit einhergehenden Meßfehlern, – zumindest zeitweise in einem solchen Schwingungsmode zu betreiben, bei dem das Meßrohr zumindest anteilig Torsionsschwingungen ausführt, da diese in erheblichem Maße belagssensitiv sein können. Anhand von zumindest der Schwingungsfrequenz der Torsionsschwingungen des Meßrohrs können so auf eine sehr einfache Weise verlässliche Informationen darüber gewonnen werden, ob das wenigstens eine Meßrohr von einem unerwünschten Belag befallen ist. Ein weiterer Grundgedanke der Erfindung besteht darin, mittels eines In-Line-Meßgeräts der beschriebenen Art – ggf. auch unter Einbeziehung von die Rohrleitung betreffenden, a priori vorhandener Betriebserfahrung – Betriebszustände von dem vor- und/oder nachgelagerte Abschnitten der angeschlossenen Rohrleitung zu überwachen.

**[0027]** Die Erfindung beruht dabei im besonderen auf der überraschenden Erkenntnis, daß die Eigenfrequenz natürlicher Torsionsschwingungen solcher Meßrohre nicht nur in erheblichem Maße durch Beläge beeinflusst, die sich an der Rohrwand des Meßrohrs gebildet haben, sondern sogar so in gut reproduzierbarer Weise mit Änderungen im Belag korrespondieren, daß dieser, basierend auf der Torsionsschwingungsfrequenz, zumindest hinsichtlich seiner wirksamen Masse meßbar ist; im Vergleich dazu sind beispielsweise die Schwingungsfrequenzen von Lateralschwingungen gerader Meßrohre in einem erheblich niedrigerem Maße von sich am Meßrohr bildenden Belägen abhängig. Mit Änderungen der Viskosität des Mediums dabei gegebenenfalls einhergehenden geringfügige Veränderungen in den Eigenfrequenzen der Torsionsschwingungen können unter Berücksichtigung der im Betrieb zumeist ohnehin in geeigneter Weise gemessenen Viskosität ohne weiteres kompensiert werden. Ebenso können allfällige Dichteabhängigkeiten der Eigenfrequenzen der Torsionsschwingungen basierend auf der zumeist ebenfalls ermittelte Mediumsdichte und/oder basierend auf zumeist ebenfalls gemessenen Schwingungsfrequenzen von Lateralschwingungen verifiziert werden. Gleichermäßen ergänzend können neben den Einflüssen von Änderungen primärer Meßgrößen selbstverständlich auch die mit den Änderungen der eingangs erwähnten sekundären Parametern einhergehenden Ströreinflüsse auch auf die Torsionsschwingungen entsprechend mit berücksichtigt werden, wie z.B. durch Temperaturschwankungen bedingte Änderungen von Axialspannungen, Elastizitäts- und/oder Schubmoduln.

**[0028]** Ein Vorteil der Erfindung ist u.a. darin zu sehen, daß die angeregten Torsionsschwingungen auch dazu dienen können, die Viskosität des im Meßrohr geführten Mediums sehr genau zu messen, vgl. hierzu die eingangs erwähnten US-A 45 24 610 oder US-B 68 40 109. Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht ferner darin, daß aufgrund der zumeist großen Ähnlichkeit von Meßrohr und angeschlossener Rohrleitung, insb. hinsichtlich ihrer Strömungs- und/oder Materialeigenschaften, von dem anhand der Schwingungseigenschaften des Meßrohrs detektierten Belags auch auf Belagsbild in der Rohrleitung zurück geschlossen werden kann.

#### Ausführungsbeispiel

**[0029]** Die Erfindung sowie vorteilhafte Ausgestaltungen davon werden nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen; wenn es die Übersichtlichkeit erfordert, wird auf bereits erwähnte Be-

zugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet.

[0030] **Fig. 1** zeigt ein in eine Rohrleitung einfügbares In-Line-Meßgerät zum Meßen eines Massendurchflusses eines in der Rohrleitung geführten Fluids,

[0031] **Fig. 2** zeigt ein Ausführungsbeispiel für einen für das Meßgerät von **Fig. 1** geeigneten Meßaufnehmer vom Vibrations-Typ in einer perspektivischen Seitenansicht,

[0032] **Fig. 3** zeigt den Meßaufnehmer von **Fig. 2** geschnitten in einer Seitenansicht,

[0033] **Fig. 4** zeigt den Meßaufnehmer von **Fig. 2** in einem ersten Querschnitt,

[0034] **Fig. 5** zeigt den Meßaufnehmer von **Fig. 2** in einem zweiten Querschnitt,

[0035] **Fig. 6** zeigt schematisch nach der Art eines Blockschaltbildes eine Ausgestaltung einer für das In-Line-Meßgerät von **Fig. 1** geeigneten Meßgerät-Elektronik, und

[0036] **Fig. 7** zeigen graphisch mit einem In-Line-Meßgerät gemäß den **Fig. 1** bis **Fig. 7** experimentell ermittelte Meßdaten.

[0037] In **Fig. 1** ist perspektivisch ein, insb. multivariables, In-Line-Meßgerät 1 dargestellt, das im besonderen dazu geeignet ist, eine oder mehrere physikalische Meßgrößen, z.B. einen Massendurchfluß  $m$ , eine Dichte  $\rho$  und/oder eine Viskosität  $\eta$ , eines in einer – hier aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellten – Rohrleitung strömenden Mediums zu erfassen und in einen diese Meßgröße momentan repräsentierenden Meßwert  $X_x$  abzubilden, beispielsweise einen den Massendurchfluß  $m$  repräsentierenden Massendurchfluß-Meßwert  $X_m$ , einen die Dichte  $\rho$  repräsentierenden Dichte-Meßwert  $X_\rho$  und/oder einen die Viskosität  $\eta$  repräsentierenden Viskositäts-Meßwert  $X_\eta$ . Medium kann dabei praktisch jeder strömungsfähige Stoff sein, beispielsweise eine Flüssigkeit, ein Gas, ein Dampf oder dergleichen.

[0038] Das beispielsweise als Coriolis-Massendurchfluß-/Dichte- und/oder Viskositätsmeßer ausgebildete In-Line-Meßgerät 1 umfaßt dafür einen im Betrieb vom zu messenden Medium durchströmten Meßaufnehmer 10 vom Vibrationstyp, von dem ein Ausführungsbeispiel und Ausgestaltungen in den **Fig. 2** bis **Fig. 5** gezeigt sind, sowie eine, wie in **Fig. 1** und **Fig. 6** schematisch dargestellt, mit dem Meßaufnehmer 10 elektrisch verbundene Meßgerät-Elektronik 50. Vorzugsweise ist die Meßgerät-Elektronik 50 ferner so ausgelegt, daß sie im Betrieb des In-Line-Meßgerät 1 mit einer diesem übergeordneten Meßwertverarbeitungseinheit, beispielsweise einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), einem Personalcomputer und/oder einer Workstation, via Datenübertragungssystem, beispielsweise einem Feldbussystem, Meß- und/oder andere Betriebsdaten austauschen kann. Des weiteren ist die Meßgerät-Elektronik 50 so ausgelegt, dass sie von einer externen Energieversorgung, beispielsweise auch über das vorgenannte Feldbussystem, gespeist werden kann. Für den Fall, daß das Vibrations-Meßgerät für eine Ankopplung an ein Feldbus- oder ein anderes Kommunikationssystem vorgesehen ist, weist die, insb. programmierbare, Meßgerät-Elektronik 50 eine entsprechende Kommunikations-Schnittstelle für eine Datenkommunikation auf, z.B. zum Senden der Meßdaten an die bereits erwähnte speicherprogrammierbare Steuerung oder ein übergeordnetes Prozeßleitsystem, auf. Zur Unterbringung der Meßgerät-Elektronik 50 ist ferner ein, insb. von außen direkt am Meßaufnehmer 10 angebrachtes oder aber von diesem abgesetztes, Elektronikgehäuse 200 vorgesehen.

[0039] Wie bereits erwähnt, umfaßt das In-Line-Meßgerät einen Meßaufnehmer vom Vibrationstyp, der im Betrieb vom zu messenden Medium durchströmt ist, und der dazu dient, in einem hindurchströmenden Medium solche mechanische Reaktionskräfte, insb. vom Massendurchfluß  $m$  abhängige Corioliskräfte, von der Mediumsdichte  $\rho$  abhängige Trägheitskräfte und/oder von der Mediumsviskosität  $\eta$  abhängige Reibungskräfte, zu erzeugen, die meßbar, insb. sensorisch erfaßbar, auf den Meßaufnehmer zurückwirken. Abgeleitet von diesen das Medium beschreibenden Reaktionskräften können so in der dem Fachmann bekannten Weise z.B. der Massendurchfluß  $m$ , die Dichte  $\rho$  und/oder die Viskosität  $\eta$  des Mediums gemessen werden. In den **Fig. 2** und **Fig. 3** ist ein Ausführungsbeispiel einer als Meßaufnehmer 10 vom Vibrations-Typ gezeigt dienenden physikalisch-elektrischen Wandleranordnung schematisch dargestellt. Der mechanische Aufbau und die Funktionsweise einer derartigen Wandleranordnung ist dem Fachmann an und für sich bekannt und z.B. auch in der US-B 66 91 583, der WO-A 03/095949 oder der WO-A 03/095950 detailliert beschrieben.

[0040] Zum Führen des Mediums und zum Erzeugen besagter Reaktionskräfte umfaßt der Meßaufnehmer wenigstens ein im wesentlichen gerades Meßrohr 10 von vorgebbarem Meßrohrdurchmesser, das im Betrieb

zumindest zeitweise vibrieren gelassen wird und dadurch wiederholt elastisch verformt wird. Elastisches Verformen des Meßrohrlumens bedeutet hier, dass eine Raumform und/oder eine Raumlage des Meßrohrlumens innerhalb eines Elastizitätsbereiches des Meßrohrs **10** in vorgebar Weise zyklisch, insb.

**[0041]** periodisch, verändert wird, vgl. hierzu auch die US-A 48 01 897, die US-A 56 48 616, die US-A 57 96 011, die US-A 60 06 609, die US-B 66 91 583, die WO-A 03/095949 und/oder die WO-A 03/095950. Es sei an dieser Stelle darauf verwiesen, daß anstelle des im Ausführungsbeispiel gezeigten Meßaufnehmers mit einem einzigen, geraden Meßrohr, der der Realisierung der Erfindung dienende Meßaufnehmer gleichwohl aus einer Vielzahl von aus dem Stand der Technik bekannten Meßaufnehmern vom Vibrationstyp ausgewählt werden kann. Im besonderen eignen sich beispielsweise auch Meßaufnehmer vom Vibrationstyp mit zwei zueinander im wesentlichen parallelen geraden Meßrohren.

**[0042]** Wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt, weist der Meßaufnehmer **1** weiters ein das Meßrohr **10** sowie allfällige weitere Komponenten des Meßaufnehmers (siehe auch weiter unten) umgebendes Meßaufnehmer-Gehäuse **100** auf, das diese vor schädlichen Umgebungseinflüssen schützt und/oder der allfällige Schallemissionen des Meßaufnehmers nach außen hin dämpft. Überdies dient das Meßaufnehmer-Gehäuse **100** auch dazu ein die Meßgerät-Elektronik **50** einhausendes Elektronik-Gehäuse **200** zu halten. Hierzu ist das Meßaufnehmer-Gehäuse **100** mit einem Halsartigen Übergangsstück versehen, an dem das Elektronik-Gehäuse **200** entsprechend fixiert ist, vgl. [Fig. 1](#). Anstelle des hier gezeigten rohrförmigen, coaxial zum Meßrohr verlaufenden Wandlergehäuses **100** können selbstverständlich auch andere geeignete Gehäuseformen, wie z.B. kastenförmige Strukturen, verwendet werden.

**[0043]** Das Meßrohr **10**, das in der üblichen Weise einlaß-seitig und auslaß-seitig mit der das zu messende Medium zu- bzw. abführenden Rohrleitung kommuniziert, ist in dem eher starren, insb. biege- und verwindungssteifen, Wandlergehäuse **100** schwingfähig aufgehängt. Zum Hindurchströmenlassen des Mediums ist das Meßrohr **10** über ein in ein Einlaßende **11#** einmündendes Einlaßrohrstück **11** und über ein in ein Auslaßende **12#** einmündendes Auslaßrohrstück **12** an die Rohrleitung angeschlossen. Meßrohr **10**, Einlaß- und Auslaßrohrstück **11**, **12** sind zueinander und zur oben erwähnten Meßrohr längsachse L möglichst fluchtend ausgerichtet und in vorteilhafter Weise einstückig ausgeführt, so daß zu deren Herstellung z.B. ein einziges rohrförmiges Halbzeug dienen kann; falls erforderlich können Meßrohr **10** und Rohrstücke **11**, **12** aber auch mittels einzelner, nachträglich zusammengefügt, z.B. zusammengeschweißter, Halbzeuge hergestellt werden. Zur Herstellung des Meßrohrs **10**, wie auch des Einlaß- und des Auslaßrohrstücks **11**, **12** kann praktisch jedes der für solche Meßaufnehmer üblichen Materialien verwendet werden, wie z.B. Eisen-, Titan-, Zirkonium- und/oder Tantal-Legierungen, Kunststoffe oder Keramiken. Für den Fall, daß der Meßaufnehmer lösbar mit der Rohrleitung zu montieren ist, ist dem Einlaßrohrstück **11** und dem Auslaßrohrstück **12** bevorzugt jeweils ein erster bzw. zweiter Flansch **13**, **14** angeformt; falls erforderlich können Ein- und Auslaßrohrstück **11**, **12** aber auch direkt mit der Rohrleitung, z.B. mittels Schweißen oder Hartlötung, verbunden werden. Ferner ist beim Meßaufnehmer ein am ein Ein- und am Auslaßrohrstück **11**, **12** fixiertes, das Meßrohr **10** aufnehmendes Wandlergehäuse **100** vorgesehen, vgl. hierzu [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#).

