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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

PCT

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Januar 2009 (08.01.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/003961 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/058319

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Juni 2008 (27.06.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102007030691.3 30. Juni 2007 (30.06.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **ENDRESS+HAUSER FLOWTEC AG** [CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **HÖCKER, Rainer** [DE/DE]; Kalvarienbergstrasse 22, 79761 Waldshut (DE).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; c/o Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

(54) **Title:** MEASURING SYSTEM FOR A MEDIUM FLOWING IN A PROCESS LINE

(54) **Bezeichnung:** MEßSYSTEM FÜR EIN IN EINER PROZEßLEITUNG STRÖMENDES MEDIUM

(57) **Abstract:** The invention relates to a measuring system for measuring a density of a medium flowing in a process line, said medium being variable regarding its thermodynamic state, especially at least being compressible, along an imaginary axis of flow of the measuring system. The measuring system comprises at least one temperature sensor that is located in a temperature measuring point and that primarily reacts to a local temperature, *9*, of a medium flowing past, said temperature sensor supplying at least one temperature measurement signal that is influenced by the local temperature of the medium to be measured, at least one pressure sensor that is located in a pressure measuring point and that primarily reacts to a local, especially static, pressure, p, of a medium flowing past, said pressure sensor supplying at least one pressure measurement signal that is influenced by the local pressure, p, in the medium to be measured, and at least one electronic measuring unit that at least temporarily communicates with at least the temperature sensor and the pressure sensor. The electronic measuring unit generates at least temporarily an especially digital, density value, using the temperature measurement signal and at least the pressure measurement signal, said density value momentarily representing a local density, ρ, which the flowing medium has in an especially stationary, virtual density measuring point that is interspaced from the pressure measuring point and/or the temperature measuring point along the axis of flow at a defined distance.

(57) **Zusammenfassung:** Das Meßsystem dient dem Messen einer Dichte eines in einer Prozeßleitung strömenden, entlang einer gedachten Strömungsachse des Meßsystems hinsichtlich eines thermodynamischen Zustandes veränderlichen, insb. zumindest anteilig kompressiblen, Mediums. Das Meßsystem umfaßt dafür wenigstens einen an einer Temperaturmeßstelle plazierten, primär auf eine lokale Temperatur, *9*, von vorbei strömendem Medium reagierenden Temperatursensor, der wenigstens ein von der lokalen Temperatur des zu messenden Mediums beeinflußtes Temperaturmeßsignal liefert, wenigstens einen an einer Druckmeßstelle plazierten, primär auf einen lokalen, insb. statischen, Druck, p, von vorbei strömendem Medium reagierenden Drucksensor, der wenigstens ein vom lokalen Druck, p, im zu messenden Medium beeinflußtes Druckmeßsignal liefert, sowie eine mit wenigstens dem Temperatursensor und dem Drucksensor jeweils zumindest zeitweise kommunizierende Meßelektronik. Die Meßelektronik erzeugt unter Verwendung sowohl des Temperaturmeßsignals als auch zumindest des Druckmeßsignals zumindest zeitweise wenigstens einen, insb. digitalen, Dichte-Meßwert, der eine lokale Dichte, ρ, momentan repräsentiert, die das strömende Medium an einer von der Druckmeßstelle und/oder der Temperaturmeßstelle entlang der Strömungsachse vorgebbar beabstandeten, insb. ortsfesten, virtuellen Dichtemeßstelle aufweist.

WO 2009/003961 A2

Beschreibung

Meßsystem für ein in einer Prozeßleitung strömendes Medium

[0001] Die Erfindung betrifft ein Meßsystem zum Messen einer Dichte eines in einer Prozeßleitung strömenden, entlang einer gedachten Strömungsachse des Meßsystems hinsichtlich eines thermodynamischen Zustandes veränderlichen, insb. zumindest anteilig kompressiblen, Mediums mittels eines Temperatursensors, eines Drucksensors sowie einer mit Temperatur- und Drucksensor jeweils zumindest zeitweise kommunizierende Meßelektronik, die zumindest zeitweise wenigstens einen Dichte-Meßwert erzeugt, der eine lokale Dichte des strömenden Mediums möglichst genau repräsentiert.

[0002] Zur Erfassung von prozeßbeschreibenden Meßgrößen strömender Medien, wie der thermodynamischen Zustandsgröße Dichte oder davon abgeleiteten Meßgrößen, und zur Erzeugung von die selbige Meßgröße entsprechend repräsentierenden Meßwerte werden in der industriellen Prozeß-Meßtechnik, insb. auch im Zusammenhang mit der Automatisierung chemischer oder verfahrenstechnischer Prozesse, prozeßnah installierte Meßsysteme verwendet, die oftmals mittels zweier oder mehrerer miteinander kommunizierenden, jeweils direkt an oder in einer von Medium durchströmten Prozeßleitung angebrachten eigenständiger Feldmeßgeräten gebildet sind. Die zu erfassenden Meßgrößen können neben der Dichte beispielsweise auch andere, insb. sensorisch erfaßbar und insoweit direkt meßbare, thermodynamischen Zustandsgrößen wie z.B. Druck oder Temperatur, direkt oder indirekt meßbare Strömungsparameter, wie z.B. eine Strömungsgeschwindigkeit, ein Volumendurchfluß oder ein Massendurchfluß, oder andere komplexe Transportgrößen, wie z.B. ein Wärmefluß, wie auch weitere mediumsspezifische Meßgrößen, wie z.B. eine Viskosität, von einem zumindest anteilig flüssigen, pulver-, oder gasförmigen Medium sein, das in einer, beispielsweise als Rohrleitung ausgebildeten, Prozeßleitung entsprechend geführt wird.

[0003] Besonders für die indirekte - im folgenden daher auch als virtuell bezeichnete - Messung der Dichte, basierend auf mittels entsprechender

Sensoren generierten Druck- und Temperatur-Meßsignalen, wie auch allfällig davon abgeleiten Meßgrößen, beispielsweise dem Massendurchfluß oder dem Volumendurchfluß, haben sich zahlreiche industrielle Standards etabliert, die eine weitgehend genormte, insoweit vergleichbare Berechnung empfehlen, insb. auch unter Verwendung direkt erfaßter und insoweit real gemessener Temperaturen und/oder Drücke, und die je nach Anwendungsbereich und Medium ihre Anwendung finden. Als Beispiele für solche Standards seien exemplarisch der Industrie-Standard "IAWPS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam", International Association for the Properties of Water and Steam (IAWPS-IF97), "A.G.A. Manual for the Determination of Supercompressibility Factors for Natural Gas – PAR Research Project NX-19", Amercian Gas Association (AGA-NX19, Library of Congress No. 63-23358), der Internationale Standard ISO 12213:2006, Part 1 - 3 "Natural gas – Calculation of compressin factor", wie auch die darin zitierten A.G.A. Compressibility Factors for Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases", Amercian Gas Association Transmission Measurement Committee Report No. 8 (AGA-8) und "High Accuracy Compressibility Factor Calculation for Natural Gases and Similar Mixtures by Use of a Truncated Viral Equation", GERG Technical Monograph TM2 1998 & Fortschritt-Berichte VDI, Series 6, No. 231 1989 (SGERG-88) genannt.

[0004] Oftmals dient die Ermittlung der Dichte weiterführend auch dazu, einen eher direkt gemessenen Massendurchfluß in einen - insoweit indirekt oder virtuell gemessenen - Volumendurchfluß umzurechnen oder umgekehrt. Zum direkten Messen der dafür als primäre Meßgröße dienenden Strömungsparametern, beispielsweise also einer lokalen Strömungsgeschwindigkeit, eines lokalen Volumendurchfluß bzw. eines lokalen Massendurchfluß, weisen Meßsysteme der in Rede stehenden Art wenigstens einen entsprechenden Strömungssensor auf, der - zumindest überwiegend auf einen primär zu erfassenden Strömungsparameter des strömenden Mediums oder auch Änderungen derselben reagierend – im Betrieb wenigstens ein von der primär erfaßten Meßgröße entsprechend

beeinflußtes und diese möglichst genau repräsentierendes, insb. elektrisches, Meßsignal liefert. Der wenigstens eine Strömungssensor kann dabei als das Medium zumindest anteilig berührend, beispielsweise darin eintauchend, oder von außen durch die Wandung der Prozeßleitung oder eine Membran hindurch messend ausgebildet sein. Üblicherweise wird der Strömungssensor dabei mittels eines zumeist sehr komplexen Durchflußaufnehmers bereitgestellt, der unmittelbar in die Medium führende Prozeßleitung bzw. in einen Bypass entsprechend eingesetzt ist.

[0005] Marktgängige Durchflußaufnehmer sind üblicherweise als vorkonfektionierte und vorab kalibrierte Baueinheit mit einem in den Verlauf der jeweiligen Prozeßleitung einsetzbaren Trägerrohr sowie wenigstens einem daran entsprechende vormontierten physikalisch-elektrische Geberelement realisiert, welches letztlich, gegebenenfalls im Zusammenspiel mit dem Trägerrohr selbst und/oder weiteren, insb. passiv-invasiven Komponenten des Durchflußaufnehmers, wie z.B. in die Strömung hineinragende Strömungshindernisse, und/oder aktiven Komponenten des Durchflußaufnehmers, wie z.B. außen am Trägerrohr plazierte, Magnetfeld erzeugende Spulenanordnung oder Schall generierende Wandler, den wenigstens einen das Meßsignal liefernden Strömungssensor. Als in der industriellen Meßtechnik weit verbreitet sind im besonderen magnetisch-induktive Durchflußaufnehmer, die Laufzeit von in strömendes Medium eingekoppelten Ultraschallwellen auswertende Durchflußaufnehmer, Wirbel-Durchflußaufnehmer, insb. Vortex-Durchflußaufnehmer, Durchflußaufnehmer mit schwingendem Meßrohr, Druckdifferenzen auswertenden Durchflußaufnehmer oder thermische Durchflußmeßaufnehmer zu nennen. Der prinzipielle Aufbau und die Funktionsweise von magnetisch-induktiven Durchflußaufnehmern ist z.B. in der EP-A 1 039 269, US-A 60 31 740, US-A 55 40 103, US-A 53 51 554, US-A 45 63 904 oder solcher Ultraschall- Durchflußaufnehmern z.B. in der US-B 63 97 683, der US-B 63 30 831, der US-B 62 93 156, der US-B 61 89 389, der US-A 55 31 124, der US-A 54 63 905, der US-A 51 31 279, der US-A 47 87 252 hinlänglich beschrieben. Da auch die anderen der oben erwähnten, in industriellen Durchflußmeßaufnehmern

üblicherweise umgesetzten Meßprinzipien dem Fachmann ebenfalls hinreichend bekannt sind, kann an dieser Stelle auf eine weitere Erläuterung dieser wie auch anderer in der industriellen Meßtechnik etablierten, mittels Durchflußmeßaufnehmer realisierter Meßprinzipien ohne weiteres verzichtet werden.

[0006] Bei Strömungsparameter erfassenden industriellen Meßsystemen handelt es sich oftmals um solche, bei denen wenigstens eine der tatsächliche Meßsignale liefernde – im folgenden daher als real bezeichnete - Meßstellen mittels eines kompakten In-Line-Meßgerät mit einem Durchflußaufnehmer der vorgenannten Art gebildet ist. Weiterführende Beispiele für derartige, dem Fachmann an und für sich bekannte, insb. mittels kompakter In-line-Meßgeräte mit einem Durchflußaufnehmer gebildete, Meßsysteme sind zudem u.a. in der EP–A 605 944, EP-A 984 248, EP-A 1 767 908, GB-A 21 42 725, US-A 43 08 754, US-A 44 20 983, US-A 44 68 971, US-A 45 24 610, US-A 47 16 770, US-A 47 68 384, US-A 50 52 229, US-A 50 52 230, US-A 51 31 279, US-A 52 31 884, US-A 53 59 881, US-A 54 58 005, US-A 54 69 748, US-A 56 87 100, US-A 57 96 011, US-A 58 08 209, US-A 60 03 384, US-A 60 53 054, US-A 60 06 609, US-B 63 52 000, US-B 63 97 683, US-B 65 13 393, US-B 66 44 132, US-B 66 51 513, US-B 66 51 512, US-B 68 80 410, US-B 69 10 387, US-B 69 38 496, US-B 69 88 418, US-B 70 07 556, US-B 70 10 366, US-A 2002/0096208, US-A 2004/0255695, US-A 2005/0092101, US-A 2006/0266127, WO-A 88/02 476, WO-A 88/02 853, WO-A 95/08758, WO-A 95/16 897, WO-A 97/25595, WO-A 97/46851, WO-A 98/43051, WO-A 00/36 379, WO-A 00/14 485, WO-A 01/02816, WO-A 02/086 426, WO-A 04/023081 oder WO-A 04/081500, WO-A 05/095902 wie auch in den eigenen, nicht vorveröffentlichten Anmeldungen DE 102006034296.8 und 102006047815.0 detailiert beschrieben.

[0007] Zur Weiterverarbeitung oder Auswertung von im Meßsystem erzeugten Meßsignalen weist dieses ferner wenigstens eine entsprechende Meßelektronik auf. Die mit dem jeweiligen Meßaufnehmer, insb. auch dem wenigstens einen Geberelement, in geeigneter Weise kommunizierende Meßelektronik erzeugt im Betrieb unter Verwendung des wenigstens einen

Meßsignals wiederholt wenigstens einen die Meßgröße momentan repräsentierenden Meßwert, beispielsweise also einen Massendurchfluß-Meßwert, Volumendurchfluß-Meßwert, einen Dichte-Meßwert, einen Viskositäts-Meßwert, einen Druck-Meßwert, einen Temperatur-Meßwert oder dergleichen. Die Meßwerte, insb. der indirekt oder auch virtuell gemessene Dichte-Meßwert, werden dabei oftmals mittels hoch komplexer Berechnungen nach einem der erwähnten Industriestandards ermittelt, beispielsweise "AGA 4", "AGA 8", "AGA-NX19", "IAWPS-IF97", "SGERG-88" oder dergleichen.

[0008] Zur Aufnahme der Meßelektronik umfassen solche Meßsysteme zumeist ein entsprechendes Elektronik-Gehäuse, das, wie z.B. in der US-A 63 97 683 oder der WO-A 00/36 379 vorgeschlagen, vom Meßaufnehmer entfernt angeordnet und mit diesem nur über eine flexible Leitung verbunden sein kann. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann das Elektronik-Gehäuse aber auch, wie z.B. auch in der EP-A 903 651 oder der EP-A 1 008 836 gezeigt, unter Bildung eines kompakten In-Line-Meßgeräts - beispielsweise eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichte-Meßgeräts, eines Ultraschall-Durchflußmeßgeräts, eines Vortex-Durchflußmeßgeräts, eines thermischen Durchflußmeßgeräts, eines magnetisch-induktiven Durchflußmeßgerät oder dergleichen - direkt am Meßaufnehmer oder einem den Meßaufnehmer separat einhausenden Meßaufnehmer-Gehäuse angeordnet sein. In letzterem Fall dient das Elektronik-Gehäuse, wie beispielsweise in der EP-A 984 248, der US-A 47 16 770 oder der US-A 63 52 000 gezeigt, oftmals auch dazu, einige mechanische Komponenten des Meßaufnehmers mit aufzunehmen, wie z.B. sich unter mechanischer Einwirkung betriebsmäßig verformende membran-, stab-, hülsen- oder rohrförmige Deformation- oder Vibrationskörper, vgl. hierzu auch die eingangs erwähnte US-B 63 52 000.

[0009] Bei Meßsystemen der beschriebenen Art ist die jeweilige Meßelektronik üblicherweise über entsprechende elektrische Leitungen und/oder drahtlos per Funk mit einem von der Meßelektronik zumeist räumlich entfernt angeordneten und zumeist auch räumlich verteilten übergeordneten

elektronischen Datenverarbeitungssystem elektrisch verbunden, an das die vom jeweiligen Meßsystem erzeugten Meßwerte mittels eines diese entsprechend tragenden Meßwertesignals zeitnah weitergegeben werden. Meßsystem der beschriebenen Art sind zudem üblicherweise mittels eines innerhalb des übergeordneten Datenverarbeitungssystems vorgesehenen – leitungsgebundenen und/oder funkbasierten - Datenübertragungsnetzwerks miteinander und/oder mit entsprechenden elektronischen Prozeß-Steuerungen verbunden, beispielsweise vor Ort installierte Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) oder in einer entfernten Leitwarte installierte Prozeß-Leitrechnern, wohin die mittels des Meßsystems erzeugten und in geeigneter Weise digitalisierten und entsprechend codierten Meßwerte weitergesendet werden. Mittels Prozeß-Leitrechner können, unter Verwendung entsprechend installierter Softwarekomponenten, die übertragenen Meßwerte weiterverarbeitet und als entsprechende Meßergebnisse z.B. auf Monitoren visualisiert und/oder in Steuersignale für andere als Stellgeräte ausgebildete Feldgeräte, wie z.B. Magnet-Ventile, Elektro-Motoren etc., umgewandelt werden. Dementsprechend dient das Datenverarbeitungssystem üblicherweise auch dazu, das von der Meßelektronik gelieferte Meßwertesignal entsprechend den Anforderungen nachgelagerter Datenübertragungsnetzwerke zu konditionieren, beispielsweise geeignet zu digitalisieren und gegebenenfalls in ein entsprechendes Telegramm umzusetzen, und/oder vor Ort auszuwerten. Dafür sind in solchen Datenverarbeitungssystemen mit den jeweiligen Verbindungsleitungen elektrisch gekoppelte Auswerteschaltungen vorgesehen, die die von der jeweiligen Meßelektronik empfangenen Meßwerte vor- und/oder weiterverarbeiten sowie, falls erforderliche, geeignet konvertieren. Zur Datenübertragung dienen in solchen industriellen Datenverarbeitungssystemen zumindest abschnittsweise, insb. serielle, Feldbusse, wie z.B. FOUNDATION FIELDBUS, CAN, CAN-OPEN RACKBUS–RS 485, PROFIBUS etc., oder beispielsweise auch Netzwerke auf Basis des ETHERNET-Standards sowie die entsprechenden, zumeist anwendungsübergreifend standardisierten Übertragungs-Protokolle.

[0010] Üblicherweise kann neben einer solchen Prozeßvisualisierung, -überwachung und –steuerung mittels Leitrechner zudem auch eine Fernbedienung, –parametrierung und/oder –überwachung der angeschlossenen Meßsystems realisiert werden. Dementsprechend erlauben Meßelektroniken moderner Feldmeßgeräte neben der eigentlichen Meßwertübertragung auch die Übertragung von verschiedenen, im Meßsystem verwendeten Einstellungs- und/oder Betriebsparmeter, wie z.B. Kalibrierdaten, Meßwertbereiche oder auch feldgerätintern ermittelte Diagnosewerte. Dem Rechnung tragend können über vorgenannte, zumeist hinsichtlich der Übertragungsphysik und/oder der Übertragungslogik hybride Datenübertragungsnetzwerke dem Meßsystem zugewiesene Betriebsdaten zumeist ebenfalls versendet werden.

[0011] Neben den für die Verarbeitung und Konvertierung der von den jeweils angeschlossenen Meßelektroniken gelieferten Meßwerte erforderlichen Auswerteschaltungen weisen übergeordnete Datenverarbeitungssysteme der beschriebene Art zumeist auch der Versorgung der angeschlossenen Meßelektroniken und insowiet auch des jeweiligen Meßsystems mit elektrischer Energie dienende elektrische Versorgungsschaltungen auf, die eine entsprechende, ggf. direkt vom angeschlossenen Feldbus gespeiste, Versorgungsspannung für die jeweilige Meßgerät-Elektronik bereitstellen und die daran angeschlossenen elektrische Leitungen sowie die jeweiligen Meßelektroniken durchfließende elektrische Ströme treiben. Eine Versorgungsschaltung kann dabei beispielsweise genau einer Meßelektronik jeweils zugeordnet und zusammen mit der dem jeweiligen Meßgerät zugeordneten Auswerteschaltung - beispielsweise zu einem entsprechenden Feldbusadapter vereint - in einem gemeinsamen, z.B. als Hutschienen-Modul ausgebildeten, Gehäuse untergebracht sein. Es ist aber durchaus auch üblich, solche übergeordneten Auswerteschaltungen und Versorgungsschaltungen jeweils in separaten, ggf. voneinander räumlich entfernten Gehäusen unterzubringen und über externe Leitungen miteinander entsprechend zu verdrahten.

[0012] Bei industriellen Meßsystemen der in Rede stehenden Art handelt es sich

oftmals insoweit um räumlich verteilte Meßsysteme, als an entlang einer durch die Prozeßleitung definierte Strömungsachse des Meßsystems voneinander beabstandeten realen Meßstellen jeweils mehrere Meßgrößen von gleicher und/oder verschiedener Art lokal sensorisch erfaßt und der gemeinsamen Meßelektronik inform entsprechender elektrischer Meßsignale leitungsgebunden, beispielsweise auch im sogenannten HART®-MULTIDROP-Verfahren oder auch im sogenannten Burst-Mode-Verfahren, und/oder drahtlos, insb. per Funk und/oder optisch, zugeführt werden, gegebenenfalls auch codiert in ein Digitalsignal oder in ein digital übertragenes Telegramm. Für den vorbeschriebenen Fall, daß solch ein Meßsystem mittels eines Durchflußaufnehmers gebildet ist, können so beispielsweise zusätzlich zu der wenigstens einen praktisch direkt erfaßten, als primäre Meßgröße dienenden Strömungsparameter, beispielsweise dem Volumendurchfluß, unter Verwendung auch weiter entfernt erfaßter Meßgrößen, beispielsweise einer entfernten lokalen Temperatur oder einem entfernten lokalen Druck im Medium, auch abgeleitete sekundäre Meßgrößen, wie z.B. ein Massendurchfluß und/oder eine Dichte, mittels derselben Meßelektronik zumindest indirekt ermittelt und insoweit zumindest virtuell gemessen werden.

[0013] Experimentelle Untersuchungen an verteilten Meßsystemen der in Rede stehenden Art, beispielsweise solchen, die - wie u.a. auch in US-B 66 51 512 gezeigt - mittels direkt gemessenem Volumendurchfluß sowie virtuell gemessener Dichte einen Massedurchfluß als indirekte Meßgröße ermitteln, haben ergeben, daß, insb. auch trotz der Verwendung intern wie extern nachweislich sehr präzise ermittelter Meßgrößen, in den für das jeweilige Kaliber der Prozeßleitung üblichen Meßbereichen erhebliche Fehler im Ergebnis einer im obigen Sinne virtuellen Messung auftreten können, die durchaus im Bereich von etwa 5% der tatsächlichen Meßgröße oder sogar darüber liegen können. Dies im besonderen auch bei der Ermittlung der Meßgrößen, wie z.B. dem Volumendurchfluß, der Temperatur oder dem Druck, als real gemessene Zwischengröße und/oder der Dichte als virtuell gemessene Zwischengröße, gemäß den in vorgenannten Industriestandards empfohlenen Meß- und

Berechnungsverfahren.

[0014] Weiterführende Vergleichsuntersuchungen haben dabei ferner gezeigt, daß vorgenannte Meßfehler u.a. eine gewisse Abhängigkeit von der momentanen Reynolds-Zahl der Strömung wie auch vom momentanen thermodynamischen Zustand des Mediums aufweisen können. Allerdings hat es sich in diesem Zusammenhang auch gezeigt, daß in zahlreichen industriellen Anwendungen, insb. solche mit kompressiblen und/oder zumindest 2-phasigen Medien, die Reynolds-Zahl bzw. der thermodynamische Zustand des Mediums nicht nur zeitlich sondern in hohem Maße auch räumlich veränderlich sein kann, vornehmlich in Richtung der Strömungsachse des Meßsystems. Neben Anwendungen mit zumindest anteilig kompressiblen Medien, zeigen zudem besonders auch solche Anwendungen eine erhebliche Querempfindlichkeit auf räumliche Varianzen der Reynolds-Zahl oder des thermodynamischen Zustands, bei denen die Messung zumindest einer der Meßgrößen an einer Meßstelle erfolgt – real oder virtuell - , an der die Prozeßleitung ein von wenigstens einer der jeweils anderen – realen oder virtuellen - Meßstellen abweichendes Kaliber aufweist. Dies ist z.B. bei der Verwendung von den Leitungsquerschnitt reduzierenden Strömungskonditionieren – wie z.B. als sogenannte Reducer dienende Düsen - gegeben, die gelegentlich im Einlaufbereich von Durchflußmeßaufnehmern Verwendung finden, oder auch bei der Verwendung von den Leitungsquerschnitt vergrößernden Strömungskonditionieren - sogenannten Diffusoren – im Auslaufbereich von Durchflußmeßaufnehmern. Meßsysteme mit solchen Reducern und/oder Diffusoren sind beispielsweise in der GB-A 21 42 725, US-A 58 08 209, US-A 2005/0092101, US-B 68 80 410, US-B 66 44 132, US-A 60 53 054, US-B 66 44 132, US-A 50 52 229 oder der US-B 65 13 393 beschrieben und werden beispielsweise zur Verbesserung der Meßgenauigkeit von Durchflußmeßaufnehmern verwendet. Es ist hierbei ferner ermittelt worden, daß vorgenannte, auf der Verwendung von Reducern und/oder Diffusoren basierende Querempfindlichkeiten für Kaliberverhältnisse zwischen etwa. 0,6 und 0,7 erheblich sind, während deren Einfluß für Kaliberverhältnisse mit extremen Durchmessersprüngen

von kleiner als 0,2 durchaus vernachlässigbar ist.

[0015] Ein weiterer Anwendungsfall mit einer für die angestrebte Meßgenauigkeit signifikanten Empfindlichkeit auf die vorgenannten Varianzen ist des weiteren auch durch solche Meßsysteme gegeben, die für die Durchflußmessung schwerer Gase, wie etwa Kohlendioxid oder auch Phosgen bzw. langkettige Kohlenstoffverbindungen, mit einem Molekulargewicht von über 30 g/mol vorgesehen sind.

[0016] Die vorbeschriebene räumliche Varianz der Reynolds-Zahl wiederum kann nunmehr dazu führen, daß praktisch jede der vorgenannten, voneinander beabstandeten realen Meßstellen des verteilten Meßsystems im Betrieb eine lokale Reynoldszahl aufweist, die von den lokalen Reynoldszahlen der jeweils anderen der mitgenutzten Meßstellen in erheblichem Maße abweicht. Gleichermaßen würde auch besagte Varianz des thermodynamischen Zustands dazu führen, daß voneinander beabstandete Meßstellen des verteilten Meßsystems im Betrieb voneinander verschiedene thermodynamische Zustände aufweisen können. In Anbetracht dessen wäre also jede der verteilt gemessenen Meßgrößen eigentlich mit der jeweils zugehörige lokale Reynoldszahl und/oder dem jeweils zugehörigen lokalen thermodynamischen Zustands entsprechend zu relativieren, was in Ermangelung der dafür erforderlichen Information, nämlich die jeweils anderen, jedoch entfernt gemessen Zustandsgrößen, nicht ohne weiteres möglich ist. Würde beispielsweise die Dichte und/oder der Massendurchfluß basierend auf den gemessenen Zustandsgrößen Druck und Temperatur ohne Berücksichtigung der Varianz von Reynoldszahl bzw. thermodynamischem Zustand berechnet, ergäbe sich ein zusätzlicher Meßfehler, der im wesentlichen eine quadratische Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit aufweist. Dementsprechend ist für die vorgenannte Konfiguration bei Strömungsgeschwindigkeiten von deutlich weniger als 10 m/s für die derzeit angestrebten Meßgenauigkeiten von etwa 0.1% bis 0.5% praktisch nicht mehr signifikant.

[0017] Ausgehend von den zuvor beschriebenen Nachteilen von Meßsystemen der beschriebenen Art, insb. solchen die einen Massendurchfluß oder

einen Volumendurchfluß ermitteln, besteht eine Aufgabe der Erfindung darin, die Meßgenauigkeit für solche sekundären Meßgrößen zu erhöhen, die unter Verwendung räumlich verteilt erfaßter thermodynamischer Zustandsgrößen, wie Druck und/oder Temperatur, ermittelt werden.

[0018] Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einem Meßsystem zum Messen einer Dichte eines in einer Prozeßleitung strömenden, entlang einer gedachten Strömungsachse des Meßsystems hinsichtlich eines thermodynamischen Zustandes veränderlichen, insb. zumindest anteilig kompressiblen, Mediums. Das Meßsystem umfaßt dafür wenigstens einen an einer Temperaturmeßstelle plazierten, primär auf eine lokale Temperatur, ϑ, von vorbei strömendem Medium reagierenden Temperatursensor, der wenigstens ein von der lokalen Temperatur des zu messenden Mediums beeinflußtes Temperaturmeßsignal liefert, wenigstens einen an einer Druckmeßstelle plazierten, primär auf einen lokalen, insb. statischen, Druck, p, von vorbei strömendem Medium reagierenden Drucksensor, der wenigstens ein vom lokalen Druck, p, im zu messenden Medium beeinflußtes Druckmeßsignal liefert, sowie eine mit wenigstens dem Temperatursensor und dem Drucksensor jeweils zumindest zeitweise kommunizierende Meßelektronik, die unter Verwendung sowohl des Temperaturmeßsignals als auch zumindest des Druckmeßsignals zumindest zeitweise wenigstens einen, insb. digitalen, Dichte-Meßwert erzeugt, der eine lokale Dichte, ρ, die das strömende Medium an einer von der Druckmeßstelle und/oder der Temperaturmeßstelle entlang der Strömungsachse vorgebbar beabstandeten, insb. ortsfesten, virtuellen Dichtemeßstelle aufweist, momentan repräsentiert.

[0019] Nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher aufweist, der wenigstens einen lediglich das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameter, insb. eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse, n, des Mediums und/oder die durch den molekularen Aufbau des Mediums bestimmte Anzahl, f, von Schwingungsfreiheitsgraden der Atome

bzw. Moleküle des Mediums, zumindest zeitweise vorhält.

[0020] Nach einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert unter Verwendung des zumindest einen lediglich das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameters ermittelt.

[0021] Nach einer dritten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher aufweist, der wenigstens einen sowohl das aktuell mittels des Meßsystems zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter zumindest zeitweise vorhält, wobei die Einbausituation durch die Anordnung von Druck-, Temperatur- und Dichtemeßstelle relativ zueinander sowie jeweils durch Form und Größe der Prozeßleitung im Bereich der Druck-, Dichte- und/oder Temperaturmeßstelle mitbestimmt ist. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung ermittelt die Meßelektronik den Dichte-Meßwert unter Verwendung des wenigstens einen sowohl das aktuell mittels des Meßsystems zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter.

[0022] Nach einer vierten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher aufweist, der wenigstens einen das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameter erster Art, insb. eine spezifische Wärmekapazität des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse des Mediums und/oder die Anzahl von Freiheitsgraden des Mediums, und der wenigstens einen sowohl das aktuell zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter zweiter Art zumindest zeitweise vorhält, wobei die Einbausituation durch die Anordnung von Druck-, Temperatur- und Dichtemeßstelle relativ zueinander sowie jeweils durch Form und Größe der Prozeßleitung im Bereich der Druck-, Dichte- und/oder Temperaturmeßstelle mitbestimmt ist, und wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert unter Verwendung zumindest des Meßsystemparameters

erster Art und des Meßsystemparameters zweiter Art ermittelt.

[0023] Nach einer fünften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik zumindest zeitweise, insb. extern des Meßsystems und/oder zeitnah ermittelte, numerische Parameterwerte für wenigstens einen zu messendes Medium und/oder eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter, insb. eine Wärmekapazität, c_P, für zu messendes Medium, empfängt, der eine vorab ermittelte und/oder von der Dichte-Meßstelle entfernt gemessene spezifische Wärmekapazität, c_p, des zu messenden Mediums repräsentiert.

[0024] Nach einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik zumindest zeitweise, insb. leitungsgebunden und/oder per Funk, mit einem übergeordneten elektronischen Datenverarbeitungssystem kommuniziert, insb. via Feldbus. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehn, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert an das Datenverarbeitungssystem sendet und/oder wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise numerische Parameterwerte für das zu aktuell messende Medium, insb. dessen thermodynamischen Eigenschaften und/oder dessen chemische Zusammensetzung, spezifizierende Meßsystemparameter, insb. eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse, n, des aktuell zu messenden Mediums und/oder die Anzahl, f, von Schwingungsfreiheitsgraden der Atome bzw. Moleküle des aktuell zu messenden Mediums, vom Datenverarbeitungssystem empfängt und/oder daß die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses mit dem übergeordneten elektronischen Datenverarbeitungssystem verbunden ist.

[0025] Nach einer siebenten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik im Betrieb zumindest zeitweise eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums ermittelt, insb. basierend auf der Vorschrift:

[0026] $$c_P = \left(1 + \frac{f}{2}\right) \cdot \frac{R}{n},$$

[0027] worin n einer molaren Masse, R der absoluten Gaskonstante mit R = 8.3143 J / (K mol) und f einer durch den molekularen Aufbau des Mediums bestimmten Anzahl von Schwingungsfreiheitsgraden von dessen Atomen bzw. Molekülen entsprechen.

[0028] Nach einer achten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik basierend auf dem Temperaturrmeßsignal wiederkehrend einen, insb. digitalen, Temperatur-Meßwert generiert, der eine lokale Temperatur des Mediums, insb. die Temperatur des Mediums an der Temperaturmeßstelle, momentan repräsentiert.

[0029] Nach einer neunten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik basierend auf dem Druckrmeßsignal wiederkehrend einen, insb. digitalen, Druck-Meßwert generiert, der einen im Medium, insb. an der Druckmeßstelle, herrschenden Druck momentan repräsentiert.