**[0044]** Zum Messen des Massendurchflusses  $m$  und/oder einer Dichte  $\rho$  wird das Meßrohr **10** gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung in einem als Lateral-Schwingungsmodus ausgebildeten Schwingungsnutzmodus angeregt, bei dem es zumindest anteilig Schwingungen, insb. Biegeschwingungen, lateral zu einer gedachten Meßrohr längsachse L ausführt, insb. so, daß es sich, im wesentlichen auf einer natürlichen Biege-Eigenfrequenz schwingend, gemäß einer natürlichen ersten Eigenschwingungsform lateral ausbiegt. Für den Fall, daß das Medium in der angeschlossenen Rohrleitung strömt und somit der Massendurchfluß  $m$  von Null verschieden ist, werden mittels des im ersten Schwingungsnutzmodus schwingenden Meßrohrs **10** im hindurchströmenden Medium Corioliskräfte induziert. Diese wiederum wirken auf das Meßrohr **10** zurück und bewirken so in der dem Fachmann bekannten Weise eine zusätzliche, sensorisch erfaßbare Verformung des Meßrohrs **10** im wesentlichen gemäß einer natürlichen zweiten Eigenschwingungsform, die der ersten Eigenschwingungsform koplanar überlagert ist. Die momentane Ausprägung der Verformung des Meßrohrs **10** ist dabei, insb. hinsichtlich ihrer Amplituden, auch vom momentanen Massendurchfluß  $m$  abhängig. Als zweite Eigenschwingungsform, dem sogenannten Coriolismodus, können z.B., wie bei derartigen Meßaufnehmern üblich, anti-symmetrische Biegeschwingungsformen mit zwei Schwingungsbäuchen oder mit vier Schwingungsbäuchen dienen. Da natürliche Eigenfrequenzen solcher Lateral-Schwingungsmoden von Meßrohren bekanntlich in besonderem Maße auch von der Dichte  $\rho$  des Mediums abhängig sind, kann mittels des In-Line-Meßgerät ohne weiteres zusätzlich zum Massendurchfluß  $m$  auch die Dichte  $\rho$  gemessen werden.

**[0045]** Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Meßrohr **10** zum Erzeugen von massendurchflußabhängigen Corioliskräften im strömenden Medium und/oder dichteabhängigen Trägheitskräften zu-



mindest zeitweise mit einer Lateralschwingungs-Frequenz  $f_{\text{excl}}$  angeregt, die möglichst genau einer niedrigsten natürlichen Biege-Eigenfrequenz des Meßrohrs **10** entspricht, so daß also das lateral schwingende, jedoch nicht vom Fluid durchströmte Meßrohr **10** bezüglich einer zur Meßrohr-Längsachse L senkrechten Mittelachse im wesentlichen symmetrisch ausgebogen wird und dabei einen einzigen Schwingungsbauch aufweist. Diese niedrigste Biege-Eigenfrequenz kann beispielsweise bei einem als Meßrohr **10** dienenden Edelstahlrohr mit einer Nennweite von 20 mm, einer Wandstärke von etwa 1,2 mm und einer Länge von etwa 350 mm sowie den üblichen Anbauten bei etwa 850 Hz bis 900 Hz liegen.

**[0046]** Zusätzlich zu den Lateral-Schwingungen wird das wenigstens eine Meßrohr **10**, insb. auch zum Erzeugen von viskositätsabhängigen Scherkräften im strömenden Medium, zumindest zeitweise in einem Torsions-Schwingungsmodus betrieben. In diesem Torsions-Schwingungsmodus ist das Meßrohr zu Torsions-Schwingungen um eine im wesentlichen mit der Meßrohr-Längsachse L parallel verlaufenden oder koinzidierenden Torsions-Schwingungsachse angeregt, und zwar so, daß es im wesentlichen gemäß einer natürlichen Torsions-Schwingungsform um seine Längsachse L verdreht wird, vgl. hierzu z.B. auch die US-A 45 24 610, die US-A 52 53 533, die US-A 60 06 609 oder die EP-A 1 158 289. Das Anregen der Torsions-Schwingungen kann hierbei sowohl alternierend zum ersten Schwingungsmodus und getrennt von diesem in einem zweiten Schwingungsmodus oder aber, zumindest bei voneinander unterscheidbaren Schwingungsfrequenzen, auch simultan zu den Lateralschwingungen im ersten Schwingungsmodus erfolgen. Anders gesagt arbeitet der Meßaufnehmer zumindest zeitweise in einem Dual-Modusbetrieb, bei dem das wenigstens eine Meßrohr **10** abwechselnd und/oder alternierend in wenigstens zwei von einander im wesentlichen unabhängigen Schwingungsmoden, nämlich dem Lateral-Schwingungsmodus und dem Torsions-Schwingungsmodus vibrieren gelassen wird. Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Meßrohr **10**, insb. simultan zu den Lateralschwingungen im Nutzmodus, mit einer Torsionsschwingungs-Frequenz  $f_{\text{exclT}}$ , die möglichst genau einer natürlichen Torsions-Eigenfrequenz des Meßrohrs **10** entspricht, angeregt. Eine niedrigste Torsions-Eigenfrequenz kann beispielsweise bei einem geraden Meßrohr etwa im Bereich des Doppelten der niedrigsten Biege-Eigenfrequenz liegen.

**[0047]** Wie bereits erwähnt, werden die Schwingungen des Meßrohrs **11** einerseits durch Abgabe von Schwingungsenergie, insb. an das Medium, bedämpft. Andererseits aber kann dem vibrierenden Meßrohr **10** auch dadurch in erheblichem Maße Schwingungsenergie entzogen werden, daß mit diesem mechanisch gekoppelte Bauteile, wie z.B. das Wandlergehäuse **100** oder die angeschlossene Rohrleitung, ebenfalls zu Schwingungen angeregt werden. Zum Zwecke der Unterdrückung oder Vermeidung einer allfälligen Abgabe von Schwingungsenergie an die Umgebung ist daher im Meßaufnehmer ferner ein einlaßseitig und auslaßseitig am Meßrohr **10** fixierter Gegenschwinger **20** vorgesehen. Der Gegenschwinger **20** kann, wie in der [Fig. 2](#) schematisch dargestellt, einstückig ausgeführt sein. Falls erforderlich, kann der Gegenschwinger **20** auch, wie z.B. auch in der US-A 59 69 265, der EP-A 317 340 oder der WO-A 00/14485 gezeigt, mehrteilig zusammengesetzt oder mittels zweier separater, einlaß- bzw. auslaßseitig am Meßrohr **10** fixierter Teil-Gegenschwinger realisiert sein. Der Gegenschwinger **20** dient u.a. dazu, den Meßaufnehmer für wenigstens einen vorherbestimmten, z.B. eine im Betrieb des Meßaufnehmers am häufigsten zu erwartende oder auch kritische Mediumsdichte soweit dynamisch auszubalancieren, daß im vibrierenden Meßrohr **10** allfällig erzeugte Querkräfte und/oder Biegemomente weitgehend kompensiert werden, vgl. hierzu auch die US-B 66 91 583. Darüber hinaus dient der Gegenschwinger **20** für den oben beschriebenen Fall, daß das Meßrohr **10** im Betrieb auch zu Torsionsschwingungen angeregt wird, außerdem dazu, solche Torsions-Momente, die vom vorzugsweise um seine Längsachse L tordierenden einzigen Meßrohr **10** erzeugt werden, weitgehend kompensierende Gegen-Torsionsmomente zu erzeugen und somit die Umgebung des Meßaufnehmers, insb. aber die angeschlossene Rohrleitung, weitgehend frei von dynamischen Torsionsmomenten zu halten. Der Gegenschwinger **20** kann, wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) schematisch dargestellt, rohrförmig ausgeführt und beispielsweise so am Einlaßende **11#** und am Auslaßende **12#** mit dem Meßrohr **10** verbunden sein, daß er, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, im wesentlichen koaxial zum Meßrohr **10** ausgerichtet ist. Als Material für den Gegenschwinger **20** kommen praktisch dieselben Materialien in Frage, wie sie auch für das Meßrohr **10** verwendbar sind, also beispielsweise Edelstahl, Titan-Legierungen etc.

**[0048]** Der, insb. im Vergleich zum Meßrohr **10** etwas weniger torsions-und/oder biege-elastische, Gegenschwinger **20** wird im Betrieb gleichfalls schwingen gelassen, und zwar im wesentlichen gleichfrequent, jedoch außerphasig, insb. gegenphasig, zum Meßrohr **10**. Dementsprechend ist der Gegenschwinger **20** mit wenigstens einer seiner Torsions-Eigenfrequenzen möglichst genau auf jene Torsions-Schwingungsfrequenzen abgestimmt, mit der dieses im Betrieb vorwiegend schwingen gelassen wird. Darüber hinaus ist der Gegenschwinger **20** auch in wenigstens einer seiner Biege-Eigenfrequenz zu wenigstens einer Biege-Schwingungsfrequenz mit der das Meßrohr **10**, insb. im Nutzmodus, schwingen gelassen wird möglichst gleich eingestellt und wird der Gegenschwinger **20** im Betrieb des Meßaufnehmers auch zu Lateralschwingungen, insb. Biege-

schwingungen, angeregt, die im wesentlichen koplanar zu Lateralschwingungen des Meßrohrs **10**, insb. den Biegeschwingungen des Nutzmodes, ausgebildet sind.

**[0049]** Nach einer Ausgestaltung der Erfindung sind dafür, wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) schematisch dargestellt, im Gegenschwinger **20** eingearbeitete Nuten **201**, **202** vorgesehen, die ein genaues Einstellen von dessen Torsions-Eigenfrequenzen, insb. ein Absenken der Torsions-Eigenfrequenzen durch Absenken einer Torsions-Steifigkeit des Gegenschwingers **20**, auf einfache Weise ermöglichen. Obwohl die Nuten **201**, **202** in der [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#) in Richtung der Längsachse L im wesentlichen gleichverteilt gezeigt sind, können sie, falls erforderlich, ohne weiteres auch in Richtung der Längsachse L ungleich verteilt angeordnet sein. Darüber hinaus kann die Massenverteilung des Gegenschwingers auch mittels entsprechender diskreter Massenausgleichkörper korrigiert werden, die am Meßrohr **10** fixiert sind. Als Massenausgleichkörper können z.B. auf das Meßrohr **10** aufgeschobene Metallringe oder an diesem fixierte Metallplättchen dienen.

**[0050]** Zum Erzeugen mechanischer Schwingungen des Meßrohrs **10** umfaßt der Meßaufnehmer ferner eine, insb. elektrodynamische, Erregeranordnung **40**, die mit dem Meßrohr gekoppelt ist. Die Erregeranordnung **40** dient dazu, eine von der Meßgerät-Elektronik inform eines entsprechenden Erregersignals, z.B. mit einem eingepprägten Erregerstrom  $i_{exc}$  und/oder einer geregelten Spannung, eingespeiste elektrische Erregerleistung  $P_{exc}$  in ein auf das Meßrohr **10**, z.B. puls förmig oder harmonisch, einwirkendes und dieses elastisch verformendes Erregermoment  $M_{exc}$  und/oder in eine lateral auf das Meßrohr **10** wirkende Erregerkraft  $F_{exc}$  umzuwandeln. Zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades und eines möglichst hohen Signal/Rausch-Verhältnisses ist die Erregerleistung  $P_{exc}$  möglichst genau so eingestellt, dass überwiegend die Schwingungen des Meßrohrs **10** im Nutzmode aufrecht erhalten werden, und zwar möglichst genau auf einer momentanen Eigenfrequenz des vom Medium durchströmten Meßrohrs oder auch auf mehreren solcher Eigenfrequenzen. Die Erregerkraft  $F_{exc}$  wie auch das Erregermoment  $M_{exc}$  können dabei, wie in [Fig. 4](#) angedeutet, jeweils bidirektional oder aber auch unidirektional ausgebildet sein und 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 eingestellt werden. Als Erregeranordnung **40** kann, wie bei solchen Meßaufnehmern vom Vibrationstyp üblich, beispielsweise eine Tauchspulenanordnung mit einer am Gegenschwinger **20** oder von innen am Wandlergehäuse **100** befestigten zylindrischen Erregerspule, die im Betrieb von einem entsprechenden Erregerstrom  $i_{exc}$  durchflossen ist, und mit einem in die Erregerspule zumindest teilweise eintauchenden dauermagnetischen Anker, der am Meßrohr **10** fixiert ist, dienen. Ferner kann die Erregeranordnung **40** auch, wie z.B. in der US-A 45 24 610 oder der WO-A 03/095950 gezeigt, mittels mehrerer Tauchspulen oder auch mittels Elektromagneten realisiert sein.