[0030] Nach einer zehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Meßsystem weiters wenigstens einen an einer Strömungsmeßstelle plazierten, primär auf einen lokale, insb. über einen Querschnitt der Prozeßleitung gemittelten, Strömungsparameter, insb. eine Strömungsgeschwindigkeit, eine Volumendurchfluß oder einen Massendurchfluß, des zu messenden Mediums, insb. auch Änderungen derselben, reagierenden Strömungssensor umfaßt, der wenigstens ein von dem lokalen Strömungsparameter beeinflußtes Strömungsmeßsignal liefert.

[0031] Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen,

[0032] daß die Meßelektronik zumindest zeitweise auch mit dem Strömungssensor kommuniziert und wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert unter Verwendung auch des Strömungsmeßsignals ermittelt; und/oder

[0033] daß das Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle einen thermodynamischen Zustand aufweist, der einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Geschwindigkeitsmeßstelle entspricht; und/oder

[0034] daß die virtuelle Dichtemeßstelle und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen, insb. koinzident sind; und/oder

[0035] daß die Temperaturmeßstelle und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen, insb. koinzident sind; und/oder

[0036] daß die Druckmeßstelle und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen; und/oder

[0037] daß der Dichte-Meßwert, eine örtliche Dichte des Mediums im Bereich des Strömungssensors repräsentiert; und/oder

[0038] daß die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder drahtlos per Funk mit dem Strömungssensor kommuniziert; und/oder

[0039] daß die Meßelektronik zumindest zeitweise mit dem Strömungssensor kommuniziert, wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Geschwindigkeits-Meßwert ermittelt, der die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums momentan repräsentiert.

[0040] Nach einer elften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert auch unter Verwendung wenigstens eines, insb. digital gespeicherten, numerischen Kompensationsfaktors erzeugt, der mit einer, insb. vorab und/oder im Betrieb ermittelten, entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden Ortsveränderlichkeit wenigstens einer thermodynamischen Zustandsgröße des Mediums, insb. einer Temperatur, einem Druck oder einer Dichte, und/oder der mit einer, insb. vorab und/oder im Betrieb ermittelten, entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden Ortsveränderlichkeit der Reynoldszahl des strömenden Mediums korrespondiert.

[0041] Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen,

[0042] daß der wenigstens eine Kompensationsfaktor unter Berücksichtigung des tatsächlich zu messenden Mediums, insb. dessen Zusammensetzung und/oder dessen thermodynamischen Eigenschaften, ermittelt wird, insb. während einer Kalibrierung des Meßsystems mit bekanntem Referenzmedium und/oder während der Inbetriebnahme des Meßsystems vor Ort; und/oder

[0043] daß die Meßelektronik den wenigstens einen Kompensationsfaktor während der Inbetriebnahme des Meßsystems zumindest einmal ermittelt; und/oder

[0044] daß die Meßelektronik den Kompensationsfaktor während des Betriebs des Meßsystems wiederkehrend ermittelt, insb. einhergehend mit einer Änderung wenigstens einer chemischen Eigenschaft des zu messenden Mediums oder mit einer Auswechselung desselben durch ein anderes; und/oder

[0045] daß die Meßelektronik den wenigstens einen Kompensationsfaktor anhand einer vorgegebenen, insb. im Dialog mit dem Anwender und/oder extern der Meßelektronik ermittelten, spezifischen Wärmekapazität, c_p, des aktuellen Mediums ermittelt; und/oder

[0046] daß die Meßelektronik einen den wenigstens einen Kompensationsfaktor vorhaltenden, insb. als Tabellenspeicher ausgebildeten und/oder nicht-flüchtigen, Datenspeicher umfaßt; und/oder

[0047] daß der Datenspeicher eine Vielzahl von vorab für verschiedene Medien und/oder für verschiedene Einbausituationen ermittelten Kompensationsfaktoren vorhält; und/oder

[0048] daß die Meßelektronik den wenigstens einen Kompensationsfaktor unter Berücksichtigung des aktuellen Mediums sowie der aktuellen Einbausituation aus der Vielzahl von im Datenspeicher vorgehaltenen Kompensationsfaktoren auswählt.

[0049] Nach einer zwölften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert unter Verwendung wenigstens eines sowohl von einer Strömungsgeschwindigkeit des Mediums als auch von der an der Temperaturmeßstelle herrschenden lokalen Temperatur abhängigen, zur Laufzeit ermittelten Dichte-Korrekturwerts, der mit einer, insb. durch das aktuell zu messende Medium sowie eine momentane Einbausituation bedingten und/oder entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, momentanen Ortsveränderlichkeit wenigstens einer thermodynamischen Zustandesgröße des Mediums und/oder der mit einer, insb. durch das Medium und/oder die Bauart des Meßsystems bedingten und/oder entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, momentanen Ortsveränderlichkeit der Reynoldszahl des strömenden Mediums korrespondiert.

[0050] Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen,

[0051] daß die Meßelektronik im Betrieb einen, insb. digitalen, Geschwindigkeits-Meßwert ermittelt, der die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums momentan repräsentiert, und daß die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert unter Verwendung des Geschwindigkeits-Meßwert sowie des Temperaturmeßwerts ermittelt; und/oder

[0052] daß die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert im Betrieb wiederkehrend mit wenigstens einem vorgegebenen Referenzwert vergleicht; und/oder

[0053] daß die Meßelektronik basierend auf einem Vergleich von Dichte-Korrekturwert und Referenzwert eine momentane Abweichung der Dichte-Korrekturwerts vom Referenzwert quantitativ signalisiert und/oder zeitweise einen Alarm generiert, der eine unerwünschte, insb. unzulässig hohe, Diskrepanz zwischen Dichte-Korrekturwerts und zugehörigem Referenzwert signalisiert.

[0054] Nach einer dreizehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik basierend auf dem Druckmeßsignal sowie dem Temperaturmeßsignal einen provisorischen Dichte-Meßwert, insb. gemäß einem der Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006, ermittelt, der eine Dichte repräsentiert, die das strömende Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle lediglich scheinbar aufweist.

[0055] Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen,

[0056] daß die Meßelektronik im Betrieb wiederkehrend einen Dichtefehler ermittelt, der mit einer, insb. relativen, Abweichung von provisorischem Dichte-Meßwert und Dichte-Meßwert korrespondiert, insb. auch inform eines numerischen Dichtefehler-Werts ausgibt; und/oder

[0057] daß die Meßelektronik einen momentanen Dichtefehler, der mit einer, insb. relativen, Abweichung von provisorischem Dichte-Meßwert und Dichte-Meßwert korrespondiert, inform eines numerischen Dichtefehler-Werts ausgibt und/oder mit wenigstens einem vorgegebenen Referenzwert vergleicht und basierend auf diesem Vergleich zeitweise einen Alarm generiert, der eine unerwünschte, insb. unzulässig hohe, Diskrepanz zwischen provisorischem Dichte-Meßwert und Dichte-Meßwert

signalisiert.

[0058] Nach einer vierzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Meßsystem weiters wenigstens einen an einer Strömungsmeßstelle plazierten, primär auf einen lokale, insb. über einen Querschnitt der Prozeßleitung gemittelten, Strömungsparameter, insb. eine Strömungsgeschwindigkeit, eine Volumendurchfluß oder einen Massendurchfluß, des zu messenden Mediums, insb. auch Änderungen derselben, reagierenden Strömungssensor umfaßt, der wenigstens ein von dem lokalen Strömungsparameter beeinflußtes Strömungsmeßsignal liefert

[0059] wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise mit dem Strömungssensor kommuniziert und wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Volumendurchfluß-Meßwert ermittelt, der eine Volumendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert; und/oder

[0060] wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Dichte-Meßwert und des Volumendurchfluß-Meßwert einen, insb. digitalen, Massedurchfluß-Meßwert ermittelt, der eine Massendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert; und/oder

[0061] wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Temperatur-Meßsignals, des Druck-Meßsignals und des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Massedurchfluß-Meßwert ermittelt, der eine Massendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert; und/oder

[0062] wobei die Strömungsmeßstelle stromaufwärts der Temperaturmeßstelle und/oder stromaufwärts der Druckmeßstelle angeordnet ist; und/oder

[0063] wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines piezoelektrischen und/oder mittels wenigstens eines piezoresistiven Elements gebildet ist; und/oder

[0064] wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines elektrischen, insb. zumindest zeitweise von einem Heizstrom durchflossenen, Widerstandselements gebildet ist; und/oder

[0065] wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens einer, insb. strömendes Medium berührend, elektrische Potentiale abgreifenden Meßelektrode gebildet ist; und/oder

[0066] wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines auf Veränderungen des Strömungsparameters reagierenden Meßkondensators gebildet ist; und/oder

[0067] wobei der wenigstens eine Strömungssensor im Betrieb unter Einwirkung des im Meßsystem strömenden Mediums wiederholt mechanischen Verformungen unterworfen ist; und/oder

[0068] wobei der wenigstens eine Strömungssensor im Betrieb unter Einwirkung des im Meßrohr strömenden Mediums wiederholt relativ zu einer statischen Ruhelage bewegt ist; und/oder

[0069] wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines in den Verlauf der Prozeßleitung eingesetzten, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierenden Meßrohrs sowie wenigstens eines Vibrationen des Meßrohrs, insb. elektrodynamsich oder opto-elektronisch, erfassenden Schwingungssensors gebildet ist; und/oder

[0070] wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines einen Querschnitt der Prozeßleitung verengenden Strömungshindernisses, insb. einer Blende oder einer Düse, sowie mittels wenigstens eines Differenzdrucksensors – der anteilig mittels des an der Druckmeßstelle plazierten Drucksensors gebildet sein kann -gebildet ist, der eine über dem Strömungshindernis auftretende Druckdifferenz erfaßt und ein diese repräsentierendes Druckdifferenzmeßsignal liefert; und/oder

[0071] wobei das Meßsystem wenigstens einen in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragenden, in das Medium eintauchenden Staukörper umfaßt; und/oder

[0072] wobei der wenigstens eine, insb. zumindest anteilig in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragende, Strömungssensor stromabwärts wenigstens eines in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragenden, in das Medium eintauchenden Staukörpers angeordnet ist.

[0073] Nach einer fünfzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder

drahtlos per Funk mit dem Temperatursensor kommuniziert.

[0074] Nach einer sechzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder drahtlos per Funk mit dem Drucksensor kommuniziert.

[0075] Nach einer siebzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß sich das Medium an der Dichtemeßstelle in einem thermodynamischen Zustand befindet, der sich zumindest zeitweise hinsichtlich wenigstens einer lokalen thermodynamischen Zustandsgröße, insb. einer Temperatur und/oder einem Druck und/oder einer Dichte, von einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Temperaturmeßstelle und/oder von einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Druckmeßstelle signifikant, insb. in einem für eine angestrebte Meßgenauigkeit des Meßsystems erheblichen Maße, unterscheidet.

[0076] Nach einer achtzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das strömende Medium eine Reynoldszahl aufweist, die größer als 1000 ist.

[0077] Nach einer neunzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Medium kompressibel ist, insb. eine Kompressibilität $\kappa = - 1/V \cdot dV/dp$ aufweist, die größer als 10^{-6} bar^{-1}, und/oder zumindest anteilig gasförmig ist. Bei dem Medium kann es dabei um ein mit Feststoffpartikeln und/oder Tröpfchen beladenes Gas handeln.

[0078] Nach einer zwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Medium zwei oder mehrphasig ausgebildet ist. Eine Phase des Mediums kann dabei liquid sein und/oder es kann sich bei dem Medium um eine mit Gas und/oder mit Feststoffpartikeln beladene Flüssigkeit handeln.

[0079] Nach einer einundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Meßsystem weiters ein zumindest zeitweise mit der Meßelektronik kommunizierendes Anzeigeelement zum visuellen Signalisieren zumindest des Dichte-Meßwerts umfaßt.

[0080] Nach einer zweiundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zumindest abschnittsweise, insb. im Bereich zumindest der Dichte-Meßstelle und/oder im Bereich zumindest

der Druck-Meßstelle, als eine zumindest unter Betriebsdruck im wesentlichen formstabile, insb. starre und/oder im Querschnitt kreisförmige, Rohrleitung ausgebildet ist.

[0081] Nach einer dreiundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zumindest abschnittsweise, insb. im Bereich zwischen Dichte-Meßstelle und Druck-Meßstelle und/oder zwischen Dichte-Meßstelle und Temperatur-Meßstelle, als eine im wesentlichen gerade, insb. im Querschnitt kreisförmige, Rohrleitung ausgebildet ist.

[0082] Nach einer vierundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber aufweist, das von einem Kaliber der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle verschieden ist. Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen, daß das Kaliber der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle größer ist, als das Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle, insb. daß ein Kaliberverhältnis des Kalibers der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zum Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle größer als 1.1 gehalten ist.

[0083] Nach einer fünfundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Kaliberverhältnis eines Kalibers der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zu einem Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle kleiner als 5 gehalten ist.

[0084] Nach einer sechsundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Kaliberverhältnis eines Kalibers der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zu einem Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle in einem Bereich zwischen 1.2 und 3.1 gehalten ist.

[0085] Nach einer siebenundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Druck-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Diffusor mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, aufweitendem Lumen ausgebildet ist.

[0086] Nach einer achtundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zwischen der virtuellen

Dichtemeßstelle und der Druck-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Düse mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, verengendem Lumen ausgebildet ist.

[0087] Nach einer neunundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber aufweist, das im wesentlichen gleich einem Kaliber der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle ist.

[0088] Nach einer dreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber aufweist, das von einem Kaliber der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle verschieden ist. Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen, daß das Kaliber der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle größer, als das Kaliber an der virtuellen Dichtemeßstelle, insb. daß ein Kaliberverhältnis des Kalibers der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle zum Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle größer als 1.1 gehalten ist.

[0089] Nach einer einunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Kaliberverhältnis des Kalibers der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle zum Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle kleiner als 5 gehalten ist.

[0090] Nach einer zweiunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Kaliberverhältnis des Kalibers der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle zum Kaliber der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle in einem Bereich zwischen 1.2 und 3.1 gehalten ist.

[0091] Nach einer dreiunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Temperatur-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Diffusor mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, aufweitendem Lumen ausgebildet ist.

[0092] Nach einer vierunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zwischen der virtuellen

Dichtemeßstelle und der Temperatur-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Düse mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, verengendem Lumen ausgebildet ist.

[0093] Nach einer fünfunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber aufweist, das im wesentlichen gleich einem Kaliber der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle ist.

[0094] Nach einer sechsunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die virtuelle Dichte-Meßstelle stromaufwärts der Temperatur-Meßstelle und/oder stromaufwärts der Druck-Meßstelle festgelegt ist.

[0095] Nach einer siebenunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Druck-Meßstelle stromabwärts der Temperatur-Meßstelle angeordnet ist.

[0096] Nach einer achtunddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Abstand der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle verschieden ist von einem Abstand der Temperaturmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle.

[0097] Nach einer neununddreißigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Abstand der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle größer ist als ein Abstand der Temperaturmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle.

[0098] Nach einer vierzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Abstand der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle größer ist als ein Kaliber der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle und/oder wobei ein Abstand der Druckmeßstelle von der Temperaturmeßstelle größer ist als ein Kaliber der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle. Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen, daß ein Abstand der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle wenigstens einem 3-fachen, insb. mehr als einem 5-fachen, eines Kalibers der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle entspricht und/oder daß ein Abstand der Druckmeßstelle von der Temperaturmeßstelle wenigstens

einem 3-fachen, insb. mehr als einem 5-fachen, eines Kalibers der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle entspricht.

[0099] Nach einer einundvierzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Meßelektronik einen Mikrocomputer aufweist. Diese Ausgestaltung der Erfindung weiterbildend ist ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik zumindest den Dichte-Meßwert mittels des Mikrocomputers erzeugt.

[0100] Nach einer zweiundvierzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Meßsystem weiters wenigstens ein, insb. explosions- und/oder druck- und/oder schlag- und/oder wetterfestes, Elektronik-Gehäuse umfaßt, in dem die Meßelektronik zumindest anteilig untergebracht ist. Nach einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung ist ferner vorgesehen, daß das wenigstens eine, insb. metallische, Elektronik-Gehäuse an der Prozeßleitung gehaltert und/oder in unmittelbarer Nähe der virtuellen Dichte-Meßstelle plaziert ist.

[0101] Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, die Meßgenauigkeit von Meßsystemen der beschriebenen Art dadurch zu verbessern, daß die in zahlreichen Anwendungen der industriellen Meßtechnik mit strömenden Medien als eine zentrale Meßgröße dienende, oftmals aber gezwungener Maßen von zwar real, jedoch räumlich verteilt gemessener Zustandsgrößen abgeleitete Dichte unter Berücksichtigung allfälliger räumlichen Varianzen, insb. auch deren Ausmaß, von Reynoldszahl und/oder thermodynamischem Zustand des strömenden Mediums mit verbesserter Genauigkeit zu ermitteln. Dies erfolgt bei dem erfindungsgemäßen Meßsystem in der Weise, daß die Dichte verläßlich, auf einen für das jeweilige Meßsystem zuvor definierte, als ortsfester gedachter Meßpunkt dienenden Referenzpunkt bezogen berechnet und insoweit virtuell gemessen wird. Diesen Grundgedanken weiterführend kann die Meßgenauigkeit, mit der das Meßsystem die lokale Dichte ermittelt, dadurch noch erheblich verbessert werden, daß das Meßsystem besagte Dichte auch unter Berücksichtigung einer gleichsam lokal gemessenen aktuellen Strömungsgeschwindigkeit ermittelt und somit eine weitere Kompensation des mit den erwähnten Varianzen von

Reynoldszahl und/oder thermodynamischem Zustand des strömenden Mediums einhergenden Fehlers erreicht werden kann.

[0102] Die Erfindung basiert dabei auf der überraschenden Erkenntnis, daß räumliche Varianzen in der Reynoldszahl und/oder im thermodynamischem Zustand und die damit einhergehenden Meßfehler für konkrete Meßsysteme auf eine einzige, in Strömungsrichtung liegende und/oder mit der Strömungsachse des Meßsystems koinzidierende Dimension projiziert und somit in einen entsprechend vereinfachten Satz Meßsystemparameter abgebildet werden können, der zumindest überwiegend vorab – experimentell und/oder computergestützt ermittelt werden kann, beispielsweise im Zuge einer Kalibrierung des Meßsystem während der Fertigstellung und/oder während der Inbetriebnahme desselben. Besagte räumliche Varianzen bzw. deren Ausmaß und insoweit auch der Satz Geräteparameter mögen zwar für jedes konkrete Meßsystem und jedes konkrete Medium spezifisch und insoweit individuell zu kalibrieren sein, gleichwohl können sie aber bei dann unverändert belassenem Meßsystem mit hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung im wesentlichen gleichbleibendem Medium selbst als invariant gegenüber im Betrieb allfällig auftretenden Änderungen von Reynoldszahl und/oder thermodynamischem Zustand angesehen werden. Anders gesagt, können für ein gegebenes verteiltes Meßsystem das Ausmaß von entlang der Strömungsachse auftretenden Änderungen des thermodynamischen Zustands vorherbestimmt und somit deren Einfluß mit für die Messungen ausreichenden Genauigkeit kalibrierte und insoweit auch kompensiert werden, wobei es sich überraschenderweise gezeigt hat, daß das Ausmaß der Änderung für ein gegebenes Meßsystem mit gleichbleibendem Medium weitgehend konstant ist somit in einen Satz zwar spezifischer, gleichwohl aber konstanter Geräteparameter abgebildet werden kann.

[0103] Ein Vorteil der Erfindung ist zudem auch darin zusehen, daß das zugrunde liegende Verfahren nachträglich auch in zahlreiche bereits installierte Meßsysteme ohne weiteres implementiert werden kann, jedenfalls insofern als die Meßgerät-Elektronik eine Änderung der entsprechenden

Verarbeitungssoftware zuläßt.

[0104] Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen werden nachfolgend anhand Ausführungsbeispiels erläutert, gegebenenfalls auch unter Verweis auf die Figuren, wobei

[0105] Fig. 1 perspektivisch in einer Seitenansicht ein Meßsystem zum Messen einer lokalen Dichte, die ein in einer Prozeßleitung strömendes Medium an einer Dichtemeßstelle aufweist, mittels eines an einer Druckmeßstelle angeordneten Drucksensors und eines an einer Temperaturmeßstelle angeordneten Temperatursensors zeigt,

[0106] Fig. 1 das Meßsystem gemäß Fig. 1 nach Art eines Blockschaltbildes nochmals zeigt,

[0107] Fign. 3a, 3b perspektivisch und teilweise geschnitten in verschiedenen Ansichten einen für die Verwendung in einem Meßsystem gemäß Fig. 1 geeigneten, nach dem Vortex-Prinzip arbeitenden Wirbel-Durchflußaufnehmer zeigen, und

[0108] Fign. 4a schematisch im Schnitt verschiedene Varianten zur

[0109] bis 4h, 5 Ausgestaltung der Prozeßleitung und zur realtiven Anordnung der einzelnen Meßstellen gemäß Fig. 1 zeigen.

[0110] In der Fig. 1 ist ein - gegebenenfalls modular aufgebautes - Meßsystem 1 schematisch dargestellt, das dafür geeignet und dafür vorgesehen ist, zumindest zeitweise eine Dichte eines in einer Prozeßleitung 20 strömenden, gegebenenfalls auch zwei- oder mehrphasigen Mediums, wie z.B. einem Gas, einer gegebenenfalls auch mit Gas und/oder Feststoffpartikeln beladenen Flüssigkeit, ein mit Feststoffpartikeln und/oder Tröpfchen beladenen Gas, einem gegebenenfalls auch gesättigtem Dampf oder dergleichen, sehr präzise und gleichermaßen sehr robust zu ermitteln und, gegebenenfalls auch in Echtzeit, in einen entsprechend verläßlichen, beispielsweise auch digitalen, Dichte-Meßwert $X\rho$ abzubilden. Als Medium kommt dabei beispielsweise Wasserstoff, Stickstoff, Chlor, Sauerstoff, Helium oder daraus gebildete Verbindungen und/oder Gemische wie z.B. Kohlendioxid, Wasser, Phosgen, Luft, Erdgas oder andere Kohlenwasserstoffgemische in Frage.

[0111] Im besonderen dient das Meßsystem dazu, die Dichte des strömenden

Mediums auch für den Fall sehr genau zu messen, bei dem dieses entlang einer Strömungsachse des Meßsystems hinsichtlich eines thermodynamischen Zustandes veränderlich ist, wie dies beispielsweise bei innerhalb der Prozeßleitung reagierenden Medien, bei abschnittsweise gekühlten Medien oder abschnittsweise erhitzten Medien, bei kompressiblen Medien und/oder bei Prozeßleitungen mit entlang der Strömungsachse variierendem Querschnitt auftreten kann. Das Meßsystem ist weiters dafür vorgesehen, die Dichte für strömende Medien mit einer Reynoldszahl, *Re*, die größer als 1000 ist, und/oder für kompressible Medien mit einer Kompressibilität, κ, von mehr als 10^{-6} bar^{-1} präzise zu ermitteln.

[0112] Das Meßsystem umfaßt dafür wenigstens einen an einer Temperaturmeßstelle M_ϑ plazierten, primär auf eine lokale Temperatur, ϑ, von vorbei strömendem Medium reagierenden Temperatursensor, der wenigstens ein von der lokalen Temperatur des zu messenden Mediums beeinflußtes Temperaturmeßsignal x_ϑ liefert, sowie wenigstens einen an einer Druckmeßstelle M_p plazierten, primär auf einen lokalen, z.B. statischen und/oder absoluten, Druck von vorbei strömendem Medium reagierenden Drucksensor, der wenigstens ein vom lokalen Druck, p, im zu messenden Medium beeinflußtes Druckmeßsignal x_p liefert. Obwohl die Druck-Meßstelle im hier gezeigten Ausführungsbeispiel stromabwärts der Temperatur-Meßstelle angeordnet ist, kann sie, falls erforderlich, selbstverständlich auch stromaufwärts der Temperatur-Meßstelle angeordnet sein.

[0113] Zusätzlich zum Temperatursensor und Drucksensor weist das Meßsystem ferner wenigstens eine mit dem Temperatursensor sowie dem Drucksensor jeweils zumindest zeitweise kommunizierende - also drahtgebunden und/oder drahtlos die gegebenenfalls entsprechend konvertierten Meßsignale x_ϑ, x_p vom Temperatursensor bzw. vom Drucksensor empfangende – Meßelektronik 100 auf.

[0114] Als Temperatursensor kann beispielsweise ein industrieller Temperatursensor, wie z.B. ein Thermoelement oder ein Widerstandsthermometer vom Typ Pt100 oder Pt 1000, dienen, während

als Drucksensor beispielsweise ein industrieller, insb. absolut und/oder relativ messender, Drucksensor, z.B. mit kapazitiver Druckmeßzelle, verwendet werden kann. Selbstverständlich können, falls erforderlich, aber auch andere die vom Medium erfaßten und übertragenen Drücke in entsprechende Meßsignale umwandelnde Druckmeßzellen für die Drucksensoren bzw. andere geeignete Temperatursensoren verwendet werden. Der Temperatursensor kann des weiteren beispielsweise als Komponente eines eigenständigen, industrietauglichen Temperatur-Meßgeräts mit eigener Meßgerät-Elektronik sein. Solche dem Fachmann an und für sich bekannten Temperatur-Meßgeräte sind seit langem in der industriellen Prozeßmeßtechnik etabliert und werden beispielsweise auch von der Firma Endress+Hauser Wetzer GmbH+Co. KG unter der Bezeichnung "Easytemp TSM" oder "Omnigrad T" angeboten. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann der Temperatursensor, wie weiter unten näher erläutert, auch als ein integraler Bestandteil eines komplexen, gegebenenfalls auch mehre Meßgrößen vom strömenden Medium erfassenden In-Line-Meßgeräts ausgebildet sein. Gleichermaßen kann auch der Drucksensor integraler Bestandteil eines solchen komplexen In-Line-Meßgeräts bzw. Komponente eines eigenständigen, industrietauglichen Druck-Meßgeräts mit eigner Meßgerät-Elektronik sein. Solche dem Fachmann ebenfall bekannten Druck-Meßgeräte sind seit langem in der industriellen Prozeßmeßtechnik etabliert und werden beispielsweise auch von der Firma Endress+Hauser GmbH+Co. KG unter der Bezeichnung "Cerabar S", "Cerabar M" oder "Cerabar T" angeboten. Wei Im übrigen können der Drucksensor und der Temperatursensor aber auch durch ein einziges Meßgerät für Druck und Temperatur-Messung bereitgestellt sein, beispielsweise gemäß dem in der WO-A 97/48970 vorgeschlagenen industriellen Kombinationsmeßgerät.

[0115] Wie in der Fig. 1 schematisch dargestellt, kann die Meßelektronik zumindest anteilig in einem, insb. explosions- und/oder druck- und/oder schlag- und/oder wetterfesten, Elektronik-Gehäuse 110 untergebracht sein. Das, beispielsweise metallische, Elektronik-Gehäuse 110 kann dabei, wie auch in Fig. 1 dargestellt, gegebenenfalls an der Prozeßleitung

gehaltert sein.

[0116] Zur meßsysteminternen Weiterverarbeitung des Druck- und des Temepratur-Meßsignals ist gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung in der Meßelektronik ferner ein Microcomputer µC vorgesehen, der im besonderen auch dazu dient, den Dichte-Meßwert X_ρ zu erzeugen, und der beispielsweise mittels wenigstens eines Mikroprozessors und/oder mittels wenigstens eines Signalprozessors gebildet sein kann. Alternativ oder in Ergänzung können zur Realsierung des Mikrocomputers µC auch anwendungsspezifische integrierten ASIC-Schaltungen und/oder programmierbare logische Bauelemente oder Systeme verwendet werden, wie z.B. sogenannte FPGA (field programmable gate array und/oder, wie u.a. auch in der WO-A 03/098154 vorgeschlagen, sogenannte SOPC (system on programmable chip). Des weiteren weist die Meßelektronik nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wenigstens ein, beispielsweise in unmittelbarer Nähe der Meßelektronik plazierte, zumindest zeitweise mit der Meßelektronik, insb. mit dem darin gegebenenfalls vorgesehen Mikrocomputer, kommunizierendes Anzeigeelement HMI zum visuellen Signalisieren zumindest des Dichte-Meßwerts. Das Anzeigeelement HMI kann hierbei beispielsweise auch inform eines kombinierten Anzeige- und Bedienelements ausgebildet sein, daß neben der Visualisierung von Meßwerten auch der Eingabe von die Meßelektronik parametrierenden und/oder steuernden Bedienkommandos seitens des Anwenders erlauben.

[0117] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik basierend auf dem Temperaturmeßsignal, beispielsweise auch unter Verwendung des gegebenenfalls vorgesehenen Mikrocomputers, wiederkehrend einen, insb. digitalen, Temperatur-Meßwert X_ϑ generiert, der eine lokale Temperatur des Mediums, insb. die Temperatur des Mediums an der Temperaturmeßstelle, momentan repräsentiert und/oder daß die Meßelektronik basierend auf dem Druckrmeßsignal x_p, beispielsweise wiederum unter Verwendung des gegebenenfalls vorgesehenen Mikrocomputers, wiederkehrend einen, insb. digitalen, Druck-Meßwert X_p

generiert, der einen im Medium, insb. an der Druckmeßstelle, herrschenden Druck momentan repräsentiert.

[0118] Zumindest für den vorbeschrieben Fall, daß das Meßsystem mittels zweier oder auch mehrerer eigenständiger Meßgeräte gebildet ist, kann beim erfindungsgemäßen Meßsystem auch die Meßelektronik selbst durch entsprechende Zusammenschaltung – drahtgebunden und/oder drahtlos - von einzelnen, insoweit Teil-Elektroniken der Meßelektronik bildende Meßgerät-Elektroniken realisiert und insoweit auch modular aufgebaut sein. Dabei kann die Meßelektronik beispielsweise mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder drahtlos per Funk mit dem Temperatursensor und/oder mit dem Drucksensor kommunizieren. Alternativ zu einem verteilten Aufbau der Meßelektronik kann diese aber auch, falls erforderlich, als ein einziges Elektronikmodul ausgebildet sein, in das die von Druck- und/oder Temperatursensor erzeugten Meßsignale direkt eingespeist werden.

[0119] Die gegebenenfalls im Meßsystem vorgesehen wenigstens zwei Meßgerät- oder auch Teil-Elektroniken 100_1, 100_2 sind in der dem Fachmann bekannten Weise so miteinander zu koppeln daß im Betrieb von wenigstens einer der beiden Meßgerät-Elektroniken 100_1, 100_2 entsprechend erzeugte Meßdaten zumindest unidirektional zur anderen, insoweit als Master-Elektronik fungierenden übertragen werden können. Dies kann in der dem Fachmann bekannten Weise inform von in ihrer Spannung, ihrem Strom und/oder ihrere Frequenz codierten Meßsignalen und/oder inform von in digital codierte Telegramme gekapselten Meßwerte, z.B. im HART®-MULTIDROP-Verfahren oder im Burst-Mode-Verfahren, erfolgen. Selbstverständlich können statt dessen aber auch bidirektional zwischen den beiden Meßgerät-Elektronik 100_1, 100_2 kommunizierende Datenverbindungen zur Übertragung der lokal ermittelten Meßgrößen zur jeweils anderen Meßgerät-Elektronik 100_1 bzw. 100_2 verwendet werden, beispielsweise via externem Feldbus. Zur Realisierung der erforderlichen Kommunikationsverbindung zwischen den beiden Meßgerät-Elektronik 100_1, 100_2 können in vorteilhafter Weise in der industriellen Meß- und Automatisierungstechnik entsprechend

etablierte Standardschnittstellen Verwendung finden, wie z.B. leitungsgeführte 4-20 mA-Stromschleifen, ggf. auch in Verbindung mit HART®- oder anderen einschlägigen Feldbus-Protokollen, und/oder geeignete Funkverbindungen.

[0120] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die wenigstens eine Meß-Elektronik 100_1, 100_2 ferner so ausgelegt, daß sie im Betrieb das Meßsystem, wie in Fig. 1 schematisiert angedeutet, mit einem diesem übergeordneten Datenverarbeitungssystem zumindest zeitweise kommuniziert, und zwar in der Weise, daß zumindest im normalen Meßbetrieb seitens des Meßsystems wiederkeherend ermittelte Meßwert– gegebenenfalls auch inform eines digital codierten Telegramms – möglichst zeitnah und/oder in Echtzeit zum Datenverarbeitungssystem hin transferiert werden. Zum Erfassen von von der Meßelektronik übermittelten Meßwerten ist Datenverarbeitungssystem 2 ferner wenigstens eine zumindest zeitweise mit dieser geeignet kommunizierende Auswerte-Schaltung 80 vorgesehen. Das übergeordnete Datenverarbeitungssystem 1 kann beispielsweise Teil einer prozeßnahen automatisierten Steuerung oder auch eines weitreichenden Prozeßleitsystems sein, das eine Vielzahl von Prozeßleitrechnern und/oder digitalen Speicherprogrammierbaren Steuerungen aufweist, die innerhalb einer industriellen Anlage räumlich verteilt angeordnet und über ein entsprechendes, insb. auch mittels digitaler Feldbusse gebildetes, Datenübertragungsnetzwerk miteinander gekoppelt sind. Gleichermaßen kann das Datenverarbeitungssystem mit weiteren Meßgeräten und/oder mit in den Prozeß eingreifenden Stellgeräten, wie z.B. Ventilen oder Pumpen, verbunden sein. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung umfaßt das Datenverarbeitungssystem weiters wenigstens einen dem Übertragen digitaler Meß- und/oder Betriebsdaten dienenden, insb. seriellen, Feldbus FB. Bei dem wenigstens einen Feldbus FB kann es sich beispielsweise um einen solchen gemäß einem der in der industriellen Prozeßautomation etablierten Standards, wie z.B. FOUNDATION FIELDBUS, PROFIBUS, CANBUS, MODBUS, RACKBUS–RS 485 oder dergleichen, handeln. In einer vorteilhaften Weiterbildung ist dabei ferner

vorgesehen, daß die vorgenannte Auswerte-Schaltung 80, insb. zur Weiterleitung der vom Meßsystem inform digitaler Meßdaten empfangenen Meßwerte, an den wenigstens einen Feldbus gekoppelt ist. Je nach Ausführung von Feldbus und Meßelektronik kann letztere entweder direkt oder mittels eines Adapters, der das Meßwert tragende Signal passend konvertiert, an das Datenverarbeitungssystem 2 angeschlossen sein.