**[0051]** Zum Detektieren der Schwingungen des Meßrohrs **10** umfasst der Meßaufnehmer ferner eine Sensoranordnung **50**, die mittels wenigstens eines auf Vibrationen des Meßrohrs **10** reagierenden ersten Schwingungssensors **51** ein diese repräsentierendes erstes, insb. analoges, Schwingungsmeß-Signal  $s_1$  erzeugt. Der Schwingungssensor **51** kann z.B. mittels eines dauermagnetischen Ankers gebildet sein, der am Meßrohr **10** fixiert ist und mit einer vom Gegenschwinger **20** oder vom Wandlergehäuse gehaltenen Sensorspule in Wechselwirkung steht. Als Schwingungssensor **51** sind besonders solche Sensoren geeignet, die, basierend auf dem elektrodynamischen Prinzip, eine Geschwindigkeit der Auslenkungen des Meßrohrs **10** erfassen. Es können aber auch beschleunigungsmessende elektrodynamische oder aber beispielsweise auch wegmessende resistive und/oder optische Sensoren verwendet werden. Selbstverständlich können auch andere dem Fachmann bekannte und für die Detektion solcher Vibrationen geeignete Sensoren verwendet werden. Die Sensoranordnung **60** umfasst ferner einen, insb. zum ersten Schwingungssensor **51** identischen, zweiten Schwingungssensor **52**, mittels dem sie ein ebenfalls Vibrationen des Meßrohrs **10** repräsentierendes zweites Schwingungsmeß-Signal  $s_2$  liefert. Die beiden Schwingungssensoren **51**, **52** sind bei dieser Ausgestaltung entlang des Meßrohrs **10** voneinander beabstandet, insb. in einem gleichen Abstand von der Mitte des Meßrohrs **10**, so im Meßaufnehmer **10** angeordnet, dass mittels der Sensoranordnung **50** sowohl einlaß-seitige als auch auslaß-seitige Vibrationen des Meßrohrs **10** örtlich erfaßt und in die entsprechenden Schwingungsmeßsignale  $s_1$  bzw.  $s_2$  umgewandelt werden. Beide Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$ , die üblicherweise jeweils eine einer momentanen Schwingfrequenz des Meßrohrs **10** entsprechende Signalfrequenz aufweisen, sind, wie in [Fig. 6](#) gezeigt, der Meßgerät-Elektronik **50** zugeführt, wo sie in der dem Fachmann bekannten Weise mittels einer entsprechenden vorverarbeitet, insb. digitalisiert, und anschließend geeignet ausgewertet werden.

**[0052]** Nach einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Erregeranordnung **40**, wie auch in [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt, so ausgebildet und im Meßaufnehmer angeordnet, daß sie im Betrieb gleichzeitig, insb. differentiell, auf Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** wirkt. Bei dieser Weiterbildung der Erfindung ist die Erregeranordnung **40**, wie auch in [Fig. 2](#) gezeigt, in vorteilhafter Weise so ausgebildet und so im Meßaufnehmer angeordnet, daß sie im Betrieb gleichzeitig, insb. differentiell, auf Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** wirkt. Im

in der [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Erregeranordnung **40** dazu wenigstens eine im Betrieb zumindest zeitweise vom Erregerstrom oder einem Erregeranteilstrom durchflossene erste Erregerspule **41a** auf, die an einem mit dem Meßrohr **10** verbundenen Hebel **41c** fixiert ist und über diesen und einen von außen am Gegenschwinger **20** fixierten Anker **41b** differentiell auf das Meßrohr **10** und den Gegenschwinger **20** einwirkt. Diese Anordnung hat u.a. auch den Vorteil, daß einerseits der Gegenschwinger **20** und somit auch das Wandlergehäuse **100** im Querschnitt klein gehalten und trotzdem die Erregerspule **41a**, insb. auch bei der Montage, leicht zugänglich ist. Darüber hinaus besteht ein weiterer Vorteil dieser Ausgestaltung der Erregeranordnung **40** auch darin, daß allfällig verwendete, insb. bei Nennweiten von über 80 mm nicht mehr vernachlässigbar schwere, Spulenbecher **41d** ebenfalls am Gegenschwinger **20** fixierbar sind und somit praktisch keinen Einfluß auf die Eigenfrequenzen des Meßrohrs **10** haben. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß falls erforderlich, die Erregerspule **41a** auch vom Gegenschwinger **20** und dementsprechend der Anker **41b** vom Meßrohr **10** gehalten werden können.

**[0053]** In entsprechender Weise können auch die Schwingungssensoren **51**, **52** so ausgelegt und im Meßaufnehmer angeordnet sein, daß durch sie die Vibrationen von Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** differentiell erfaßt werden. Im in der [Fig. 5](#) gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt die Sensoranordnung **50** eine am Meßrohr **10** fixierte, hier außerhalb sämtlicher Trägheitshauptachsen der Sensoranordnung **50** angeordnete, Sensorspule **51a**. Die Sensorspule **51a** ist möglichst nah zu einem am Gegenschwinger **20** fixierten Anker **51b** angeordnet und mit diesem magnetisch so gekoppelt, daß in der Sensorspule eine durch rotatorische und/oder laterale, ihre relative Lage und/oder ihren relativen Abstand verändernde Relativbewegungen zwischen Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** beeinflusste, veränderliche Meßspannung induziert wird. Aufgrund einer solchen Anordnung der Sensorspule **51a** können in vorteilhafter Weise gleichzeitig sowohl die oben genannten Torsionsschwingungen als auch die angeregten Biegeschwingungen erfaßt werden. Falls erforderlich können die Sensorspule **51a** dazu aber auch am Gegenschwinger **20** und in entsprechender Weise der mit dieser gekoppelte Anker **51b** am Meßrohr **10** fixiert sein.

**[0054]** Nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung sind Meßrohr **10**, Gegenschwinger **20** sowie die daran befestigten Sensor- und Erregeranordnungen **40**, **50** hinsichtlich ihrer Massenverteilung so aufeinander abgestimmt, daß das so gebildete, mittels des Ein- und am Auslaßrohrstücks **11**, **12** aufgehängte Innenteil des Meßaufnehmers einen Massenschwerpunkt MS aufweist, der zumindest innerhalb des Meßrohrs **10**, vorzugsweise aber möglichst nah an der Meßrohr-Längsachse L liegt. Zudem ist das Innenteil in vorteilhafter Weise so ausgebildet, daß es eine mit dem Einlaßrohrstück **11** und dem Auslaßrohrstück **12** fluchtende und zumindest abschnittsweise innerhalb des Meßrohrs **10** liegende erste Trägheitshauptachse  $T_1$  aufweist. Aufgrund der Verlegung des Massenschwerpunktes MS des Innenteils, insb. aber auch aufgrund der vorbeschriebenen Lage der ersten Trägheitshauptachse  $T_1$  sind die beiden betriebsgemäß vom Meßrohr **10** eingenommenen und vom Gegenschwinger **20** weitgehend kompensierten Schwingungsformen, nämlich die Torsionsschwingungen und die Biegeschwingungen des Meßrohrs **10**, mechanisch voneinander weitestgehend entkoppelt, vgl. hierzu auch die US-B 68 40 109. Dadurch können beide Schwingungsformen, also Lateralschwingungen und/oder Torsionsschwingungen, in vorteilhafter Weise ohne weiteres voneinander getrennt angeregt werden. Sowohl die Verlegung des Massenschwerpunktes MS als auch der ersten Trägheitshauptachse  $T_1$  hin zur Meßrohr-Längsachse L kann beispielsweise dadurch erheblich vereinfacht werden, daß das Innenteil, also Meßrohr **10**, Gegenschwinger **20** sowie die daran befestigten Sensor- und Erregeranordnungen **50**, **40**, so ausgebildet und zueinander angeordnet sind, daß eine Massenverteilung des Innenteils entlang der Meßrohr-Längsachse L im wesentlichen symmetrisch, zumindest aber invariant gegenüber einer gedachten Drehung um die Meßrohr-Längsachse L um  $180^\circ$  (c2-Symmetrie), ist. Zu dem ist der – hier rohrförmig, insb. auch weitgehend axial-symmetrisch, ausgebildete – Gegenschwinger **20** im wesentlichen koaxial zum Meßrohr **10** angeordnet, wodurch das Erreichen einer symmetrischen Massenverteilung des Innenteils erheblich vereinfacht wird und somit auch der Massenschwerpunkt MS in einfacher Weise nah zur Meßrohr-Längsachse L hin verlegt wird. Darüber hinaus sind auch die Sensor- und Erregeranordnungen **50**, **40** im Ausführungsbeispiel so ausgebildet und zueinander am Meßrohr **10** und ggf. am Gegenschwinger **20** angeordnet, daß ein durch sie erzeugtes Massenträgheitsmoment möglichst konzentrisch zur Meßrohr-Längsachse L ausgebildet oder zumindest möglichst klein gehalten ist. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, daß ein gemeinsamer Massenschwerpunkt von Sensor- und Erregeranordnung **50**, **40** ebenfalls möglichst nah an der Meßrohr-Längsachse L liegt und/oder daß eine Gesamtmasse von Sensor- und Erregeranordnung **50**, **40** möglichst klein gehalten ist.

**[0055]** Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Erregeranordnung **40** zum Zwecke der getrennten Anregung von Torsions- und/oder Biegeschwingungen des Meßrohrs **10** so ausgebildet und an diesem und am Gegenschwinger **20** so fixiert, daß eine die Biegeschwingungen erzeugende Kraft entlang einer gedachten Kraftlinie auf das Meßrohr **10** wirkt, die außerhalb einer zur ersten Trägheitshauptachse  $T_1$  senkrechten zweiten Trägheitshauptachse  $T_2$  verläuft oder letztere in höchstens einem Punkt schneidet. Vorzugs-

weise ist das Innenteil so ausgestaltet, daß die zweite Trägheitshauptachse  $T_2$  im wesentlichen mit der oben erwähnten Mittelachse übereinstimmt. Im in der [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Erregeranordnung **40** dazu wenigstens eine im Betrieb zumindest zeitweise vom Erregerstrom oder einem Erregerteilstrom durchflossene erste Erregerspule **41a** auf, die an einem mit dem Meßrohr **10** verbundenen Hebel **41c** fixiert ist und über diesen und einen von außen am Gegenschwinger **20** fixierten Anker **41b** differentiell auf das Meßrohr **10** und den Gegenschwinger **20** einwirkt. Diese Anordnung hat u.a. auch den Vorteil, daß einerseits der Gegenschwinger **20** und somit auch das Wandlergehäuse **100** im Querschnitt klein gehalten und trotzdem die Erregerspule **41a**, insb. auch bei der Montage, leicht zugänglich ist. Darüber hinaus besteht ein weiterer Vorteil dieser Ausgestaltung der Erregeranordnung **40** auch darin, daß allfällig verwendete, insb. bei Nennweiten von über 80 mm nicht mehr vernachlässigbar schwere, Spulenbecher **41d** ebenfalls am Gegenschwinger **20** zu fixieren sind und somit praktisch keinen Einfluß auf die Resonanzfrequenzen des Meßrohrs **10** haben. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß falls erforderlich, die Erregerspule **41a** auch vom Gegenschwinger **20** und dementsprechend der Anker **41b** vom Meßrohr **10** gehalten werden können.

**[0056]** Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist die Erregeranordnung **40** wenigstens eine entlang eines Durchmessers des Meßrohrs **10** angeordnete zweite Erregerspule **42a** auf die in gleicher Weise wie die Erregerspule **41a** mit dem Meßrohr **10** und dem Gegenschwinger **20** gekoppelt ist. Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Erregeranordnung zwei weitere, insgesamt also vier zumindest bezüglich der zweiten Trägheitshauptachse  $T_2$  symmetrisch angeordnete Erregerspulen **43a**, **44a** auf, die alle in der vorgenannten Weise im Meßaufnehmer montiert sind. Die außerhalb der zweiten Trägheitshauptachse  $T_2$  auf das Meßrohr **10** einwirkende Kraft kann mittels solcher Zwei- oder Vier-Spulen-Anordnungen in einfacher Weise z.B. dadurch erzeugt werden, daß eine der Erregerspulen, z.B. die Erregerspule **41a**, eine andere Induktivität aufweist als die jeweils anderen oder daß eine der Erregerspulen, z.B. die Erregerspule **41a**, im Betrieb von einem Erregerteilstrom durchflossen ist, der von einem jeweiligen Erregerteilstrom der jeweils anderen Erregerspulen verschieden ist.

**[0057]** Nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Sensoranordnung **50**, wie in [Fig. 5](#) schematisch dargestellt, eine außerhalb der zweiten Trägheitshauptachse  $T_2$  angeordnete, am Meßrohr **10** fixierte Sensorspule **51a**. Die Sensorspule **51a** ist möglichst nah zu einem am Gegenschwinger **20** fixierten Anker **51b** angeordnet und mit diesem magnetisch so gekoppelt, daß in der Sensorspule eine durch rotatorische und/oder laterale, ihre relative Lage und/oder ihren relativen Abstand verändernde Relativbewegungen zwischen Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** beeinflusste, veränderliche Meßspannung induziert wird. Aufgrund der erfindungsgemäßen Anordnung der Sensorspule **51a** können in vorteilhafter Weise gleichzeitig sowohl die oben genannten Torsionsschwingungen als auch die ggf. angeregten Biegeschwingungen erfaßt werden. Falls erforderlich können die Sensorspule **51a** dazu aber auch am Gegenschwinger **20** und in entsprechender Weise der mit dieser gekoppelte Anker **51b** am Meßrohr **10** fixiert sein.