[0121] Die Meßelektronik und das von dieser räumlich, gegebenenfalls beträchtlich, entfernte Datenverarbeitungssystem 2 sind gemäß einer Weiterbildung der Erfindung mittels wenigstens eines im Betrieb zumindest zeitweise von einem, insb. veränderlichen, Strom I durchflossen Leitungspaares 2L miteinander elektrisch verbunden. Der Strom kann beispielsweise von einer im übergeordneten Datenverarbeitungssystem vorgesehenen externen elektrischen Energieversorgung 70 eingespeist sein, die im Betrieb wenigstens eine den im Leitungspaar 2L fließenden Strom I treibende, insb. uni-polare, Versorgungsspannung U_V bereit stellt. Als Energiequelle kann dabei z. B. eine Batterie und/oder eine über ein anlageninternes Versorgungsnetz gespeiste Gleich- oder Wechselspannungsquellenschaltung dienen. Zum, insb. wieder lösbaren, Anschließen des wenigstens einen Leitungspaares 2L an die Meßelektronik 100 und insoweit das Meßsystem 1 als solches weist diese weiters wenigstens ein nach außen geführtes Klemmenpaar auf.

[0122] Für den vorbeschriebene Fall der modular der mittels separater Teil-Elektroniken aufgebauten Meßelektronik kann beispielsweise jede der verwendeten Teil-Elektroniken 100_1, 100_2 separat an die externe Energieversorgung angeschlossen sein, beispielsweise auch mittels der vorgenannten 4-20 mA-Stromschleife. Alternativ oder in Ergänzung kann aber auch eine der Teil-Elektroniken 100_1, 100_2 so an die andere angeschlossen sein, daß sie diese zumindest zeitweise mit elektrischer Energie versorgen kann.

[0123] Die Meßelektronik ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung ferner so ausgebildet, daß die Meßsystem intern generierten Meßwerte - seien es nun Meßwerte von einer einzigen erfaßten Meßgrößen oder Meßwerte

von diversen erfaßten Meßgrößen, wie z.B. die ermittelte Dichte und ein ermittelter Massendurchfluß - zumindest teilweise über das wenigstens eine Leitungspaar 2L an das übergeordnete Datenverarbeitungssystem 2 übermittelt. Das Paar elektrischer Leitungen 2L kann dabei beispielsweise als Teil einer sogenannten, in der industriellen Meßtechnik äußerst bewährten Zweileiter-Stromschleife ausgebildet sein. Für diesen Fall würden dann einerseits die zumindest zeitweise erzeugten Meßwerte über dieses einzige Leitungspaar 2L an das übergeordnete Datenverarbeitungssystem inform eines lastmodulierten, insb. getakteten oder kontinuierlich veränderlichen, Schleifenstromes gesendet werden und andererseits die Meßelektronik und insoweit das Meßsystem zumindest zeitweise und/oder zumindest anteilig über das Leitungspaar 2L mit elektrischer Energie versorgt werden.

[0124] Die Meßelektronik 100 ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ferner dafür ausgelegt, im Betrieb eine Vielzahl von zumindest anteilig die wenigstens eine Meßgröße repräsentierenden, insb. digitalen, Meßwerten zu generieren, und diese zumindest teilweise via Klemmen- und daran entsprechend angeschlossenes Leitungspaar 2L an das angeschlossene Datenverarbeitungssystem 2 auf dieses abgestimmt zu übermitteln. Falls erforderlich, kann das Meßsystem ferner dahingehend weitergebildet sein, daß Meßelektronik 100 und Datenverarbeitungssystem 2 auch mittels wenigstens eines zusätzlichen – hier nicht gezeigten – zweiten Leitungspaares miteinander verbunden sind, das im Betrieb zumindest zeitweise entsprechend von einem Strom durchflossen ist. Für diesen Fall kann das Meßsystem ferner die intern generierten Meßwerte zumindest teilweise auch über das zusätzliche Leitungspaar an das Datenverarbeitungssystem übermitteln. Alternativ oder in Ergänzung dazu können Meßsystem und Datenverarbeitungssystem auch drahtlos, beispielsweise mittels Funkwellen, miteinander kommunizieren. Besonders für letzteren Fall, kann es auch von Vorteil sein, das Meßsystem, insb. auch ausschließlich, mittels einer internen und/oder externe, insb. austauschbaren und/oder wiederaufladbaren, Batterie und/oder Brennstoffzelle mit elektrischer

Energie zu versorgen. Darüberhinaus kann das Meßsystem zudem auch – anteilige oder ausschließlich- mittels regenerative Energiequellen nutzenden, unmittelbar am Feldmeßgerät und/oder von diesem entfernt plazierten, Leistungskonvertern gespeist sein, wie. z.B. Thermogeneratoren, Solarzellen, Windgeneratoren oder dergleichen.

[0125] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Meßsystem via Meßelektronik zumindest zeitweise mit einer externen Bedien- und Kontroll-Einheit, beispielsweise einem Handbediengerät oder einer im übergeordneten Datenverarbeitungssystem vorgesehenen Programmiergerät, gerätespezifische Daten, wie z.B. Meßgerät interne Einstell-Parameter für die Meßelektronik selbst und/oder Meßsystem interne Diagnose-Parameter, austauschen kann. Dafür ist in der Meßelektronik 100 ferner wenigstens eine Kommunikationsschaltung COM vorgesehen, die die Kommunikation über das wenigstens eine Leitungspaar 2L entsprechend kontrolliert und steuert. Im besonderen dient die Kommunikationsschaltung dazu, die zu sendenden meßsystemspezifische Daten in Signale umzuwandeln, die über das Paar 2L elektrische Leitungen übertragbar sind, und diese dann darin einzukoppeln. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann die Kommunikationsschaltung COM aber auch dafür ausgelegt sein, von extern über das jeweilig Paar elektrische Leitungen gesendete meßsystemspezifische Daten, beispielsweise einen Satz von zu ändernden Einstell-Parameter für die Meßelektronik, entsprechend zu empfangen. Als Kommunikationsschaltung kann, z. B. eine gemäß dem HART@-Feld-Kommunikations-Protokoll (HART Communication Foundation, Austin TX) arbeitende Schnittstellenschaltung dienen, die also höher frequente, FSK-codierte (frequency shift keying) Wechselspannungen als Signalträger verwendet, oder aber auch gemäß dem PROFIBUS-Standard ausgelegte Schnittstellenschaltung. Falls erforderlich, können ferner auch extern, beispielsweise in einer Laufzeitumgebung des übergeordneten Datenverarbeitungssystems, ablaufende, mit der Meßelektronik 100 kommunizierenden Daten ver- und/oder bearbeitende Prozesse auf die Meßelektronik direkten Zugriff

haben.

[0126] Beim erfindungsgemäßen Meßsystem ist ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik im Betrieb den Dichte-Meßwert $X\rho$ unter Verwendung zumindest des Temperaturmeßsignals $x\vartheta$ sowie des Druckmeßsignals x_p in der Weise erzeugt, daß er eine lokale Dichte momentan repräsentiert, die das strömende Medium an einer innerhalb der Prozeßleitung 20 örtlich definierten - gegebenenfalls auch von der realen Druckmeßstelle und/oder der realen Temperaturmeßstelle entlang der Strömungsachse vorgebbar beabstandeten – gedachten Referenzpunkt tatsächlich aufweist, der in Ermanglung eines entsprechenden Dichtesensors daselbst und zur Unterscheidung von den mittels des Temperatursensors bzw. Drucksensors jeweils tatsächlich gebildeten und insoweit realen Meßstellen als virtuelle Dichtemeßstelle $M'\rho$ bezeichnet ist. Die virtuelle Dichtemeßstelle $M'\rho$ kann dabei sowohl auf einen im Betrieb aus einer Vielzahl vorgegebener Referenzpunkte ausgewählten Referenzpunkt bezogen und insoweit in definierter Weise ortsveränderlich sein als auch ortsfest gehalten. Zumindest für letzteren Fall ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, das Elektronik-Gehäuse 110 mit darin befindlicher Meßelektronik in unmittelbarer Nähe der virtuellen Dichte-Meßstelle $M'\rho$ zu plazieren. Die Definition der virtuellen Dichte-Meßstelle $M'\rho$ erfolgt dabei durch entsprechende Konfiguration der Meßelektronik, insb. der darin zum Zwecke der Dichte-Messung ausgeführten Berechnungsverfahren, unter Berücksichtigung von Position und geometrischer Ausprägung der realen Meßstellen M_p, $M\vartheta$. Dabei ist gemäße einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß die virtuelle Dichte-Meßstelle $M'\rho$ stromaufwärts der Temperatur-Meßstelle $M\vartheta$ und/oder stromaufwärts der Druck-Meßstelle M_p festgelegt ist. Ferner kann es für die Ermittlung der Dicht von Vorteil sein, die Dichte-Meßstelle entweder mit Temperatur-Meßstelle oder mit Druck-Meßstelle konizidieren zu lassen.

[0127] Beim in Rede stehenden Meßsystem ist dabei unterstellt, daß das strömende Medium wenigstens eine Zustandsgröße, beispielsweise eine Temperatur und/oder ein Druck und/oder einer Dichte, und/oder eine

Reynoldszahl *Re* aufzeigt, die – einzeln oder zusammen - an der virtuellen Dichtemeßstelle M'ρ zumindest zeitweise, insb. in dem für die Erzeugung des Dichte-Meßwerts relevanten Zeitraum und/oder wiederkehrend, einen zumindest im Sinne einer für die Dichtemessung erwünschten Meßgenauigkeit signifikant anderen Betrag annehmen, als an wenigstens einer der tatsächliche Meßsignale liefernden realen Meßstellen, also der Temperatur-Meßstelle und/oder der Druckmeßstelle. Anders gesagt wird davon ausgegangen, daß sich das Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle zumindest zeitweise in einem thermodynamischen Zustand und/oder in einem Strömungszustand befindet, der sich hinsichtlich wenigstens einer lokalen thermodynamischen Zustandsgröße –Temperatur, Druck, Dichte etc. - von einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Temperaturmeßstelle und/oder von einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Druckmeßstelle signifikant, insb. in einem für eine angestrebte Meßgenauigkeit des Meßsystems erheblichen Maße, unterscheidet. Diese räumlich Varianz von thermodynamischen Zustand und/oder Strömungszustand im strömenden Medium kann, wie bereits erwähnt, z.B. bei einem kompressiblen Medium, einem in der Prozeßleitung reagierenden Medium, einem zusätzlich gekühlten Medium oder einem zusätzlich erhitzten Medium auftreten. Darüber hinaus kann eine solche Varianz thermodynamischen Zustand und/oder Strömungszustand auch dadurch hervorgerufen sein, daß das Medium durch eine Prozeßleitung strömen gelassen ist, die sich entlang der Strömungsachse abschnittsweise verengt und/oder abschnittsweise aufweitet, wie dies beispielsweise bei der Verwendung von Düsen bzw. Diffusoren in der Prozeßleitung gegeben ist, und damit einhergehend beschleunigt bzw. verlangsamt wird, gegebenenfalls einhergehend mit einer Komprimierung oder Expandierung desselben .

[0128] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist daher des weiteren vorgesehen, daß die Meßelektronik basierend auf dem Druckmeßsignal sowie dem Temperaturmeßsignal zunächst einen provisorischen Dichte-Meßwert X'ρ, beispielsweise gemäß einem der erwähnten

Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006, ermittelt, der eine Dichte repräsentiert, die das strömende Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle – infolge der vorläufigen Vernachlässigung der in Rede stehenden räumlichen Varianzen des thermodynamischen Zustands und/oder des Strömungszustands - lediglich scheinbar aufweist.

[0129] Die Ermittlung des provisorischen Dichte-Meßwerts X'ρ kann dabei zumindest zeitweise, insb. auch für zumindest anteilig gasförmige Medien wie Erdgas, Luft, Methan, Phosgen etc., basierend auf der Vorschrift:

[0130] $$X'_\rho = \frac{n}{z \cdot R_M} \cdot \frac{X_p}{X_\vartheta} \quad (1)$$

[0131] erfolgen, worin n einer molaren Masse, z einem, beispielsweise gemäß einem der Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006 und/oder unter Verwendung des Temperaturmeßsignals und/oder des Druckmeßsignals, ermittelten, Realgasfaktor des Mediums, und R_M der relativen Gaskonstante des zu messenden Mediums entsprechen, die mit der auf die molare Masse n des Mediums normierten absoluten Gaskonstante R / n mit R= 8.3143 J / (K mol) korrespondieren.

[0132] Alternativ oder in Ergänzung dazu, kann die Meßelektronik den provisorischen Dichte-Meßwert X'ρ , insb. bei zumindest anteilig wasserdampfhaltigem Medium, zumindest zeitweise auch basierend auf der Vorschrift:

[0133] $$X'_\rho = \pi_{IAWPS\text{-}IF97} \cdot \gamma_{IAWPS\text{-}IF97} = \frac{X_p}{P^*_{IAWPS\text{-}IF97}} \cdot \frac{g_{IAWPS\text{-}IF97}}{R_M \cdot X_\vartheta} \quad (2)$$

[0134] ermitteln, mit $\pi_{IAWPS\text{-}IF97}=X_p/P^*_{IAWPS\text{-}IF97}$ und $\gamma_{IAWPS\text{-}IF97}=g_{IAWPS\text{-}IF97}/(R_M*X\vartheta)$, wobei P* einem Medium spezifischen kritischen Druck gemäß dem Industrie-Standard IAWPS-IF97, insb. 16,53 MPa für den Fall, daß es sich bei dem zu messenden Medium um Wasser handelt, oberhalb dessen das jeweils zu messende Medium jedenfalls nicht flüssig sein kann, und g $_{IAWPS\text{-}IF97}$ einer Medium spezifischen freien Enthalpie (Gibbs'sche freie Energie) gemäß dem Industrie-Standard IAWPS-IF97 entsprechen.

[0135] Die Auswahl der aktuell tatsächlich geeigneten Berechnungsvorschrift für

den provisorische Dichte-Meßwert X'ρ und insoweit letztlich auch für den eigentlichen Dichte-Meßwert Xρ kann dabei automatisch und/oder im Dialog mit dem Anwender vor Ort bzw. via übergeordnetes Datenverarbeitungssystem halbautomatisch erfolgen - gegebenenfalls auch unter Berücksichtigung des aktuell gemessenen Drucks und der aktuell gemessenen Temperatur und/oder gemäß dem in der eingangs erwähnten WO-A 2004/023081 vorgeschlagenen Auswahlverfahren

[0136] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert auch unter Verwendung wenigstens eines, beispielsweise digital gespeicherten, numerischen Kompensationsfaktors K erzeugt, der mit einer entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, meßsystem- und mediumspezifischen Ortsveränderlichkeit wenigstens einer thermodynamischen Zustandsgröße des Mediums, insb. der Temperatur, dem Druck oder der Dichte selbst, und/oder der mit einer entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden meßsystem- und mediumspezifischen Ortsveränderlichkeit der Reynoldszahl des strömenden Mediums korrespondiert.

[0137] Die vorgenannten Ortsveränderlichkeiten und insoweit der Kompensationsfaktors K können dabei zumindest für Meßsysteme mit gleichbleibenden Bedingungen vorab und/oder im Betrieb ermittelt werden, beispielsweise unter Berücksichtigung des tatsächlich zu messenden Mediums, insb. dessen chemische Zusammensetzung und/oder dessen thermodynamischen Eigenschaften. Die Ermittlung des Kompensationsfaktors K kann z.B. während einer Kalibrierung des Meßsystems mit bekanntem Referenzmedium und/oder während der Inbetriebnahme des Meßsystems vor Ort erfolgen. Für bestimmte Anwendungen, insb. mit Medien mit gleichbleibender chemischer Zusammensetzung und gleichbleibenden thermodynamischen Eigenschaften, kann es durchaus ausreichend sein den wenigstens einen Kompensationsfaktor K lediglich während der Inbetriebnahme des Meßsystems zumindest einmal zu ermitteln. Bei sich im Betrieb des Meßsystems hinsichtlich der Zusammensetzung und/oder den

thermodynamischen Eigenschaften erheblich ändernden Medien, gegebenenfalls auch Zuge einer Auswechselung desselben, kann es aber durchaus von Vorteil sein, wenn die Meßelektronik den Kompensationsfaktor K auch nach der Inbetriebnahme während des Betriebs des Meßsystems wiederkehrend ermittelt. Die Ermittlung des wenigsten einen Kompensationsfaktors K kann dabei beispielsweise anhand einer vorgegebenen, gegebenenfalls im Dialog mit dem Anwender – vor Ort oder entfernt - und/oder extern der Meßelektronik ermittelten, spezifischen Wärmekapazität, c_p, des aktuellen Mediums durchgeführt werden. Beispielsweise kann die Wärmekapazität, c_p, oder auch andere für die Spezifizierung des aktuell zu messenden Mediums vom übergeordneten Datenverarbeitungssystem an die Meßelektronik gesendet und insoweit an das Meßsystem übermittelt werden.

[0138] Nach einer anderen Weiterbildung der Erfindung weist die Meßelektronik, insb. zur Vereinfachung der Ermittlung des Kompensationsfaktors K, wenigstens einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher 16 zum Speichern von Meßsystemparametern auf, die für den Betrieb des Meßsystems, insb. zur Definition von dessen Meß- und Übertragungsfunktionalitäten, erforderlich sind. Im besonderen ist hierbei ferner vorgesehen, daß der, beispielsweise als Tabellenspeicher ausgebildete und/oder nicht-flüchtige, Datenspeicher den wenigstens einen Kompensationsfaktor K zumindest zeitweise vorhält, falls erforderlich auch bei abgeschalteter Meßelektronik. Beispielsweise kann der Datenspeicher hiefür auch eine Vielzahl von vorab für verschiedene Medien und/oder für verschiedene Einbausituationen ermittelten Kompensationsfaktoren vorhalten, so daß die Meßelektronik den wenigstens einen aktuell tatsächlich Kompensationsfaktor K unter Berücksichtigung des aktuellen Mediums sowie der aktuellen Einbausituation aus der Vielzahl von im Datenspeicher vorgehaltenen Kompensationsfaktoren auswählen kann.

[0139] Insbesondere auch zur Ermittlung des Kompensationsfaktor K ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ferner vorgesehen, daß der Datenspeicher wenigstens einen lediglich das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameter SP_M erster Art zumindest

zeitweise vorhält und daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert $X\rho$ unter Verwendung zumindest des wenigstens einen Meßsystemparameters SP_M erster Art ermittelt. Bei dem Meßsystemparameter SP_M erster Art kann es sich beispielsweise um eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse, n, des Mediums und/oder die durch den molekularen Aufbau des Mediums bestimmte Anzahl, f, von Schwingungsfreiheitsgraden der Atome bzw. Moleküle des Mediums und/oder daraus abgeleitete Parameter, wie z.B. den, gegebenenfalls auch gemäß einem der Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006 ermittelten Realgas- oder auch (Super-) Kompressibilitätsfaktor handeln. Insoweit ist es ohne weiteres einsichtig, daß im Datenspeicher dementsprechend auch zwei oder mehr solcher, das aktuell zu messenden Medium gleichsam spezifizierender Meßsystemparameter SP_M erster Art von verschiedener Dimension und/der Maßeinheit vorgehalten sein können.

[0140] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist des weiteren vorgesehen, daß der Datenspeicher wenigstens einen sowohl das aktuell zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter SP_{ME} zweiter Art zumindest zeitweise vorhält, und daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert $X\rho$ unter Verwendung zumindest des Meßsystemparameters SP_{ME} zweiter Art ermittelt, insb. aber auch unter Verwendung des Meßsystemparameters SP_M erster Art. Die Einbausituation ist dabei - zumindest in einem für die Ermittlung des Dichte-Meßwerts erheblichen Maße - durch die Anordnung von Druck-, Temperatur- und Dichtemeßstelle relativ zueinander sowie jeweils durch Form und Größe der Prozeßleitung im Bereich der Druck-, Dichte- und/oder Temperaturmeßstelle bestimmt. Daher kann der Meßsystemparameter SP_{ME} zweiter Art beispielsweise ein Teil eines die Meßstellen hinsichtlich ihrer tatsächlichen Position und tasächliche Ausprägung der Prozeßleitung im Bereich der Meßstellen sowie auch die thermodynamischen Eigenschaften des aktuell zu messenden Mediums reflektierenden Parametersatzes oder auch der numerische Wert eines

selbige Einflüsse entsprechend berücksichtigenden, beispielsweise experimentell und/oder empirisch, gegebenenfalls auch unter Verwendung Meßsystemparameters SP_M erster Art erst im Betrieb des Meßsystems definitiv ermittelten, Komplexparameters sein.

[0141] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik zumindest zeitweise, insb. vom übergeordneten Datenverarbeitungssystem telegraphierte und/oder zeitnah ermittelte, numerische Parameterwerte für wenigstens einen zu messendes Medium und/oder eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter SP_M, SP_{ME} empfängt, beispielsweise also die Wärmekapazität, c_P, für aktuell und/oder künftig zu messendes Medium. Die Wärmekapazität, c_P, oder auch ein gleichermaßen übertragener anderer Systemparameter S_M erster Art kann dabei durch eine entsprechende, beispielsweise von der Dichte-Meßstelle und/oder auch extern des Meßsystems durchgeführte, Messung und/oder eine anwenderseitige Eingabe vorab ermittelt werden, gegebenenfalls auch unter Verwendung des übergeordneten Datenverarbeitungssystem. Ferner ist daher beim erfindungsgemäßen Meßsystem vorgesehen, daß die zumindest zeitweise - leitungsgebunden und/oder per Funk - mit dem übergeordneten elektronischen Datenverarbeitungssystem kommunizierende Meßelektronik den Dichte-Meßwert an das Datenverarbeitungssystem sendet und/oder daß die Meßelektronik zumindest zeitweise numerische, insb. inform eines standardisierten Telegramms, Parameterwerte für das zu aktuell messende Medium, beispielsweise also dessen thermodynamischen Eigenschaften und/oder dessen chemische Zusammensetzung, spezifizierende Meßsystemparameter SP_M erster Art vom Datenverarbeitungssystem empfängt. Falls erforderlich kann ist es ferner auch möglich, Meßsystemparameter SP_{ME} zweiter Art mittels des Datenverarbeitungssystem zu ermitteln und inform numerischer Parameterwerte direkt an die Meßelektronik zu senden.

[0142] Für den vorbeschriebenen Fall, daß die Meßelektronik im Betrieb anhand von Systemparametern S_M erster Art zumindest zeitweise die spezifische

Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums selbsttätig ermitteln soll, kann dies beispielsweise basierend auf der Vorschrift:

[0143] $$c_p = \left(1 + \frac{f}{2}\right) \cdot \frac{R}{n}, \quad (3)$$

[0144] erfolgen, worin *n* dem Meßsystemparameter der molaren Masse, *R* der absoluten Gaskonstante mit $R = 8.3143\ J / (K \cdot mol)$ und *f* dem Meßsystemparameter Anzahl von Schwingungsfreiheitsgraden der Atome bzw. Moleküle des aktuell zu messenden Mediums entsprechen.

[0145] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, den Kompensationsfaktor so zu bestimmen, daß er lediglich durch das aktuell zu messende Medium, insb. dessen chemische Zusammensetzung sowie den davon unmittelbar abgeleiteten physikalischen Eigenschaften, sowie die konkrete Ausführung des Meßsystems hinsichtlich der Einbaumaße und -positionen der einzelnen Meßstellen sowie Größe und Form der Prozeßleitung im Bereich der Meßstellen bestimmt ist, so daß er letztlich weitgehend unabhängig vom real gemessenen Meßgrößen Druck und Temperatur ist.

[0146] Dem Rechnung tragend und in Anbetracht dessen, daß die in Rede stehend räumliche Varianz des thermodynamischen Zustand bzw. des Strömungszustands des strömenden Medium und damit einhergehnd die Meßgenauigkeit solcher Meßsysteme durchaus auch von der tatsächlichen Strömungsgeschwindigkeit des Mediums selbst mitbestimmt sein kann, ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert $X\rho$ unter Verwendung wenigstens eines sowohl von einer Strömungsgeschwindigkeit des Mediums als auch von der an der Temperaturmeßstelle herrschenden lokalen Temperatur abhängigen, zur Laufzeit ermittelten Dichte-Korrekturwerts X_K ermittelt. Dieser Dichte-Korrekturwert X_K ist dabei so ausgebildet, daß er mit einer, insb. durch das aktuell zu messende Medium sowie eine momentane Einbausituation bedingten und/oder entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, momentanen Ortsveränderlichkeit wenigstens einer thermodynamischen Zustandesgröße des Mediums und/oder der mit

einer, insb. durch das Medium und/oder die Bauart des Meßsystems bedingten und/oder entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, momentanen Ortsveränderlichkeit der Reynoldszahl des strömenden Mediums korrespondiert.

[0147] Dafür ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß in der Meßelektronik zumindest zeitweise ein entsprechender Geschwindigkeits-Meßwert X_v verfügbar ist, der eine möglichst aktuelle Strömungsgeschwindigkeit des im Meßsystem strömenden Mediums momentan repräsentiert.

[0148] Unter Verwendung des Geschwindigkeits-Meßwert X_v und des Temperaturmeßwerts $X\vartheta$ sowie des bereits erwähnten Kompensationsfaktors K kann dann der Dichte-Korrekturwert X_K mittels der Meßelektronik basierend auf der Vorschrift:

[0149] $$X_K = \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^{\,2}}{X_\vartheta}\right)} \quad (4)$$

[0150] sehr einfach ermittelt werden. Zumindest für den oben beschriebenen Fall, daß die Meßelektronik 100 den provisorischen Dichte-Meßwert $X'\rho$ mittels eines auf der Berechnungsvorschrift (1) und/oder auf der Berechnungsvorschrift (2) basierenden Rechenalgorithmus ermittelt, kann der Dichte-Meßwert $X\rho$ für die virtuell gemessene Dichte unter Verwendung sowohl des provisorische Dichte-Meßwerts $X'\rho$ als auch des Dichte-Korrekturwerts X_K weiterführend auf der Vorschrift:

[0151] $$X_\rho = X'_\rho \cdot X_K \quad (5)$$

[0152] sehr einfach und schnell ermittelt.

[0153] Dementsprechend ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung die Meßelektronik so konfiguriert, daß sie den Dichte-Meßwert $X\rho$ unter Anwendung der vorgenannten Berechnungsvorschriften (4), (5) sowie (1) bzw. (2) zumindest zeitweise basierend auf der Vorschrift:

[0154] $$X_\rho = \frac{n \cdot X_p}{z \cdot R_M \cdot \left(X_\vartheta + K \cdot X_v^{\,2}\right)} = \frac{n \cdot X_p}{z \cdot R_M \cdot X_\vartheta} \cdot \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^{\,2}}{X_\vartheta}\right)} \quad (6)$$

[0155] und/oder zumindest zeitweise basierend auf der Vorschrift:

[0156] $$X_\rho = \pi_{IAWPS\text{-}IF97} \cdot \gamma_{IAWPS\text{-}IF97} \cdot \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^{\,2}}{X_g}\right)} = \frac{X_p}{P^*_{IAWPS\text{-}IF97}} \cdot \frac{g_{IAWPS\text{-}IF97}}{R_M \cdot X_g} \cdot \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^{\,2}}{X_g}\right)}$$

(7)

[0157] ermittelt.

[0158] Zur Prüfung der Plausibilität des momentan ermittelten Dichte-Meßwert, beispielsweise im Zuge einer Selbstvalidierung des Meßsystems, vergleicht die Meßelektronik gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung den Dichte-Korrekturwert X_K im Betrieb wiederkehrend mit wenigstens einem vorgegebenenmeßsystemspezifischen Referenzwert. Weiterführend ist hierbei vorgesehen, daß die Meßelektronik basierend auf dem Vergleich von Dichte-Korrekturwert X_K und Referenzwert eine momentane Abweichung der Dichte-Korrekturwerts X_K vom Referenzwert quantitativ signalisiert und/oder zeitweise einen Alarm generiert, der eine unerwünschte, insb. unzulässig hohe, Diskrepanz zwischen Dichte-Korrekturwerts X_K und zugehörigem Referenzwert signalisiert. Alternativ oder in Ergänzung dazu ist die Meßelektronik ferner so ausgebildet, daß sie im Betrieb wiederkehrend einen Dichtefehler ermittelt, der mit einer, insb. relativen, Abweichung von, insb. im obigen Sinne standardgemäß ermitteltem, provisorischem Dichte-Meßwert X'ρ und Dichte-Meßwert Xρ korrespondiert, auch inform eines numerischen Dichtefehler-Werts ausgibt. Eine unzulässige hohe Diskrepanz zwischen provisorischem Dichte-Meßwert X'ρ und Dichte-Meßwert Xρ bzw. zwischen Dichte-Korrekturwert X_K und zugehörigem Referenzwert kann beispielsweise auf eine fehlerhaft parametrierte Meßelektronik bzw. einen unerwartete Veränderung des zu messenden Mediums und/oder eine Störung einer die Prozeßleitung umfassenden Anlage zurückzuführen sein. Dem Rechnung tragend ist gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert X_K bei der Generierung des Dichte-Meßwerts Xρ lediglich dann verwendet, wenn er mindest eins beträgt, insb. in einem Bereich zwischen 1 und 1,2 liegt. Gemäß einer dazu alternativen Ausgestaltung, ist die Meßelektronik so

konfiguriert, daß sie den Dichte-Korrekturwert X_K bei der Generierung des Dichte-Meßwerts $X\rho$ lediglich dann verwendet, wenn er höchstens eins beträgt, insb. in einem Bereich zwischen 0,8 und 1 liegt. Zu dem kann es für den Anwender zu dem von Vorteil sein, wenn die Meßelektronik den momentanen Dichtefehler inform eines numerischen Dichtefehler-Werts ausgibt und/oder mit wenigstens einem vorgegebenen Referenzwert vergleicht und basierend auf diesem Vergleich zeitweise einen Alarm generiert, der eine unerwünschte, insb. unzulässig hohe, Diskrepanz zwischen provisorischem Dichte-Meßwert $X'\rho$ und Dichte-Meßwert $X\rho$ signalisiert, beispielsweise vor Ort mittels des Anzeigeelements HMI.

[0159] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist das Meßsystem ferner, insb. auch zum Zwecke der selbsttätigen und zeitnahen Ermittlung des Dichte-Korrekturwerts X_K, mit wenigstens einem an einer Geschwindigkeitsmeßstelle M_v plazierten Strömungssensor ausgerüstet, der - primär auf eine lokale, insb. über einen Querschnitt der Prozeßleitung gemittelte, Strömungsgeschwindigkeit des zu messenden Mediums, insb. auch Änderungen derselben, reagierend - wenigstens ein von der lokalen Strömungsgeschwindigkeit beeinflußtes Strömungsmeßsignal x_v liefert. Im Betrieb kommunizieren Meßelektronik 100 und Strömungssensor daher zumindest zeitweise miteinander, zumindest derart, daß die Meßelektronik das vom Strömungssensor generierte Strömungsmeßsignal x_v zumindest zeitweise zur Verfügung steht. Im besonderen ist hierbei ferner vorgesehen, daß die Meßelektronik den Dichte-Meßwert $X\rho$ auch unter Verwendung auch des Strömungsmeßsignals ermittelt. Zumindest dafür kommuniziert die Meßelektronik zumindest zeitweise auch mit dem Strömungssensor, z.B. auch via externem Feldbus und/oder drahtlos per Funk. Des weiteren ist vorgesehen den Dichte-Meßwert mittels der Meßgerät-Elektronik in der Weise zu generieren, daß er eine örtliche Dichte des Mediums im Bereich des Strömungssensors repräsentiert.

[0160] Im hier gezeigten Ausführungsbeispiel ist zumindest der Strömungssensor, insb. aber auch eines der Elektronikmodule der Meßelektronik, mittels eines, beispielsweise als Kompaktgerät

ausgebildeten, industrietauglichen In-Line-Meßgeräts für strömende Medien bereitgestellt. Das In-Line-Meßgerät umfaßt wenigstens ein im Betrieb vom zu messenden Medium durchströmtes, insb. unmittelbar in den Verlauf der Prozeßleitung eingesetztes und insoweit ein Leitungssegment derselben bildendes, im wesentlichen starres und ausreichend druckfestes Trägerrohr, an und/oder in dem der eigentliche Strömungssensor entsprechend angebracht ist. Je nach Anwendungsfall kann das Trägerrohr beispielsweise aus Metall, Kunststoff und/oder Keramik bestehen.

[0161] Bei dem hier exemplarisch gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Strömungssensor von einem in den Verlauf der Prozeßleitung eingesetzten, als Wirbeldurchflußmesser ausgebildeten, kompakten In-Line-Meßgerät bereit gestellt. Solche Wirbeldurchflußmesser dienen herkömmlicherweise dazu, eine Strömungsgeschwindgkeit und/oder einen Volumendurchfluß von strömenden Medien, insb. von hoher Temperatur und/oder hohem Druck, als primäre physikalische Meßgröße hochgenau zu erfassen.