**[0058]** Es sei an dieser Stelle ferner erwähnt, daß die Erregeranordnung **40** und die Sensoranordnung **50** in der dem Fachmann bekannten Weise in ihrem mechanischen Aufbau auch im wesentlich gleich ausgeführt sein können; somit lassen sich die vorgenannten Ausgestaltungen des mechanischen Aufbaus der Erregeranordnung **40** im wesentlichen auch auf den mechanischen Aufbau der Sensoranordnung **50** übertragen und umgekehrt.

**[0059]** Zum Vibrierenlassen des Meßrohrs **10** wird die Erregeranordnung **40**, wie bereits erwähnt, mittels eines gleichfalls, insb. mehrfrequent, oszillierenden 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. Der Erregerstrom  $i_{exc}$  kann z.B. harmonisch, mehrfrequent oder auch rechteckförmig sein. Die Lateralschwingungs-Erregerfrequenz  $f_{excl}$  eines zum Aufrechterhalten der Lateralschwingungen des Meßrohrs **10** erforderlichen Lateral-Stromanteils  $i_{excl}$  vom Erregerstrom  $i_{exc}$  kann beim im Ausführungsbeispiel gezeigten Meßaufnehmer in vorteilhafter Weise so gewählt und eingestellt sein, daß das lateral schwingende Meßrohr **10** im wesentlichen in einem Biegeschwingungsgrundmode mit einem einzigen Schwingungsbauch oszilliert. Analog dazu ist auch eine Torsionsschwingungs-Erregerfrequenz  $f_{excT}$  eines zum Aufrechterhalten der Torsionsschwingungen des Meßrohrs **10** erforderlichen Torsions-Stromanteils  $i_{excT}$  vom Erregerstrom  $i_{exc}$  in vorteilhafter Weise so gewählt und eingestellt, daß das torsional schwingende Meßrohr **10** möglichst in seinem Torsionsschwingungs-Grundmode mit einem einzigen Schwingungsbauch oszilliert. Die beiden vorgenannten Stromanteile  $i_{excl}$  und  $i_{excT}$  können je nach gewählter Betriebsart beispielsweise intermittierend, also momentan jeweils als Erregerstrom  $i_{exc}$  wirkend, oder auch simultan, also einander zum Erregerstrom  $i_{exc}$  ergänzend, in die Erregeranordnung **40** eingespeist werden.

**[0060]** Für den oben beschriebenen Fall, daß die Lateralschwingungs-Frequenz  $f_{\text{excl}}$  und die Torsionsschwingungs-Frequenz  $f_{\text{excT}}$ , mit der das Meßrohr im Betrieb schwingen gelassen wird, voneinander verschieden eingestellt sind, kann mittels des Meßaufnehmers in einfacher und vorteilhafter Weise auch bei simultan angelegten Torsions- und Biegeschwingungen, z.B. basierend auf einer Signalfilterung oder einer Frequenzanalyse, eine Separierung der einzelnen Schwingungsmoden sowohl in den Erreger- als auch in den Sensorsignalen erfolgen. Anderenfalls empfiehlt sich eine alternierende Anregung der Lateral- bzw. der Torsionsschwingungen.

**[0061]** Zum Erzeugen und Einstellen des Erregerstroms  $i_{\text{exc}}$  bzw. der Stromanteile  $i_{\text{excl}}$ ,  $i_{\text{excT}}$  umfaßt die Meßgerät-Elektronik **50** eine entsprechende Treiberschaltung **53**, die von einem die einzustellende Lateralschwingungs-Erregerfrequenz  $f_{\text{excl}}$  repräsentierenden Lateralschwingungs-Frequenzstellsignal  $y_{\text{FML}}$  und von einem die einzustellende Lateralschwingungs-Amplitude des Erregerstroms  $i_{\text{exc}}$  und/oder des Lateral-Stromanteils  $i_{\text{excl}}$  repräsentierenden Lateralschwingungs-Amplitudenstellsignal  $y_{\text{AML}}$  sowie zumindest zeitweise von einem die einzustellende Torsionsschwingungs-Erregerfrequenz  $f_{\text{excT}}$  repräsentierenden Torsionsschwingungs-Frequenzstellsignal  $y_{\text{FMT}}$  und von einem die einzustellende Torsionsschwingungs-Amplitude des Erregerstroms  $i_{\text{exc}}$  und/oder des Torsions-Stromanteils  $i_{\text{excT}}$  repräsentierenden Torsionsschwingungs-Amplitudenstellsignal  $y_{\text{AMT}}$  gesteuert ist. Die Treiberschaltung **53** kann z.B. mittels eines spannungsgesteuerten Oszillators und eines nachgeschalteten Spannungszu-Stromwandler realisiert sein; anstelle eines analogen Oszillators kann aber z.B. auch ein numerisch gesteuerter digitaler Oszillator zum Einstellen des momentanen Erregerstroms  $i_{\text{exc}}$  oder der Anteile  $i_{\text{excl}}$ ,  $i_{\text{excT}}$  des Erregerstroms verwendet werden.

**[0062]** Zum Erzeugen des Lateralschwingungs-Amplitudenstellsignals  $y_{\text{AML}}$  und/oder Torsionsschwingungs-Amplitudenstellsignals  $y_{\text{AMT}}$  kann z.B. eine in die Meßgerät-Elektronik **50** integrierte Amplitudenregelschaltung **51** dienen, die anhand momentaner Amplituden wenigstens eines der beiden Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$ , gemessen bei der momentanen Lateralschwingungsfrequenz und/oder der momentanen Torsionsschwingungsfrequenz, sowie anhand entsprechender, konstanter oder variabler Amplitudenreferenzwerte für die Lateral- bzw. die Torsionsschwingungen  $W_B$ ,  $W_T$  die Amplitudenstellsignale  $y_{\text{AML}}$ ,  $y_{\text{AMT}}$  aktualisiert; ggf. können auch momentane Amplituden des Erregerstroms  $i_{\text{exc}}$  zur Generierung des Lateralschwingungs-Amplitudenstellsignals  $y_{\text{AML}}$  und/oder des Torsionsschwingungs-Amplitudenstellsignals  $y_{\text{AMT}}$  hinzugezogen werden. Aufbau und Wirkungsweise derartiger Amplitudenregelschaltungen sind dem Fachmann ebenfalls bekannt. Als ein Beispiel für eine solche Amplitudenregelschaltung sei ferner auf Meßumformer der Serie "PROMASS 83" verwiesen, wie sie von der Anmelderin beispielsweise in Verbindung mit Meßaufnehmern der Serie "PROMASS I" angeboten werden. Deren Amplitudenregelschaltung ist bevorzugt so ausgeführt, daß die lateralen Schwingungen des Meßrohrs **10** auf eine konstante, also auch von der Dichte,  $\rho$ , unabhängige, Amplitude geregelt werden.

**[0063]** Die Frequenzregelschaltung **52** und die Treiberschaltung **53** können z.B. als Phasen-Regelschleife ausgebildet sein, die in der dem Fachmann bekannten Weise dazu verwendet wird, anhand einer Phasendifferenz, gemessen zwischen wenigstens einem der Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$  und dem einzustellenden bzw. dem momentan gemessenen Erregerstrom  $i_{\text{exc}}$ , das Lateralschwingungs-Frequenzstellsignal  $y_{\text{FML}}$  und/oder das Torsionsschwingungs-Frequenzstellsignal  $y_{\text{FMT}}$  ständig auf die momentanen Eigenfrequenzen des Meßrohrs **10** abzugleichen. Der Aufbau und die Verwendung solcher Phasenregel-Schleifen zum Betreiben von Meßrohren auf einer ihrer mechanischen Eigenfrequenzen 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 vorgeschlagen sind. Ferner sei hinsichtlich einer Verwendung solcher Frequenzregelschaltungen für Meßaufnehmer vom Vibrationstyp auf die bereits erwähnten Meßumformer der Serie "PROMASS 83" verwiesen. Weitere als Treiberschaltung geeignete Schaltungen können beispielsweise auch der US-A 58 69 770 oder auch der US-A 65 05 519 entnommen werden.

**[0064]** Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Amplitudenregelschaltung **51** und die Frequenzregelschaltung **52**, wie in [Fig. 6](#) schematisch dargestellt, 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 dabei praktisch von selbst, daß die Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$  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. die Amplitudenstellsignale  $y_{AML}$ ,  $y_{AMT}$  oder die Frequenzstellsignale  $y_{FML}$ ,  $y_{FMT}$  ggf. in entsprechender Weise digital-zu-analog zu wandeln.

**[0065]** Wie in [Fig. 6](#) dargestellt, sind die, ggf. vorab geeignet konditionierten, Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$  ferner einer Meßschaltung **21** der Meßgerät-Elektronik zugeführt, die dazu dient anhand wenigstens eines der Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$  und/oder anhand des Erregerstroms  $i_{exc}$  den wenigstens einen Meßwert  $X_x$  zu erzeugen.

**[0066]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Meßschaltung **21** zumindest anteilig als Durchflußrechner ausgebildet und dient die Meßschaltung dazu, in der dem Fachmann an und für sich bekannten Weise anhand einer zwischen den bei zumindest anteilig lateralschwingendem Meßrohr **10** generierten Schwingungsmeßsignalen  $s_1$ ,  $s_2$  detektierten Phasendifferenz einen hier als Massendurchfluß-Meßwert  $X_m$  dienenden Meßwert erster Art zu ermitteln, der den zu messenden Massendurchfluß  $m$  möglichst genau repräsentiert. Als Meßschaltung **21** können hierbei in herkömmlichen Coriolis-Massendurchfluß-Meßgeräten bereits eingesetzte und etablierte, insb. digitale, Meßschaltungen dienen, die den Massendurchfluß anhand der Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$  ermitteln, vgl. hierzu insb. die eingangs erwähnte WO-A 02/37063, WO-A 99/39164, die US-A 56 48 616, die US-A 50 69 074. Selbstverständlich können auch andere dem Fachmann bekannte, für Coriolis-Massendurchfluß-Meßgeräte geeignete Meßschaltungen verwendet werden, die Phasen- und/oder Zeitdifferenzen zwischen Schwingungsmeßsignalen der beschriebenen Art messen und entsprechend auswerten. Des weiteren kann die Meßschaltung **21** auch dazu dienen, abgeleitet von einer, beispielsweise anhand wenigstens eines der Schwingungsmeßsignale  $s_1$ ,  $s_2$ , gemessenen Schwingungsfrequenz von Lateralschwingungen des wenigstens einen Meßrohrs **11** einen als Dichte-Meßwert  $X_p$  verwendbaren Meßwert zweiter Art zu generieren, der eine zu messende Dichte  $\rho$  des Mediums momentan repräsentiert. Infolgedessen, daß das gerade Meßrohr **10**, wie oben beschrieben, betriebsgemäß, simultan oder alternierend, lateral- und torsional schwingen gelassen wird, kann die Meßschaltung **21** ferner auch dazu verwendet werden, abgeleitet vom Erregerstrom  $i_{exc}$ , der bekanntlich auch als ein Maß für eine scheinbare Viskosität oder auch ein Viskositäts-Dichte-Produkt des im Meßrohr **11** geführten Mediums dienen kann, einen als Viskositäts-Meßwert  $X_\eta$  verwendbaren Meßwert dritter Art zu ermitteln, der eine Viskosität des Mediums momentan repräsentiert, vgl. hierzu auch die US-A 45 24 610, die WO-A 95 16 897 oder die US-B 66 51 513.

**[0067]** Es ist für den Fachmann dabei ohne weiteres klar, daß das In-Line-Meßgerät die einzelnen Meßwerte  $X_x$  [ $X_m$ ,  $X_p$ ,  $X_\eta$  ...] für die verschiedenen Meßgrößen  $x$  [ $m$ ,  $\rho$ ,  $\eta$  ...] sowohl jeweils in einem gemeinsamem Meßzyklus, also mit einer gleichen Aktualisierungsrate, als auch mit unterschiedlichen Aktualisierungsraten ermitteln kann. Beispielweise erfordert eine hochgenaue Messung des zumeist erheblich variierenden Massendurchflusses  $m$  üblicherweise eine sehr hohe Aktualisierungsrate, während die im Vergleich dazu über einen längeren Zeitraum zumeist eher wenig veränderliche Viskosität  $\eta$  des Mediums ggf. in größeren Zeitabständen aktualisiert werden kann. Des weiteren kann ohne weiteres vorausgesetzt werden, daß aktuell ermittelte Meßwerte  $X_x$  in der Meßgerät-Elektronik zwischengespeichert und so für nachfolgende Verwendungen vorgehalten werden können. In vorteilhafter Weise kann die Meßschaltung **21** desweiteren auch mittels des Signalprozessors DSP realisiert sein.