[0162] Die in den Fig. 3a und 3b gewählten Ansichten zeigen den Wirbeldurchflußmesser - einerseits in Strömungsrichtung gesehen (Fig. 3a) und andererseits gegen die Strömungsrichtung gesehen (Fig. 3b) - perspektivisch im Schnitt. Der Wirbeldurchflußmesser weist einen an einer Rohrwand 21 eines faktisch ein Leitungssegment der Prozeßleitung bildenden Trägerrohrs 20 fixierten und durch eine darin eingebrachte Bohrung 22 hindurch ragenden Wirbelsensor 30 auf, der im obigen Sinne als Strömungssensor dient. Dieser kann beispielsweise ein dynamisch kompensierter Wirbelsensor mit einem an ein in das Medium eintauchenden Paddel und einem dessen Deformationen erfassenden kapazitiven Geberelement sein, wie er u.a. auch in der US-A 60 03 384 beschrieben ist.

[0163] Im Innerem des Trägerrohrs 20, das selbst beispielsweise mittels entsprechender Flanschverbindung in die Rohrleitung eingesetzt ist, ist entlang eines von dessen Durchmessern ferner ein Staukörper 40 angeordnet, der mit dem Trägerrohr 20 unter Bildung einander diametral

gegenüberliegenden Fixierstellen 41, 41* fest verbunden ist. Das Zentrum der Bohrung 22 und das Zentrum der Fixierstelle 41 liegen auf einer Mantellinie des Trägerrohrs 20. Der Staukörper 40 hat eine Prallfläche 42, gegen die im Betrieb zu messendes Medium anströmt. Der Staukörper 40 hat ferner zwei Seitenflächen, von denen lediglich eine (vordere) Seitenfläche 43 in den Fig. 3a und 3b zu sehen ist. Von der Prallfläche 42 und den Seitenflächen werden zwei Abrisskanten gebildet, von denen lediglich eine (vordere) Abrisskante 44 vollständig und eine (hintere) Abrisskante 45 andeutungsweise in Fig. 3a zu sehen sind. Der Staukörper 40 der Fig. 3a und 3b hat hier im wesentlichen die Form einer geraden Dreieck-Säule, also einer Säule mit einem dreieckigen Querschnitt. Falls erforderlich können selbstverständlich auch anders geformte Staukörper zur Realisierung des erfindungsgemäßen Meßsystems verwendet werden.

[0164] Durch das Anströmen des Mediums gegen die Prallfläche 42 bildet sich stromabwärts vom Staukörper 40 in der bekannten Weise eine Karman'sche Wirbelstraße aus, indem an jeder Abrißkante abwechselnd Wirbel abreißen, die dann im strömenden Medium mitschwimmen. Diese von der Strömung mitgenommenen Wirbel erzeugen wiederum lokale Druckschwankungen im strömenden Medium, deren zeitbezogene Abriß-Häufigkeit, also deren sogenannte Wirbelfrequenz, ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit und/oder den Volumendurchfluß des Mediums ist. Die von den mitschwimmenden Wirbeln ausgelösten Druckschwankungen werden mittels des - hier mittels Paddels – gebildeten, stromabwärts des Staukörpers plazierten Wirbelsensors 30 in ein mit der mit der lokale Strömungsgeschwindigkeit korrespondierendes, als elektrisches Strömungsmeßsignal x_v dienendes Wirbelsignal entsprechend umgeformt.

[0165] Das Geberelement 36 erzeugt das oben erwähnte Meßsignal, dessen Frequenz proportional zum Volumendurchfluß des strömenden Mediums ist.

[0166] Der Wirbelsensor 30 ist stromabwärts vom Staukörper 40 in die Bohrung 22 der Rohrwand 21 des Trägerohrs 20 eingesetzt und dichtet die Bohrung 22 zur Mantelfläche des Trägerrohrs 20 hin ab, wozu der

Wirbelsensor 30 mit der Rohrwand 21 verschraubt ist. Hierzu dienen z. B. vier Schrauben, von denen in den Fig. 3a und 3b die Schrauben 5, 6, 7 zu sehen sind. Vom Wirbelsensor 30 ist eine in den Fig. 3a und 3b in das Innere des Trägerrohrs 20 durch die Bohrung 22 der Rohrwand 21 hindurch ragende keilförmige Sensorfahne 31 und eine Gehäusekappe 32 zu sehen. Die Gehäusekappe 32 läuft unter Einfügung eines dünnerwandigen Zwischenstücks 323 in eine Verlängerung 322 aus, vgl. hierzu auch die bereits erwähnte US-A 60 03 384. Die Sensorfahne 31 hat Hauptflächen, von denen in den Fig. 3a und 3b nur die Hauptfläche 311 zu sehen ist. Die Hauptflächen fluchten mit der erwähnten Mantellinie des Trägerohrs 20 und bilden eine Frontkante 313. Die Sensorfahne 31 kann auch andere geeignete Raumformen haben; so kann sie z. B. zwei parallele Hauptflächen aufweisen, die zwei parallele Frontkanten bilden. Die Sensorfahne 31 ist kürzer als der Durchmesser des Trägerohrs 20; sie ist ferner biegesteif und kann beispielsweise ein Sackloch aufweisen, in dem ein die Temperatur des Mediums detektierenden, gegebenenfalls der Generierung des Temperatur-Meßsignal und insoweit auch der Realisierung der Temperatur-Meßstelle selbst dienendes, als Thermoelement oder Widerstandsthermometer ausgebildetes, Geberelement eingebracht sein kann, vgl. hierzu auch die bereit erwähnten US-B 69 88 418 oder der US-B 69 10 387. Damit das Sackloch 314 einen ausreichenden Durchmesser hat, treten aus den Hauptflächen Wandteile hervor, von denen in Fig. 3a der Wandteil 315 angedeutet ist. Das Sackloch 314 reicht bis in die Nähe der Frontkante 313 und hat dort einen Boden.

[0167] Zum Wirbelsensor 30 gehört ferner eine die Bohrung 22 überdeckende Membran 33 mit einer dem Medium zugewandten ersten Oberfläche 331 und einer vom Medium abgewandten zweiten Oberfläche 332, siehe die Fig. 3 und 4. An der Oberfläche 331 ist die Sensorfahne 31 fixiert und an der Oberfläche 332 ein auf deren Verbiegungen bzw. Bewegungen reagierend physikalisch-elektrisches Geberelement 36. Sensorfahne 31, Membran 33 sowie deren ringförmiger Rand 333 können aus einem einzigen Materialstück, z. B. Metall, insb. Edelstahl, hergestellt sein.

[0168] Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß anstelle des hier exemplarisch gezeigten Wirbeldurchflußmessers mit wenigstens einem in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragenden, in das Medium eintauchenden Staukörper und wenigstens einem, insb. zumindest anteilig in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragende, stromabwärts des wenigstens einen Staukörpers angeordneten Strömungssensor selbstverständlich auch andere, in der Prozeßautomatisierungstechnik gleichsam etablierte In-Line-Meßgeräte zur Bereitstellung des wenigstens einen besagtes Strömungsmeßsignal liefernden Strömungssensors und insofern zur Bildung der Strömungsmeßstelle als solche verwendet werden können, wie z.B. magnetisch-induktive Durchflußmesser, thermische Durchflußmesser, Differenzdruck-Durchflußmesser, Ultraschall-Durchflußmeßgeräte oder dergleichen. Der Strömungssensor selbst kann dabei, wie bei derartigen Meßgräten auch üblich und abhängig vom realisierten Meßprinzip, mittels wenigstens eines elektrischen, insb. zumindest zeitweise von einem Heizstrom durchflossenen, Widerstandselements, mittels wenigstens einer, insb. strömendes Medium berührend, elektrische Potentiale abgreifenden Meßelektrode, mittels wenigstens eines auf Veränderungen des Strömungsparameters reagierenden Meßkondensators und/oder mittels wenigstens eines piezoelektrischen und/oder mittels wenigstens eines piezoresistiven Elements gebildet sein. Bei dem Strömungssensor kann es sich, insb. bei Verwendung eines Meßkondensators und/oder eines piezoelektrischen bzw. piezoresistiven Elements zur Bildung des Strömungssensors, um einen solchen handeln, der zur Generierung des Meßsignals im Betrieb unter Einwirkung des im Meßsystem strömenden Mediums wiederholt mechanischen Verformungen unterworfen ist und/oder der im Betrieb unter Einwirkung des im Meßrohr strömenden Mediums wiederholt relativ zu einer statischen Ruhelage bewegt ist, wie dies neben vorgenannten den Strömungsparameter anhand von in der Strömung unter Bildung einer Karmánsche-Wirbelstraße mitschwimmenden Wirbeln messenden In-Line-Meßgeräten z.B. auch bei solchen In-Line-Meßgeräten üblicherweise der Falls ist, die Strömungsparameter der in rede stehenden

Art anhand von Druckdifferenzen messen. Für letzteren Fall kann der wenigstens eine Strömungssensor beispielsweise mittels wenigstens eines einen Querschnitt der Prozeßleitung verengenden Strömungshindernisses, insb. einer Blende oder einer Düse, sowie mittels wenigstens eines Differenzdrucksensors gebildet ist, der eine über dem Strömungshindernis auftretende Druckdifferenz erfaßt und ein diese repräsentierendes Druckdifferenzmeßsignal liefert. Der wenigstens eine Differenzdrucksensor kann dabei z.B. anteilig mittels des an der Druckmeßstelle plazierten Drucksensors gebildet ist. Alternativ zu den vorgenannten Sensor- bzw. Meßgerättypen kann der wenigstens eine Strömungssensor darüber hinaus im Zusammenspiel mit einem Leitungssegment der Prozeßleitung auch gebildet sein, indem– mittels eines entsprechenden Schwingungserregers aktiv von außen und/oder passiv vom Medium selbst angeregte – Vibrationen selbigen Leitungssegments mittels wenigstens eines mechanische Schwingungen, beispielsweise elektrodynamisch oder opto-elektronisch, erfassenden Geberelements detektiert und in ein entsprechendes Schwingungssignal gewandelt werden, wie dies beispielsweise auch bei Coriolis-Massedurchflußmessern bekanntlich der Fall ist. Marktgängige Coriolis-Massedurchflußmesser sind üblicherweise als Kompakt-Meßgerät angebotene In-Line-Meßgeräten, bei denen wenigstens ein mittels Flanschen in den Verlauf der Prozeßleitung eingesetztes, außen mit Schwingungserregern und –sensoren bestücktes, Meßrohrs das im Betrieb zumindest zeitweise vibrierenden Leitungssegment bildet.

[0169] Die Verwendung von Meßsystem mit einem In-Line-Meßgerät der vorgenanten Art ermöglicht es somit zusätzlich zur virtuell gemessenen Dichte weitere Meßgröße, insb. eines Massedurchflusses, eines Volumendurchflusses, einer Strömungsgeschwindigkeit, einer Viskosität, eines Drucks, einer Temperatur und/oder dergleichen, des in der Prozeßleitung strömenden Mediums gleichermaßen hoch genau zu ermitteln, gegebenenfalls auch in Echtzeit.

[0170] Zumindest bei der Verwendung auch eines Meßsystem internen Strömungssensors kann darüber hinaus auch der oben erwähnte

Kompensationsfaktor K ohne weiteres vorab ermittelt, insb. auch naß kalibriert werden. Beispielsweise Kompensationsfaktor K sehr einfach so gewählt sein, daß die Vorschrift:

[0171] $$K = \Delta X\rho \cdot \frac{X_g}{X_v^2} \quad (8)$$

[0172] erfüllt. Darin entspricht $\Delta X\rho$ einer vorab, insb. im Zuge einer Kalibrierung desselben und/oder eines im wesentlichen typgleichen Meßsystems mit bekanntem Referenzmedium und/oder im Zuge der Inbetriebnahme des Meßsystems vor Ort, ermittelten, z.B. errechneten und/oder gemessenen, Meßsystem spezifischen Abweichung, die der provisorische Dichte-Meßwert $X'\rho$, ermittelt für ein zumindest hinsichtlich seiner tatsächlichen Dichte, ρ_{Ref}, definiertes Referenzmedium, von selbiger Dichte, ρ_{Ref}, des Referenzmediums aufweist. Insoweit kann $\Delta X\rho$ praktisch auch als dem Meßsystem innewohnender Meßfehler angesehen werden, mit dem der mittels des Meßsystems selbst ermittelte provisorische Dichte-Meßwert $X'\rho$ im Vergleich zur tatsächlichen Dichte an der virtuellen Meßstelle behaftet ist. In Kenntnis des provisorischen Dichte-Meßwert $X'\rho$ wie auch der tatsächlichen Dichte, ρ_{Ref}, des Referenzmediums kann dieser Meßfehler wie folgt quantifiziert werden:

[0173] $$\Delta X\rho = \left(\frac{X'_\rho}{\rho_{Ref}} - 1 \right), \quad (9)$$

[0174] so daß der Kompensationsfaktor K folglich so zu wählen ist, daß er die Vorschrift:

[0175] $$K = \Delta X\rho \cdot \frac{X_g}{X_v^2} = \left(\frac{X'_\rho}{\rho_{Ref}} - 1 \right) \cdot \frac{X_g}{X_v^2} \quad (10)$$

[0176] möglichst exakt erfüllt. Alternativ oder in Ergänzung dazu ist zumindest bei Verwendung eines Meßsystem internen Strömungssensors ist aber durchaus auch möglich, den Kompensationsfaktor K experimentell mittels eines Referenz-Meßsystem und entsprechenden Referenzmedien und/oder rechnerbasiert zu ermitteln und basierend darauf weitere numerischen Werte für den Kompensationsfaktor K für andere zum Referenz-Meßsystem ähnliche Meßsysteme und/oder andere Medien zu extrapolieren.

[0177] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist zudem vorgesehen, daß die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals ferner auch einen, insb. digitalen, Geschwindigkeits-Meßwert X_v, der die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums momentan repräsentiert, und/oder daß die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals auch einen, beispielsweise digitalen, Volumendurchfluß-Meßwert X_V, der eine Volumendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert, ermittelt. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Temperatur-Meßsignals und des Druck-Meßsignals bzw. des daraus abgeleiten Dichte-Meßwerts sowie des Strömungsmeßsignals bzw. des daraus abgeleiteten Volumendurchfluß-Meßwerts im Betrieb ferner einen, beispielsweise digitalen, Massedurchfluß-Meßwert X_m, der eine Massendurchflußrate des strömenden Mediums oder einen totalisierten Massendurchfluß momentan repräsentiert, ermitteln.

[0178] Zur Vereinfachung des Aufbaus des Meßsystems und damit einhergehend zur weiteren Verbesserung der Genauigkeit des Dichte-Meßwert kann der Strömungssensor in vorteilhafter Weise so plazierte werden, daß, wie beispielsweise auch in der US-B 69 88 418 oder der US-B 69 10 387 vorgeschlagen, zumindest die Strömungsmeßstelle und die Temperaturmeßstelle oder daß, wie beispielsweise auch in der US-B 70 07 556 vorgeschlagen, zumindest die Strömungsmeßstelle und die Druckmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen, insb. koinzident sind. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann die Strömungsmeßstelle aber auch, wie auch in den Fig. 1 und 2 schematisiert dargestellt, von der Temperaturmeßstelle und/oder der Druckmeßstelle entfernt angeordnet sein, beispielsweise stromaufwärts der Temperaturmeßstelle und/oder stromaufwärts der Druckmeßstelle.

[0179] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist ferner vorgesehen, den Temperatursensor des Meßsystems und/oder den Drucksensor, wie beispielsweise auch in der US-B 69 88 418, der US-B 69 10 387 oder US-B 66 51 512 vorgeschlagen, ebenfalls mittels des, beispielsweise als

Kompakt-Meßgerät ausgebildeten, den Strömungssensor vorhaltenden In-Line-Meßgeräts bereitzustellen.

[0180] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die virtuelle Dichte-Meßstelle und die Strömungsmeßstelle so gewählt, daß das Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle einen thermodynamischen Zustand aufweist, der einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Geschwindigkeitsmeßstelle entspricht und/oder daß das Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle und Geschwindigkeitsmeßstelle im wesentlichen gleiche Reynoldszahlen aufweist. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, daß die die virtuelle Dichtemeßstelle so definiert ist, daß sie und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen, insb. koinzident sind. Anders gesagt soll also der Dichte-Meßwert derart ermittelt werden, daß er eine örtliche Dichte des Mediums im Bereich des Strömungssensors und somit auch die lokale Dichte des Mediums an der Geschwindigkeitsmeßstelle genau repräsentiert.

[0181] Zur weiteren Vereinfachung der Messung ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Meßsystems ist vorgesehen, daß die Prozeßleitung zumindest abschnittsweise, insb. im Bereich zwischen Dichte-Meßstelle und Druck-Meßstelle und/oder zwischen Dichte-Meßstelle und Temperatur-Meßstelle, als eine, insb. im Querschnitt auch kreisförmige, im wesentlichen gerade – also keine Krümmer oder Bogen aufweisende- Rohrleitung ausgebildet ist. Darüberhinaus sollte die Prozeßleitung zumindest abschnittsweise, insb. im Bereich der Temperatur-Meßstelle und/oder im Bereich der Druck-Meßstelle, als eine zumindest unter Betriebsdruck im wesentlichen formstabile, insb. starre und/oder im Querschnitt kreisförmige, Rohrleitung ausgebildet sein.