**[0068]** Wie bereits eingangs erwähnt, können sich an Rohrwänden, beispielsweise infolge von Sedimentationsprozessen, niederschlagende Beläge wie auch an der Rohrwand stattfindende Abrasion zu Verfälschungen der Meßergebnisse von In-Line-Meßgeräten führen. Während bei In-Line-Meßgeräten mit Vibrationsaufnehmer vornehmlich Veränderungen Rohrwand des Meßrohrs selbst Einfluß auf die Meßgenauigkeit haben, so können bei In-Line-Meßgeräten mit in hohem Maße vom Strömungsprofil abhängiger Meßgenauigkeit unerkannte Veränderungen an der Rohrwand der Mediums führenden Rohrleitung ebenfalls erhebliche Meßfehler verursachen. Überraschenderweise hat es sich allerdings gezeigt, daß bei Meßaufnehmern vom Vibrationstyp ein an der Rohrwand des Meßrohrs gebildeter Belag im besonderen die natürlichen Torsions-Eigenfrequenzen und insoweit auch die Torsionsschwingungsfrequenz  $f_{excT}$ , mit der das Meßrohr angeregt wird, beeinflusst, während die natürlichen Lateral-Eigenfrequenzen nahezu unbeeinflusst bleiben können, vgl. hierzu auch [Fig. 7](#). Gleichermaßen sensitiv ist die Torsionsschwingungsfrequenz  $f_{excT}$  aber auch gegenüber anderweitigen Veränderungen der Rohrwand des Meßrohrs, beispielsweise Materialreduktionen infolge von abrasiven Medien im Meßrohr.

**[0069]** Im Falle von Belagsbildung läßt sich dies anschaulich dadurch erklären, daß einerseits zwar die Dichte  $\rho_B$  des Belags  $B$  im zeitlichen Mittels im wesentlichen gleich mit einer gleichermaßen gemittelten Dichte des Mediums ist und insoweit die Lateralschwingungsfrequenz  $f_{excL}$  nicht im besonderen Maße sensitiv für solche

sich am Meßrohr absetzenden Beläge ist, daß aber durch den Belag B die Dicke der Rohrwand virtuell vergrößert und dadurch ein Massenträgheitsmoment des Meßrohrs um die Trägheitshauptachse signifikant verändert wird. Im Fall von Abrasionserscheinungen am Meßrohr wiederum ist die damit jeweils einhergehende Absenkung der momentanen Torsionseigenfrequenzen des Meßrohrs im Vergleich zu der bei neuem Meßgerät initial eingestellten Torsionseigenfrequenzen so ausgeprägt, daß zumindest im Torsions-Grundmode ein Unterschreiten einer vorab bestimmten niedrigsten plausiblen Torsionsschwingungsfrequenz als sehr robuster Indikator für Abrasionen am Meßrohr dienen kann. Daher ist beim erfindungsgemäßen In-Line-Meßgerät ferner vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik **2** basierend auf der wiederkehrend ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{\text{excT}}$ , der angeregten Torsionsschwingungen einen Betriebszustand des wenigstens einen Meßrohrs, insb. Belagsbefall und/oder Abrasion des Meßrohrs, überwacht und ggf. das Ergebnis dieser Überwachung auch bei der Ermittlung des jeweiligen Meßwerts  $X_x$  berücksichtigt. Der Betriebszustand des Meßrohrs kann dabei z.B. in einfacher Weise anhand einer relativen Änderung

$$\frac{f_{\text{excT}}^2}{f_{\text{excT},0}^2} - 1,$$

oder in vereinfachter, linearisierter Form

$$\frac{f_{\text{excT}}}{f_{\text{excT},0}} - 1 \quad (1)$$

der Torsions-Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  gegenüber einer Referenz-Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT},0}$  quantifiziert werden, die für einen gegebenen Meßaufnehmer mit nicht belegtem Meßrohr initial eingestellt ist, und inform eines den Betriebszustand des Meßrohrs repräsentierenden Zustandswerts darzustellen. Anstelle einer quasi direkten Messung der Torsions-Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  anhand wenigstens eines der Schwingungsmesssignale  $s_1, s_2$  kann die momentane Torsions-Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  beispielsweise auch vom in die Erregeranordnung momentan eingespeisten Erregersignal und/oder quasi indirekt anhand des erwähnten Torsionsschwingungs-Frequenzstellsignal  $y_{\text{FMT}}$ .

**[0070]** Nach einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Meßgerät-Elektronik **2** dafür ausgelegt, ein Ausmaß, insb. eine effektive Masse  $m_B$  und/oder eine mittlere Dicke  $d_B$ , eines am Meßrohr gebildeten Belags B zu ermitteln, zumindest aber die Anwesenheit vom am Meßrohr gebildetem Belag B zu detektieren. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  der Torsionsschwingungen einen, beispielsweise Alarm gebenden, Zustandswert  $Z_B$  erster Art ermittelt, der zumindest die Anwesenheit eines am Meßrohr gebildeten Belags B signalisiert. Beispielsweise kann dafür ein anhand der Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  ermittelter Belags-Meßwert  $X_B$  für den Belag mit einem oder auch mehreren vorab eingestellten plausiblen Grenzwerten verglichen werden und der Zustandswert  $Z_B$  von einem ersten Signalpegel auf einen zweiten Signalpegel umgesetzt werden, wenn Belags-Meßwert  $X_B$  einen dafür festgelegten Grenzwert entsprechend überschreitet. Für den Fall, daß der Belags-Meßwert  $X_B$  beispielsweise als ein Maß für die effektive Masse  $m_B$  des Belags B dienen soll, läßt sich ferner, zumindest unter der Annahme eines im wesentlichen homogenen und im wesentlichen gleichmäßig über das Meßrohr verteilten Belags B, ein weitgehend linearer Zusammenhang zwischen der momentan ermittelten Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  und der effektiven Masse  $m_B$  mit folgender mathematischen Beziehung sehr einfach darstellen:

$$X_B = K_B \cdot \left( \frac{f_{\text{excT}}^2}{f_{\text{excT},0}^2} - 1 \right) \quad (2)$$

**[0071]** Zumindest für Medien, die hinsichtlich ihrer Temperatur  $\vartheta$ , ihrer Dichte  $\rho$  und ihrer Viskosität  $\eta$  weitgehend konstant bleiben, ist auch der Koeffizient  $K_B$  praktisch eine Konstante, die vor oder während der Installation des In-Line-Meßgeräts entsprechend kalibriert und in der Meßgerät-Elektronik digital inform eines Festwerts  $K_{B,0}$  entsprechend gespeichert werden kann. Allerdings kann es zur Verbesserung der Genauigkeit, mit der der Belags-Meßwert  $X_B$  beispielsweise die effektiven Masse  $m_B$  oder eine davon abgeleitete Größe darstellen soll, erforderlich sein, den Koeffizient  $K_B$  mittels wenigstens eines der im Betrieb von In-Line-Meßgeräten der beschriebenen Art üblicherweise ohnehin gemessenen und/oder geregelten Betriebsparameter, wie z.B. der Meßrohrtemperatur, der Lateralschwingungsfrequenz  $f_{\text{excL}}$ , der Lateralschwingungsamplitude, der Erregerstromamplitude etc., an die sich ggf. ändernden Mediumseigenschaften, insb. die momentane Temperatur  $\vartheta$ , Dichte  $\rho$  und/oder Viskosität  $\eta$  etc., entsprechend anzupassen.

**[0072]** Im besonderen hat sich hierbei gezeigt, daß der gemäß Gl. (2) ermittelte Belags-Meßwert  $X_B$  unter Ver-

wendung des Dichte-Meßwerts  $X_\rho$  und des Viskositäts-Meßwerts  $X_\eta$  von dem momentan im wenigstens einen Meßrohr geführten Medium gemäß folgender Beziehung weitgehend unabhängig gemacht werden kann:

$$X_B = K_B \cdot \left( \frac{f_{\text{excT}}^2}{f_{\text{excT},0}^2} - 1 \right) - K_{B,0} \cdot \sqrt{X_\rho \cdot X_\eta} \quad (3).$$

**[0073]** Der Dichte-Meßwert  $X_\rho$  kann, wie bereits erwähnt, beispielsweise basierend auf der üblicherweise im Betrieb von In-Meßgeräten der beschriebenen Art ermittelten Lateralschwingungs-Frequenz  $f_{\text{excl}}$  und/oder z.B. anhand des Lateralschwingungs-Frequenzstellsignal  $y_{\text{FML}}$  in der Meßgerät-Elektronik berechnet werden. Gleichermaßen bekannt ist an und für sich auch die Ermittlung des Viskositäts-Meßwert  $X_\eta$  mittels eines In-Line-Meßgeräts der beschriebenen Art, beispielsweise anhand des Torsions-Stromanteils  $i_{\text{excT}}$ , ggf. auch unter Berücksichtigung der Torsionsschwingungs und/oder Lateralschwingungs-Amplitude, vgl. hierzu beispielsweise auch die eingangs erwähnten US-B 68 40 109, US-A 45 24 610 oder US-A 2004/0200268. Alternativ oder in Ergänzung zu der Viskosität des Mediums können beispielsweise auch die von dem im Meßrohr befindlichen Medium bewirkten Dämpfungen der Schwingungen des Meßrohrs, insb. die der Torsionsschwingungen, bei der Ermittlung des Belags-Meßwerts  $X_B$  entsprechend berücksichtigt werden.

**[0074]** Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, den Belags-Meßwert  $X_B$  in der Weise zu ermitteln, daß er als ein Maß für eine momentane Dicke  $d_B$  des am Meßrohr gebildeten Belags dienen kann. Dies kann beispielsweise durch eine geringfügige Modifikation der vorgenannten Gl. (2) erfolgen, indem bei der Ermittlung des Belags-Meßwert  $X_B$  eine Dichte  $\rho_B$  des Belags B entsprechend in die Berechnung mit berücksichtigt wird. Dies kann z.B. dadurch realisiert werden, daß bei weitgehend konstanten Prozeßbedingungen, insb. bei Medien mit weitgehend gleichbleibenden Eigenschaften, die vorab ermittelte Dichte  $\rho_B$  des Belags B mit in die als Festwert gespeicherte Kalibrierkonstante  $K_{B,0}$  direkt mit einfließen gelassen wird.

**[0075]** Nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist zur Verbesserung der Genauigkeit, mit der Belag B abgeschätzt werden soll, ferner jedoch vorgesehen, den erwähnten Koeffizienten  $K_B$  für die Ermittlung des Belags-Meßwert  $X_B$  wiederkehrend mittels eines aktualisierten Schätzwerts  $\hat{\rho}_B$  für die momentane Belags-Dichte  $\rho_B$  an die tatsächlichen Verhältnisse im Meßrohr möglichst gut anzupassen. Entsprechend ist der für die Umsetzung von Gl. (2) verwendete Koeffizienten  $K_B$  wie folgt zu modifizieren:

$$K_B = \frac{K'_B}{\hat{\rho}_B} \quad (4).$$

**[0076]** Als Schätzwert  $\hat{\rho}_B$  kann hierbei beispielsweise ein auf Prozeß-Erfahrungs- und/oder Prozeß-Historienwerten basierender Rechenwert dienen, der von der übergeordneten Meßwertverarbeitungseinheit entsprechend ermittelt und via Feldbussystem an das In-Line-Meßgerät übertragen ist. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann der Schätzwert  $\hat{\rho}_B$  aber auch direkt in der Meßgerät-Elektronik anhand von gemessenen Betriebsparametern ermittelt werden, beispielsweise anhand einer Vielzahl von Dichte-Meßwert  $X_\rho$  und/oder Viskositäts-Meßwert  $X_\eta$ , über einen längeren Zeitraum gespeicherten und/oder gemittelt worden sind.

**[0077]** Die vorgenannten, dem Erzeugen des Belags-Meßwerts  $X_B$ , des Koeffizient  $K_B$  und/oder dienenden mathematischen Funktionen, symbolisiert durch die Gln. (2) bis (4), können zumindest teilweise mittels des Signalprozessors DSP oder z.B. auch mittels des oben erwähnten Mikrocomputers **55** realisiert sein. 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 ausführbare Programm-Codes ist dem Fachmann an und für sich geläufig und bedarf daher – jedenfalls in Kenntnis der vorliegenden Erfindung – 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.

**[0078]** Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Meßgerät-Elektronik **2** dafür vorgesehen, anhand von Torsionsschwingungen des Meßrohrs ein Ausmaß einer am Meßrohr vorliegenden Abrasion A zu ermitteln, zumindest aber das Vorliegen von Abrasion am Meßrohr zu detektieren. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, daß die Meßgerät-Elektronik basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  der Torsionsschwingungen einen, beispielsweise Alarm gebenden, Zustandswert  $Z_A$  zweiter Art ermittelt, der zumindest das Vorliegen von Abrasion am Meßrohr signalisiert. Durch eine entsprechende Kalibration der Meßgerät-Elektronik **2** kann der so ermittelte Zustandswert  $Z_A$  zweiter Art dabei auch in der Weise ermittelt werden, daß er als Abrasions-Meßwert  $X_A$  dient, der ein Ausmaß der am Meß-



rohr vorliegenden Abrasion, insb. ein Defizit in einer momentanen Wandstärke der Rohrwand des Meßrohrs zu einer nominellen Wandstärke, repräsentiert.

**[0079]** In Anbetracht dessen, daß in eher seltenen Anwendungsfällen solche Applikationen zu beherrschen sind, bei denen sowohl eine ausgeprägte Belagsbildung als auch gleichermaßen signifikante Abrasionserscheinungen an Rohrwänden zu erwarten sind, kann die Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  der angeregten Torsionsschwingungen zumindest unter Berücksichtigung dementsprechender Zusatzinformation über die jeweilige Applikation durchaus als eindeutiger Indikator für Belagsbildung oder Abrasion angesehen werden. Dies trifft zumindest ab einem gewissen Grade der Abrasion praktisch in jedem Fall zu, da jedwede weitergehende Abrasion zu einer derart erheblichen Absenkung der betrachteten Eigenfrequenzen der Torsionsschwingungen führt, die zumindest nicht mehr durch Belagsbildung plausibel erklärbar wäre. Dementsprechend ist nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß in der Meßgerät-Elektronik ein erster Zustands-Grenzwert  $G_A$  für die gemessene Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  abgespeichert ist, bei dessen Unterschreiten durch die gemessene Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  von der Meßgerät-Elektronik ein erhöhte Abrasion signalisierender Alarm ausgegeben wird. Ferner ist ein zweiter Zustands-Grenzwert  $G_{A/B}$  in der Meßgerät-Elektronik abgespeichert, der eine Torsionsschwingungsfrequenz repräsentiert, die höher ist als die durch den ersten Zustands-Grenzwert  $G_A$  repräsentierte. Bei Unterschreiten dieses zweiten Zustands-Grenzwert  $G_{A/B}$  wird von der Meßgerät-Elektronik, für den Fall, daß das In-Line-Meßgerät in einer zu erhöhtem Belag neigenden Applikation eingesetzt ist, eine beginnende oder fortschreitende Belagsbildung signalisierender Alarm ausgegeben; für den Fall, daß das In-Line-Meßgerät in einer zu erhöhter Abrasion neigenden Applikation eingesetzt ist, wird dann dementsprechend ein beginnende oder fortschreitende Abrasion signalisierender Alarm ausgegeben.

**[0080]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird von der Meßgerät-Elektronik anhand einer Vielzahl von über einen längeren Betriebszeitraum gespeicherten und/oder zeitlich gemittelten digitalen Datenwerten für die gemessene Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  und/oder anhand einer Vielzahl von über einen längeren Betriebszeitraum gespeicherten und/oder zeitlich gemittelten digitalen Datenwerten für den Betriebszustand des wenigstens einen Meßrohrs anzeigende Zustandswerte eine Restlaufzeit für das In-Line-Meßgerät oder zumindest für das Meßrohr prädiktiv abgeschätzt.

**[0081]** Unter Einbeziehung von die jeweilige Anlage und die darin jeweils geführten Medien betreffender Betriebserfahrung kann ausgehend von dem in der oben beschriebenen Weise zunächst für die Überwachung des In-Line-Meßgeräts selbst ermitteltem Betriebszustand des wenigstens einen Meßrohrs aber auch auf einen momentanen und/oder voraussichtlichen Betriebszustand zumindest von ausgewählten Abschnitten der an das In-Line-Meßgerät angeschlossen Rohrleitung zurückgeschlossen werden, insb. von solchen Rohrwänden, die vom im In-Line-Meßgerät strömenden Medium betriebsgemäß kontaktiert sind. Demgemäß ist nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß basierend auf der in der oben beschriebenen Weise ermittelten und ausgewerteten Schwingungsfrequenz,  $f_{\text{excT}}$ , der Torsionsschwingungen mittels der Meßgerät-Elektronik ferner einen Betriebszustand zumindest eines ausgewählten, sich zumindest anteilig auch über die an das In-Line-Meßgerät angeschlossen Rohrleitung erstreckenden Abschnitts der Rohrwand überwacht. Dementsprechend können die für die Ermittlung der oben erwähnten Zustandswerte  $Z_A$  und/oder  $Z_B$  eingesetzten Auswerteverfahren so modifiziert werden, daß die das Abrasions- und/oder Belagsverhalten der Rohrleitung entsprechend mitberücksichtigende Betriebserfahrung in die auf der Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  beruhende Berechnungen der Zustandswerte  $Z_A$  und/oder  $Z_B$  mit einfließen gelassen wird, beispielsweise in Form eines entsprechend zeitvarianten, ggf. ereignisgesteuerten Koeffizient  $K_B(t)$  in Gln. (2), (3) und/oder (4). Demgemäß ermittelt die Meßgerät-Elektronik nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung die Zustandswerte  $Z_A$  und/oder  $Z_B$  in der Weise, daß der darüber jeweils ausgewählte Abschnitt der Rohrwand zumindest nicht ausschließlich der Rohrwand des Meßrohrs entspricht, sondern zumindest anteilig auch einem Abschnitt der Rohrwand der Rohrleitung, die das mittels des In-Line-Meßgeräts zu messende Medium führt. Entsprechend kann der Zustandswert  $Z_B$  erster Art zumindest die Anwesenheit von Belag in der Rohrleitung signalisieren und kann der Zustandswert  $Z_A$  zweiter Art zumindest das Vorliegen von Abrasionen in der Rohrleitung signalisieren. Darüberhinaus kann der Zustandswert  $Z_B$  erster Art aber auch das Ausmaß der Belagsbildung in der Rohrleitung, beispielsweise hinsichtlich der Dicke des Belags oder der Masse des Belags, anzeigen oder kann der Zustandswert  $Z_A$  zweiter Art das Ausmaß der an Rohrwand zumindest abschnittsweise vorliegenden Abrasion, insb. ein Defizit in einer momentanen Wandstärke der Rohrwand zu einer nominellen Wandstärke, repräsentieren.

**[0082]** Obwohl bei In-Line-Meßgeräten der beschriebenen Art mit einem Meßaufnehmer vom Vibrationsstyp sich am Meßrohr bildende Beläge zumeist nur einen eher geringen Einfluß auf die Meßgenauigkeit haben, mit der der Massendurchfluß  $m$  ermittelt wird, so können solche Beläge am Meßrohr aber durchaus einen erheblichen Einfluß auf die Meßgenauigkeit haben, mit der beispielsweise die Dichte  $\rho$  und/oder die Viskosität  $\eta$  er-

mittelt werden. Gleichmaßen können bei In-Line-Meßgeräten der beschriebenen Art aber auch Abrasionserscheinungen zu erhöhten Meßfehlern führen, zumindest hier im besonderen aber auch bei der Ermittlung des Massendurchflusses  $m$ . Generell ist somit davon auszugehen, daß Belagsbildung wie auch Abrasionserscheinungen dazu führen können, daß ein in herkömmlicher Weise unter Annahme eines unveränderten Meßrohrs ermittelte Meßwert noch nicht ausreichend genau mit der tatsächlichen Meßgröße  $x$ , beispielsweise der tatsächlichen Dichte  $\rho$ , übereinstimmt, daß also der Meßwert dementsprechend korrigiert werden muß.

**[0083]** Demgemäß generiert die Meßgerät-Elektronik **2** nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung in herkömmlicher Weise einen praktisch als ein Initial- oder auch Anfangsmesswert dienenden Meßwert  $X'_x$ , der die zu messende physikalische Meßgröße  $x$  vorläufig repräsentiert oder zumindest mit dieser korrespondiert. In Anbetracht des sehr umfangreichen und sehr detailliert dokumentierten Standes der Technik kann ohne weiteres davon ausgegangen werden, dass die Ermittlung des Anfangsmesswerts  $X'_x$ , der praktisch dem in herkömmlicher Weise generierten Meßwert entspricht, keinerlei Schwierigkeiten für den Fachmann darstellt, so daß für die weitere Erläuterung der Erfindung der Anfangsmesswert  $X'_x$  als gegeben vorausgesetzt werden kann. Ferner generiert die Meßgerät-Elektronik wenigstens einen den oben genannten Betriebszustand des Meßrohrs, beispielsweise also den am Meßrohr gebildeten Belag  $B$ , berücksichtigenden Korrekturwert  $X_K$  für den initialen Meßwert  $X'_x$  basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  der Torsionsschwingungen. Aus diesem initialen Meßwert  $X'_x$  wiederum wird mittels der Auswerte-Elektronik **21** schließlich unter Verwendung des wenigstens einen Korrekturwerts  $X_K$  der die physikalische Meßgröße  $x$  ausreichend genau repräsentierende, beispielsweise als Massendurchfluß-Meßwert, als Dichte-Meßwert oder als Viskositäts-Meßwert dienende, Meßwert  $X_x$  abgeleitet. Die Korrektur des Zwischenwerts  $X'_x$  anhand des Korrekturwerts  $X_K$  wie auch die Generierung des Meßwerts  $X_x$  kann in der Meßgerät-Elektronik beispielsweise basierend auf der mathematischen Beziehung

$$X_x = (1 + X_K) \cdot X'_x \quad (5)$$

erfolgen.

**[0084]** Nach einer Weiterbildung der Erfindung wird der zur Bestimmung des momentan geeigneten Korrekturwerts  $X_K$  im Betrieb ausgehend von der aktuellen Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  der Torsionsschwingungen des Meßrohrs dadurch praktisch direkt ermittelt, dass in der Meßgerät-Elektronik eine eindeutige Beziehung zwischen einem Frequenzwert der Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  und dem dazu passenden Korrekturwerts  $X_K$  einprogrammiert ist. Hierzu weist die Meßgerät-Elektronik **2** ferner einen Tabellenspeicher auf, in dem ein Satz vorab, beispielsweise bei der Kalibrierung des In-Line-Meßgeräts, ermittelter digitaler Korrekturwerte  $X_{K,i}$  abgelegt ist. Auf diese Korrekturwerte  $X_{K,i}$  wird von der Meßschaltung über eine mittels des momentan gültigen Frequenzwert der Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  ermittelte Speicheradresse praktisch direkt zugegriffen. Der Korrekturwert  $X_K$  kann z.B. dadurch in einfacher Weise ermittelt werden, daß ein Frequenzwert der Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  mit entsprechenden im Tabellenspeicher eingetragenen Vorgabewerten dafür verglichen und daraufhin derjenige Korrekturwert  $X_{K,i}$  ausgelesen, also von der Auswerte-Elektronik **2** für die weitere Berechnung verwendet wird, der mit dem der momentanen Konstellation am nächsten kommenden Vorgabewert korrespondiert. Als Tabellenspeicher kann ein programmierbarer Festwertspeicher, also ein FPGA (field programmable gate array), ein EPROM oder ein EEPROM, dienen. Die Verwendung eines solchen Tabellenspeicher hat u.a. den Vorteil, daß der Korrekturwert  $X_K$  nach der Ermittlung der aktuellen Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  zur Laufzeit sehr rasch zur Verfügung steht. Zu dem können die in den Tabellenspeicher eingetragenen Korrekturwerte  $X_{K,i}$  anhand von wenigen Kalibriermessungen vorab sehr genau, z.B. basierend auf den Gln. (2), (3) und/oder (4) und unter Anwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, ermittelt werden.

**[0085]** Wie sich aus den voranstehenden Ausführungen ohne weiters erkennen lässt, kann eine Korrektur des Anfangsmesswerts  $X'_x$  einerseits unter Verwendung weniger, sehr einfach zu bestimmender Korrekturfaktoren vorgenommen werden. Andererseits kann die Korrektur unter Verwendung der Schwingungsfrequenz  $f_{\text{excT}}$  mit einem sehr geringen Rechenaufwand durchgeführt werden. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist ferner auch darin zu sehen, dass zumindest einige der vorbeschriebenen Korrekturfaktoren ohne weiteres von den beispielsweise von den im Betrieb von In-Line-Meßgeräten der beschriebenen Art üblicherweise direkt gemessenen Betriebsparametern selbst abgeleitet und somit praktisch ohne deutliche Erhöhung des schaltungs- und meßtechnischen Aufwands generiert werden können.

### Patentansprüche

1. In-Line-Meßgerät, insb. Coriolis-Massendurchfluß-/Dichtemessgerät und/oder Viskositätsmeßgerät, zum Meßen wenigstens einer physikalischen Meßgröße  $x$ , insb. eines Massendurchflusses,  $m$ , einer Dichte,  $\rho$ ,

und/oder einer Viskosität,  $\eta$ , eines in einer Rohrleitung geführten Mediums, welches In-Line-Meßgerät einen Meßaufnehmer (1) vom Vibrationstyp sowie eine mit dem Meßaufnehmer elektrisch gekoppelte Meßgerät-Elektronik (2) umfaßt,

– wobei der Meßaufnehmer (1) aufweist:

-- mindestens ein dem Führen des zu messenden Mediums dienendes im wesentlichen gerades Meßrohr (10), das mit der angeschlossenen Rohrleitung kommuniziert,

-- eine auf das Meßrohr (10) einwirkende Erregeranordnung (40) zum Vibrierenlassen des wenigstens einen Meßrohrs (10), die das Meßrohr (10) im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in Torsionsschwingungen um eine ein Einlassende des Meßrohrs und ein Auslassende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Torsionsschwingungsachse versetzt, sowie

--eine Sensoranordnung (50) zum Erfassen von Vibrationen des wenigstens einen Meßrohrs (10), die wenigstens ein Schwingungen des Meßrohrs (10) repräsentierendes Schwingungsmeßsignal ( $s_1, s_2$ ) liefert,

– wobei die Meßgerät-Elektronik (2)

-- zumindest zeitweise ein die Erregeranordnung (40) treibendes Erregersignal ( $i_{exc}$ ) liefert und

-- mittels des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals ( $s_1, s_2$ ) und/oder mittels des Erregerssignals ( $i_{exc}$ ) zumindest zeitweise wenigstens einen Meßwert ( $X_x$ ) generiert, der die wenigstens eine zu messende physikalische Meßgröße, insb. den Massendurchfluß,  $m$ , die Dichte,  $\rho$ , oder die Viskosität,  $\eta$ , des Mediums, repräsentiert, und

– wobei die Meßgerät-Elektronik (2) anhand des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals ( $s_1, s_2$ ) und/oder anhand des Erregerssignals ( $i_{exc}$ ) wiederkehrend eine Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen des Meßrohrs (10) ermittelt und basierend auf der Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen wenigstens einen Betriebszustand des wenigstens einen Meßrohrs überwacht.

2. In-Line-Meßgerät nach Anspruch 1, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen zumindest die Anwesenheit eines am Meßrohr gebildeten Belags detektiert.

3. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen ein Ausmaß des am Meßrohr gebildeten Belags ermittelt.

4. In-Line-Meßgerät nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen wenigsten einen Zustandswert erster Art ermittelt, der zumindest die Anwesenheit eines am Meßrohr gebildeten Belags signalisiert.

5. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei der von der Meßgerät-Elektronik (2) ermittelte Zustandswert erster Art ein Ausmaß des am Meßrohr gebildeten Belags, insb. eine Dicke des Belags oder eine Masse des Belags, repräsentiert.

6. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) zumindest den Zustandswert erster Art auch unter Berücksichtigung einer Dichte,  $\rho$ , des Mediums ermittelt.

7. In-Line-Meßgerät nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) den Zustandswert erster Art auch unter Berücksichtigung einer Viskosität,  $n$ , des Mediums ermittelt.

8. In-Line-Meßgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen Abrasionen des Meßrohrs detektiert.

9. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen ein Ausmaß der am Meßrohr vorliegenden Abrasion ermittelt.

10. In-Line-Meßgerät nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Meßgerät-Elektronik (2) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen wenigsten einen Zustandswert zweiter Art ermittelt, der zumindest das Vorliegen von Abrasionen des Meßrohrs signalisiert.

11. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei der von der Meßgerät-Elektronik (2) ermittelte Zustandswert zweiter Art ein Ausmaß des am Meßrohr vorliegenden Abrasion, insb. ein Defizit in einer momentanen Wandstärke der Rohrwand des Meßrohrs zu einer nominellen Wandstärke, repräsentiert.

12. In-Line-Meßgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die gedachte Torsionsschwingungsachse im wesentlichen parallel zu einer Trägheitshauptachse des Meßrohrs (**10**) ausgerichtet ist.
13. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die gedachte Torsionsschwingungsachse im wesentlichen mit der Trägheitshauptachse des Meßrohrs (**10**) konizidert.
14. In-Line-Meßgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Erregeranordnung (**40**) das Meßrohr (**10**) im Betrieb zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig in Lateralschwingungen, insb. Biegeschwingungen, um eine das Einlaßende des Meßrohrs und das Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Lateralschwingungsachse versetzt.
15. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die gedachte Lateralschwingungsachse im wesentlichen parallel zur Torsionsschwingungsachse ausgerichtet ist.
16. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die gedachte Lateralschwingungsachse im wesentlichen mit der Torsionsschwingungsachse konizidert.
17. In-Line-Meßgerät nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei die Erregeranordnung (**40**) das Meßrohr (**10**) im Betrieb alternierend in Torsionsschwingungen oder Lateralschwingungen versetzt.
18. In-Line-Meßgerät nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei die Erregeranordnung (**40**) das Meßrohr (**10**) im Betrieb zumindest zeitweise simultan in Torsionsschwingungen und Lateralschwingungen versetzt, so daß Torsionsschwingungen und Lateralschwingungen einander überlagern.
19. In-Line-Meßgerät nach einem der Ansprüche 14 bis 18, wobei die Meßgerät-Elektronik (**2**) anhand des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals ( $s_1$ ,  $s_2$ ) und/oder anhand des Erregersignals ( $i_{exc}$ ) wiederkehrend eine Schwingungsfrequenz,  $f_{excl}$ , der Lateralschwingungen des Meßrohrs (**10**) ermittelt.
20. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei es sich bei dem wenigstens einen Meßwert ( $X_x$ ) um einen Dichte-Meßwert handelt, der eine zu messende Dichte,  $\rho$ , des Mediums repräsentiert, und wobei die Meßgerät-Elektronik (**2**) den wenigstens einen Meßwert ( $X_x$ ) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excl}$ , der Lateralschwingungen generiert.
21. In-Line-Meßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei es sich bei dem wenigstens einen Meßwert ( $X_x$ ) um einen Viskositäts-Meßwert handelt, der eine zu messende Viskosität,  $\eta$ , des Mediums repräsentiert.
22. In-Line-Meßgerät nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßgerät-Elektronik (**2**) den wenigstens einen Meßwert ( $X_x$ ) basierend auf einer vom Medium abhängigen Dämpfung von Schwingungen des Meßrohrs (**10**) ermittelt unter Verwendung des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals ( $s_1$ ,  $s_2$ ) und/oder des Erregersignals ( $i_{exc}$ ).
23. In-Line-Meßgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßgerät-Elektronik (**2**) basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{excT}$ , der Torsionsschwingungen wenigstens einen den am Meßrohr gebildeten Belag berücksichtigenden Korrekturwert ermittelt, und wobei die Meßgerät-Elektronik (**2**) den wenigstens einen Meßwert ( $X_x$ ) auch unter Verwendung des wenigstens einen Korrekturwerts generiert.
24. Verfahren zum Überwachen eines Betriebszustandes einer Rohrwand, die von einem zumindest zeitweise strömenden Medium kontaktiert und infolgedessen zumindest abschnittsweise Veränderungen unterworfen ist, mittels eines In-Line-Meßgeräts mit einem Meßaufnehmer (**1**) vom Vibrationstyp, insb. mittels eines Coriolis-Massendurchflußmeßgeräts, und einer mit dem Meßaufnehmer (**1**) elektrisch gekoppelten Meßgerät-Elektronik (**2**), welches Verfahren folgende Schritte umfasst:
- Strömenlassen des Mediums durch wenigstens ein Meßrohr (**10**) des Meßaufnehmers (**1**), das mit einer an den Meßaufnehmer angeschlossenen, das Medium führenden Rohrleitung kommuniziert, und Einspeisen eines Erregersignals ( $i_{exc}$ ) in eine mit dem Meßrohr (**10**) mechanisch gekoppelte Erregeranordnung (**40**) zum Bewirken von Torsionsschwingungen des Meßrohrs (**10**) um eine ein Einlaßende des Meßrohrs und ein Auslaßende des Meßrohrs imaginär miteinander verbindende Torsionsschwingungsachse,
  - Erfassen von Vibrationen des Meßrohrs (**10**) zum Erzeugen wenigstens eines Torsionsschwingungen des Meßrohrs (**10**) zumindest anteilig repräsentierenden Schwingungsmeßsignals ( $s_1$ ,  $s_2$ ) und Verwenden des wenigstens einen Schwingungsmeßsignals ( $s_1$ ,  $s_2$ ) und/oder des Erregersignals ( $i_{exc}$ ) zum Ermitteln einer Schwin-

gungsfrequenz,  $f_{\text{excT}}$ , der Torsionsschwingungen des Meßrohrs (**10**), sowie  
– Erzeugen eines den Betriebszustand der Rohrwand repräsentierenden Zustandswerts basierend auf der ermittelten Schwingungsfrequenz,  $f_{\text{excT}}$ , der Torsionsschwingungen.

25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei der Zustandswert zumindest die Anwesenheit von Belag an zumindest einem Abschnitt der Rohrwand signalisiert.

26. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, wobei der Zustandswert ein Ausmaß des an der Rohrwand zumindest abschnittsweise gebildeten Belags, insb. eine Dicke des Belags oder eine Masse des Belags, repräsentiert.

27. Verfahren nach Anspruch 24, wobei der Zustandswert zumindest die zumindest das Vorliegen von Abrasionen an zumindest einem Abschnitt der Rohrwand signalisiert.

28. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, wobei der Zustandswert ein Ausmaß der an Rohrwand zumindest abschnittsweise vorliegenden Abrasion, insb. ein Defizit in einer momentanen Wandstärke der Rohrwand zu einer nominellen Wandstärke, repräsentiert.

29. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei sich der überwachte Abschnitt der Rohrwand zumindest anteilig über das Meßrohr erstreckt.

30. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei sich der überwachte Abschnitt der Rohrwand zumindest anteilig über die an den Meßaufnehmer angeschlossene Rohrleitung erstreckt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

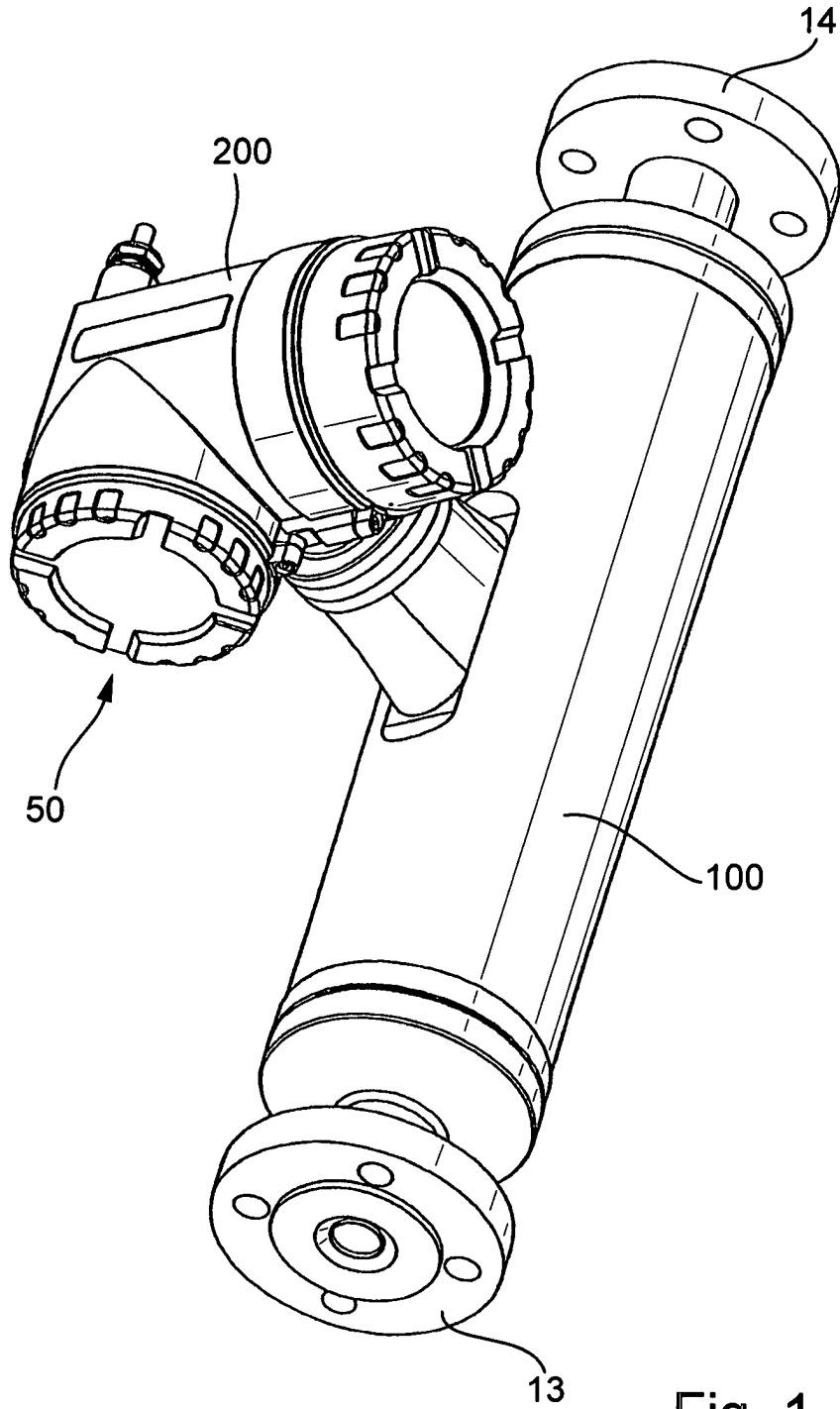


Fig. 1

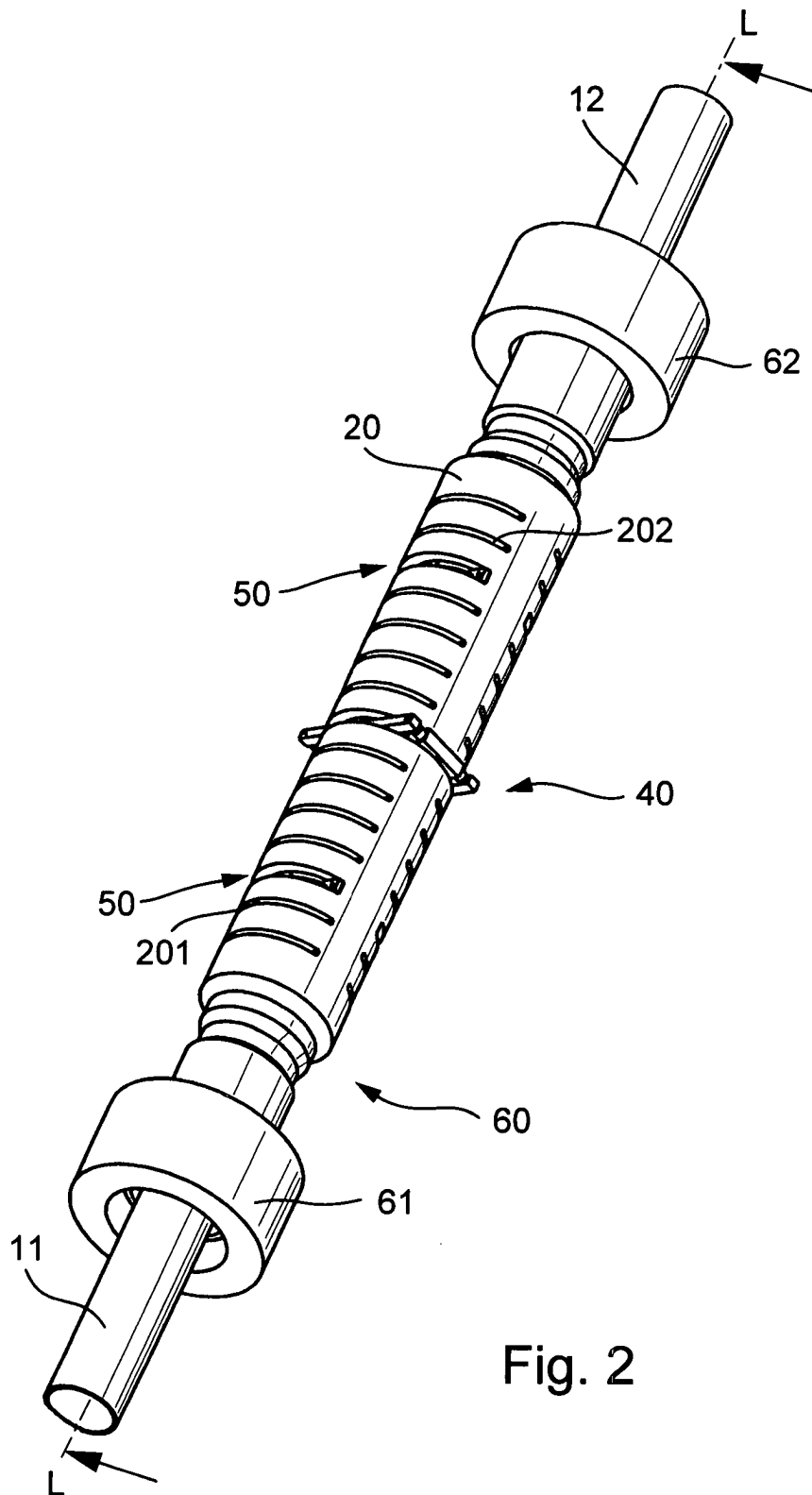


Fig. 2

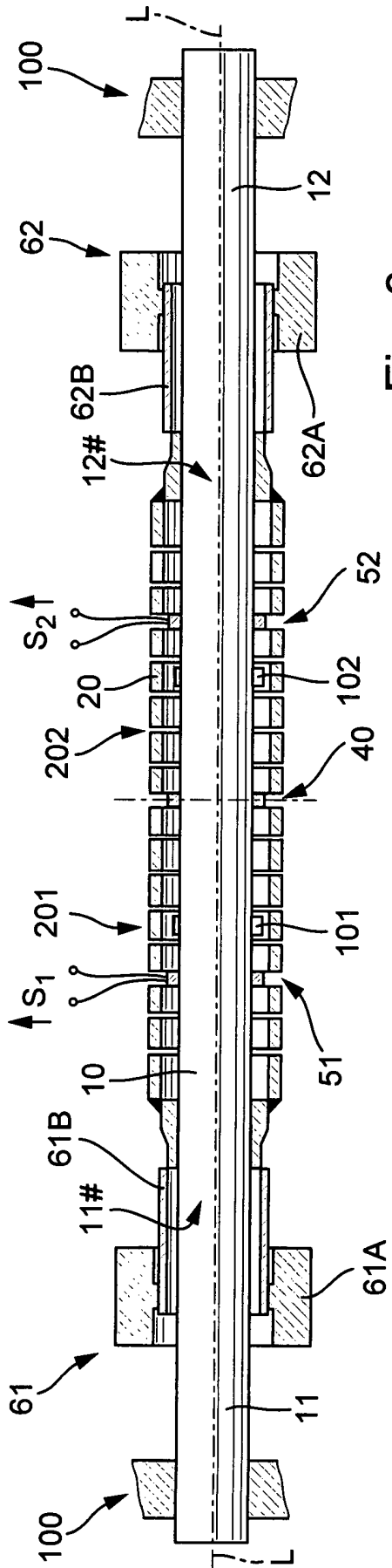


Fig. 3

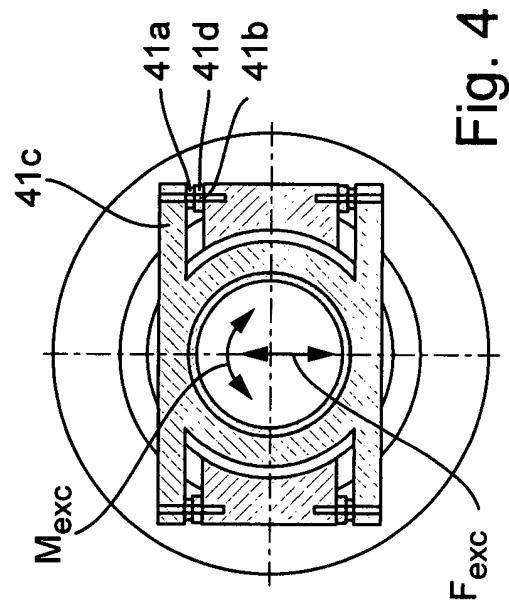


Fig. 4

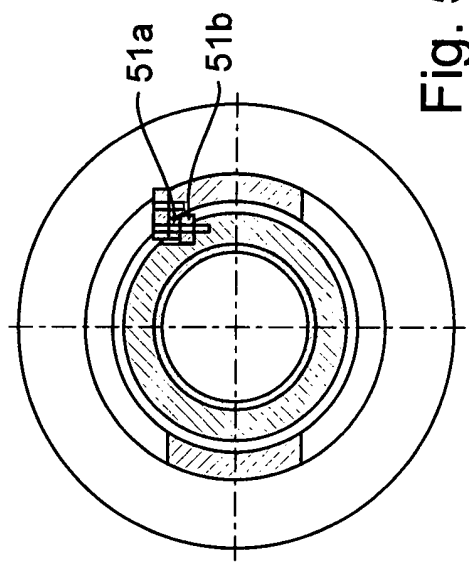


Fig. 5



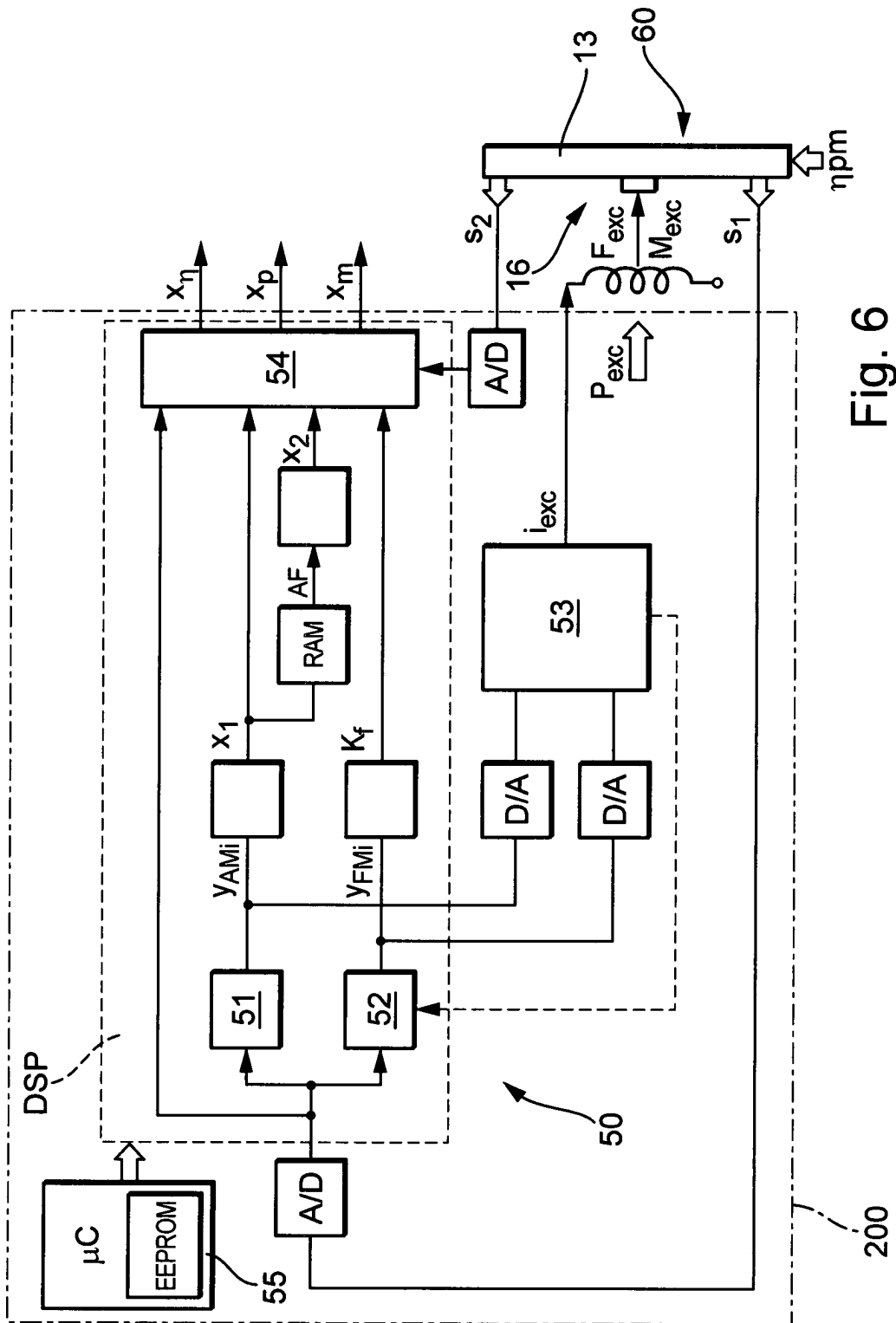


Fig. 6

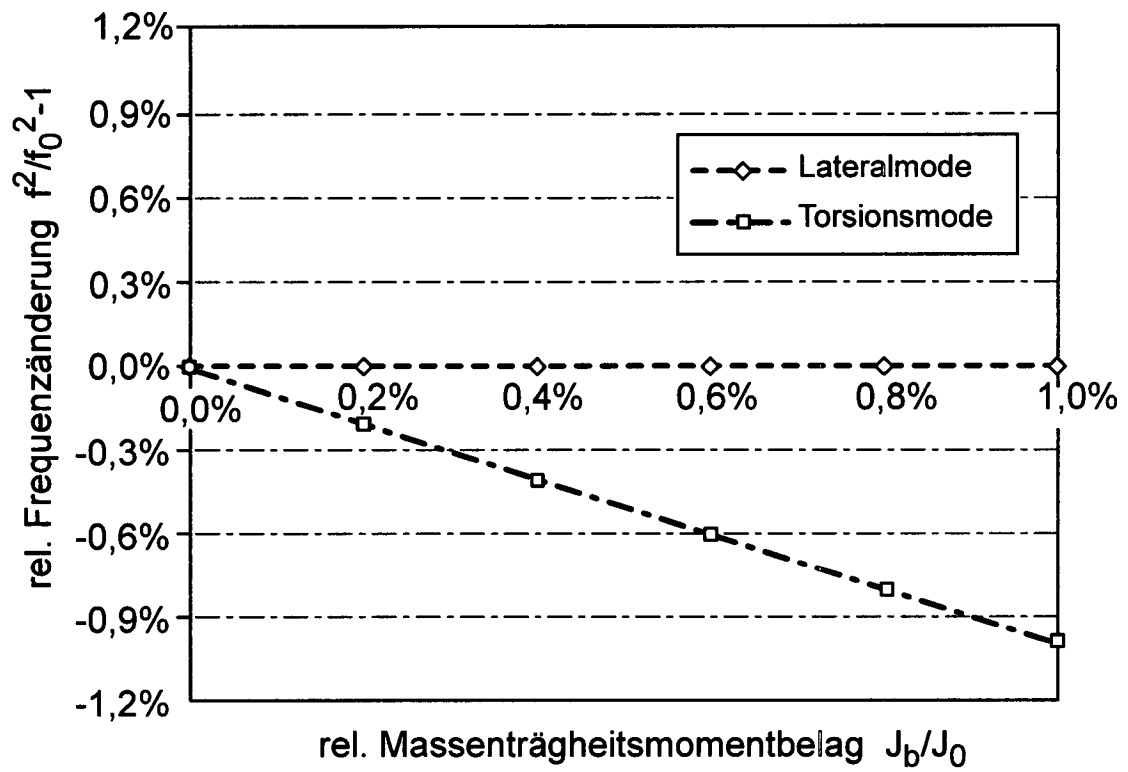


Fig. 7