[0182] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wir die vorgenannte Varianz im Betrieb in weitegehend definierter Weise dadurch erzeugt, daß die Prozeßleitung zumindest an der virtuellen Dichtemeßstelle ferner ein Kaliber D1 aufweist, das von einem Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle verschieden ist. Alternativ oder in Ergänzung dazu ist nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ferner vorgesehen, daß

die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber D1 aufweist, das von einem Kaliber D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle verschieden ist, und/oder daß das Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle vom Kaliber D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle verschieden ist. Im Einzelnen ergeben sich somit zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten hinsichtlich der Anordnung der einzelnen Meßstellen relativ zueinander wie auch der Wahl des Kalibers der Prozeßleitung an der jeweiligen Meßstelle. Eine Auswahl besonders geeigneter Ausgestaltungsvarianten hierfür ist zudem auch in den Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f und 4h schematisiert dargestellt.

[0183] Wie darin gezeigt kann es von Vorteil sein, das Meßsystem so auszubilden, daß das Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle größer ist, als das Kaliber D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle oder aber auch so, daß das Kaliber D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle größer ist, als das Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle. Alternativ oder in Ergänzung dazu kann das Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle auch so gewählt sein, daß es größer ist, als das Kaliber D1 der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle und/oder kann das Kaliber D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle so gewählt sein, daß es größer, als das Kaliber D1 an der virtuellen Dichtemeßstelle ist.

[0184] Im besondern ist ferner vorgesehen, daß ein Kaliberverhältnis D3/D1 des Kalibers D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle zum Kaliber D1 der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle größer als 1.1 und/oder kleiner als 5 gehalten ist, beispielsweise also in einem Bereich zwischen 1.2 und 3.1 liegt. Ferner ist es zumindest für diesen Fall von Vorteil, wenn die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber D1 aufweist, das im wesentlichen gleich einem Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle ist. Nach einer andern Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Kaliberverhältnis D2/D1 des Kalibers D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zum Kaliber D1 der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle größer als 1.1 und/oder kleiner als 5 gehalten ist, beispielsweise also in einem

Bereich zwischen 1.2 und 3.1 liegt. Für diesen Fall wiederum ist von Vorteil, wenn die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber D1 aufweist, das im wesentlichen gleich einem Kaliber D3 der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle ist.

[0185] Die Unterschiede zwischen den Kalibern D1, D2 bzw. D3 können je nach erwünschter Konfiguration u.a. dadurch realisiert werden, daß die Prozeßleitung zwischen zumindest zwei der vorgenannten Meßstellen - beispielsweise also zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Temperatur-Meßstelle und/oder der Druck-Meßstelle oder auch zwischen der Temperatur-Meßstelle und der Druck-Meßstelle - ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Diffusor mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, aufweitendem Lumen ausgebildet ist, bzw. ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Düse mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, verengendem Lumen ausgebildet ist.

[0186] Experimentelle Untersuchungen haben ferner gezeigt, daß die Meßstellen in vorteilhafter Wiese so plaziert bzw. definiert sein sollten, daß ein Abstand L_{21} der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle verschieden ist von einem Abstand L_{31} der Temperaturmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle. Beispielsweise kann es für die Messung durchaus von Vorteil sein, wenn der Abstand L21 der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle größer ist als der Abstand L31 der Temperaturmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle und/oder wenn der Abstand L21 der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle und/oder ein Abstand L23 der Druckmeßstelle von der Temperaturmeßstelle größer sind als das Kaliber D2 der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle. Als für die Messung durchaus geeignet haben sich dabei ein Abstand L21 und/oder eine Abstand L23 von wenigstens einem 3-fachen, insb. mehr als einem 5-fachen, des Kalibers D2 gezeigt.

[0187] Für weiterführende Informationen zur Auslegung und Dimensionierung der Prozeßleitung des Meßsystems hinsichtlich vorgenannter Einbaulängen und/oder Kaliberverhältnisse bei Verwendung eines Reducers und/oder eines Diffusors wie auch weitere Ausgestaltungen der Prozeßleitung

stromaufwärts des Strömungssensors und/oder stromabwärts des Strömungssensors sei an dieser Stelle ergänzend auf die eigenen, nicht vorveröffentlichten Anmeldungen DE 102006034296.8 und 102006047815.0 bzw. die damit jeweils korrespondierenden Nachanmeldungen explizit hingewiesen, deren jeweilige Offenbarung insoweit als der vorliegenden Anmeldung zugehörige erachtet wird.

[0188] Weiterführende Untersuchungen an Meßsystemen gemäß der Erfindung, haben zudem für die in den Figuren 4a, 4b, 4c, 4d gezeigten Anordnungen von Temperatur- Druck- und Dichte-Meßstelle relativ zueinander sowie mit Bezug zu den vorgenannten Kaliberverhältnissen ergeben, daß dafür zumindest der gemäß Vorschrift (4) ermittelte und für die Ermittlung des Dichte-Meßwerts gemäß der Vorschrift (1) bzw. (2) verwendete Dichte-Korrekturwert stets größer als eins sein sollte; anderenfalls wäre, wie bereits erwähnt, von einem fehlerhaften Meßsystem bzw. von einer Störung der Anlage auszugehen. Gleichermaßen sollte für die in den Figuren 4e, 4f, 4g, 4h gezeigten Konstellationen sollte der Dichte-Korrekturwert, die Anwendung der gleichen Berechnungsvorschriften unterstellt, stets kleiner als eins sein.

[0189] Darüberhinaus sind nachfolgender Tabelle 1 ausgewählte, als für ein Meßsystem mit einem Strömungssensor gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 2 und 3 besonders geeignet ermittelte Konstellationen hinsichtlich der Kaliber D1, D2, D3 jeweils in der Einheit mm und ausgewählter Gasen als Medium sowie jeweils zugeordnet ein entsprechend geeigneter Kompensationsfaktor K in der Einheit $K \cdot s^2 \cdot m^{-2}$.

Tabelle 1:

Tabelle 1

GAS	D1, D3	D2	K
CH_4 ($n = 16\ g \cdot mol^{-1}$, $f = 6$)			
	13,9	24,3	27851,08558

	13,9	26,7	26084,12357
	13,9	27,2	25671,22129
	13,9	28,5	24567,65186
	13,9	38,1	17069,51792
	13,9	40,9	15350,28348
	13,9	41,2	15178,90947
	13,9	43,1	14147,85441
	24,3	38,1	3086,763684
	24,3	40,9	3035,482335
	24,3	41,2	3026,384008
	24,3	43,1	2957,410639
	24,3	49,2	2662,97974
	24,3	52,6	2484,170531
	24,3	52,7	2478,934254
	24,3	54,5	2385,462689
	38,1	49,2	448,2000215
	38,1	52,6	487,9209744
	38,1	54,5	500,3838513
	38,1	73,7	459,369374
	38,1	78	435,8925863
	38,1	78,1	435,337907
	38,1	82,5	410,9043438
	49,2	73,7	183,0929623
	49,2	78	183,4977725
	49,2	78,1	183,4687956
	49,2	82,5	180,8940523
	49,2	97	162,4571647
	49,2	102,3	154,3167919
	49,2	102,4	154,1619225
	49,2	107,1	146,8997624
	73,7	97	32,98911974
	73,7	102,4	35,0370316

	73,7	107,1	36,01526944
	73,7	146	32,12475476
	73,7	151	31,10798557
	73,7	154,2	30,45138942
	73,7	159,3	29,40598339
	97	146	12,12975471
	97	151	12,16106709
	97	154,2	12,14098846
	97	159,3	12,05687371
	97	199,9	10,30674712
	97	202,7	10,16121596
	97	206,5	9,963705636
	97	207,3	9,922187549
	146	199,9	2,245529752
	146	202,7	2,273600656
	146	206,5	2,304852917
	146	207,3	2,310502276
	146	248,8	2,317268815
	146	254,5	2,291734778
	146	258,8	2,2702775
	146	260,4	2,261877863
Erdgas (n = 16….40 g · mol^{-1} je nach Zusammensetzung, f = 6)			
	13,9	24,3	31170,01324
	13,9	26,7	29190,34938
	13,9	27,2	28727,93943
	13,9	28,5	27492,24479
	13,9	38,1	19099,80535

	13,9	40,9	17175,91318
	13,9	41,2	16984,14311
	13,9	43,1	15830,39114
	24,3	38,1	3455,020015
	24,3	40,9	3397,337203
	24,3	41,2	3387,128821
	24,3	43,1	3309,793458
	24,3	49,2	2980,007098
	24,3	52,6	2779,822049
	24,3	52,7	2773,96038
	24,3	54,5	2669,329455
	38,1	49,2	501,8495813
	38,1	52,6	546,2444885
	38,1	54,5	560,159696
	38,1	73,7	514,0710105
	38,1	78	487,7826811
	38,1	78,1	487,1616486
	38,1	82,5	459,8077209
	49,2	73,7	204,9496071
	49,2	78	205,3864268
	49,2	78,1	205,3536589
	49,2	82,5	202,458931
	49,2	97	181,8004079
	49,2	102,3	172,6858252
	49,2	102,4	172,5124389
	49,2	107,1	164,3825333
	73,7	97	36,93625048
	73,7	102,4	39,22468158
	73,7	107,1	40,31654938
	73,7	146	35,94964274
	73,7	151	34,81116896
	73,7	154,2	34,07605503

	73,7	159,3	32,90573249
	97	146	13,57764009
	97	151	13,61203427
	97	154,2	13,58918743
	97	159,3	13,49451405
	97	199,9	11,53365739
	97	202,7	11,37072445
	97	206,5	11,14960825
	97	207,3	11,10312955
	146	199,9	2,5139906
	146	202,7	2,545346756
	146	206,5	2,580243371
	146	207,3	2,586549405
	146	248,8	2,593473866
	146	254,5	2,564840534
	146	258,8	2,540788021
	146	260,4	2,531374101
H_2O ($n = 18\ g \cdot mol^{-1}$, $f = 6$)			
	13,9	24,3	31256,24144
	13,9	26,7	29271,0454
	13,9	27,2	28807,34836
	13,9	28,5	27568,21927
	13,9	38,1	19152,54293
	13,9	40,9	17223,33422
	13,9	41,2	17031,03432
	13,9	43,1	15874,09507
	24,3	38,1	3464,588763
	24,3	40,9	3406,738816
	24,3	41,2	3396,501521
	24,3	43,1	3318,948505

	24,3	49,2	2988,242826
	24,3	52,6	2787,502227
	24,3	52,7	2781,624305
	24,3	54,5	2676,703394
	38,1	49,2	503,2441144
	38,1	52,6	547,7602846
	38,1	54,5	561,7131315
	38,1	73,7	515,492087
	38,1	78	489,1306726
	38,1	78,1	488,5079154
	38,1	82,5	461,07809
	49,2	73,7	205,5175663
	49,2	78	205,9551717
	49,2	78,1	205,9223044
	49,2	82,5	203,0192259
	49,2	97	182,3029139
	49,2	102,3	173,1630088
	49,2	102,4	172,9891412
	49,2	107,1	164,8366844
	73,7	97	37,03884498
	73,7	102,4	39,33351491
	73,7	107,1	40,42832654
	73,7	146	36,04900682
	73,7	151	34,90736955
	73,7	154,2	34,1702149
	73,7	159,3	32,99664598
	97	146	13,61526406
	97	151	13,64973647
	97	154,2	13,62681665
	97	159,3	13,53186744
	97	199,9	11,56552973
	97	202,7	11,40214452

	97	206,5	11,18041482
	97	207,3	11,1338072
	146	199,9	2,52096787
	146	202,7	2,552409208
	146	206,5	2,587400279
	146	207,3	2,593723327
	146	248,8	2,600650057
	146	254,5	2,571936044
	146	258,8	2,547815996
	146	260,4	2,538375687
Luft ($n = 29\ g \cdot mol^{-1}$, $f = 5$)			
	13,9	24,3	50338,90921
	13,9	26,7	47124,38089
	13,9	27,2	46375,14885
	13,9	28,5	44374,58191
	13,9	38,1	30815,23069
	13,9	40,9	27710,05332
	13,9	41,2	27400,56851
	13,9	43,1	25538,71377
	24,3	38,1	5583,208016
	24,3	41,2	5470,96068
	24,3	43,1	5344,897321
	24,3	49,2	4810,117614
	24,3	52,6	4486,285526
	24,3	52,7	4476,808075
	24,3	54,5	4307,671069
	38,1	49,2	812,4565419
	38,1	52,6	883,65719
	38,1	54,5	905,8569033
	38,1	73,7	829,8882553

	38,1	78	787,3215533
	38,1	78,1	786,316573
	38,1	82,5	742,0716954
	49,2	73,7	331,3026455
	49,2	78	331,8738927
	49,2	78,1	331,8181848
	49,2	82,5	327,0348906
	49,2	97	293,4714706
	49,2	102,3	278,7184046
	49,2	102,4	278,437899
	49,2	107,1	265,289832
	73,7	97	59,78309893
	73,7	102,4	63,449488
	73,7	107,1	65,18836646
	73,7	146	58,03092489
	73,7	151	56,18799037
	73,7	154,2	54,9986214
	73,7	159,3	53,10590103
	97	146	21,94754221
	97	151	21,99771435
	97	154,2	21,95771667
	97	159,3	21,80041304
	97	199,9	18,61596382
	97	202,7	18,35235887
	97	206,5	17,99471318
	97	207,3	17,91954828
	146	199,9	4,067220274
	146	202,7	4,117361285
	146	206,5	4,173054129
	146	207,3	4,183100739
	146	248,8	4,188923875
	146	254,5	4,142218763

	146	258,8	4,103061713
	146	260,4	4,087749585

[0190]

Ansprüche

1. 1. Meßsystem zum Messen einer Dichte eines in einer Prozeßleitung strömenden, entlang einer gedachten Strömungsachse des Meßsystems hinsichtlich eines thermodynamischen Zustandes veränderlichen, insb. zumindest anteilig kompressiblen, Mediums, welches Meßsystem umfaßt:
   - wenigstens einen an einer Temperaturmeßstelle ($M\vartheta$) plazierten, primär auf eine lokale Temperatur, ϑ, von vorbei strömendem Medium reagierenden Temperatursensor, der wenigstens ein von der lokalen Temperatur des zu messenden Mediums beeinflußtes Temperaturmeßsignal ($x\vartheta$) liefert,
   - wenigstens einen an einer Druckmeßstelle (M_p) plazierten, primär auf einen lokalen, insb. statischen, Druck, p, von vorbei strömendem Medium reagierenden Drucksensor, der wenigstens ein vom lokalen Druck, p, im zu messenden Medium beeinflußtes Druckmeßsignal (x_p) liefert, sowie
   - eine mit wenigstens dem Temperatursensor und dem Drucksensor jeweils zumindest zeitweise kommunizierende Meßelektronik, die unter Verwendung sowohl des Temperaturmeßsignals als auch zumindest des Druckmeßsignals zumindest zeitweise wenigstens einen, insb. digitalen, Dichte-Meßwert ($X\rho$) erzeugt, der eine lokale Dichte, ρ, die das strömende Medium an einer von der Druckmeßstelle (M_p) und/oder der Temperaturmeßstelle ($M\vartheta$) entlang der Strömungsachse vorgebbar beabstandeten, insb. ortsfesten, virtuellen Dichtemeßstelle ($M'\rho$) aufweist, momentan repräsentiert.
2. 2. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher aufweist, der wenigstens einen lediglich das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameter (SP_M), insb. eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse, n, des Mediums und/oder die durch den molekularen Aufbau des Mediums bestimmte Anzahl, f, von Schwingungsfreiheitsgraden der Atome bzw. Moleküle des Mediums, zumindest zeitweise vorhält.
3. 3. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert ($X\rho$) unter Verwendung des zumindest einen lediglich das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameters (SP_M) ermittelt.

4. 4. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher aufweist, der wenigstens einen sowohl das aktuell mittels des Meßsystems zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter (SP_{ME}) zumindest zeitweise vorhält, wobei die Einbausituation durch die Anordnung von Druck-, Temperatur- und Dichtemeßstelle relativ zueinander sowie jeweils durch Form und Größe der Prozeßleitung im Bereich der Druck-, Dichte- und/oder Temperaturmeßstelle mitbestimmt ist.
5. 5. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert ($X\rho$) unter Verwendung des wenigstens einen sowohl das aktuell mittels des Meßsystems zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter (SP_{ME}) ermittelt.
6. 6. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik einen, insb. nicht-flüchtigen, Datenspeicher aufweist, der wenigstens einen das aktuell zu messenden Medium spezifizierenden Meßsystemparameter (SP_M) erster Art, insb. eine spezifische Wärmekapazität des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse des Mediums und/oder die Anzahl von Freiheitsgraden des Mediums, und der wenigstens einen sowohl das aktuell zu messenden Medium als auch eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden Meßsystemparameter (SP_{ME}) zweiter Art zumindest zeitweise vorhält, wobei die Einbausituation durch die Anordnung von Druck-, Temperatur- und Dichtemeßstelle relativ zueinander sowie jeweils durch Form und Größe der Prozeßleitung im Bereich der Druck-, Dichte- und/oder Temperaturmeßstelle mitbestimmt ist, und wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert ($X\rho$) unter Verwendung zumindest des Meßsystemparameters (SP_M) erster Art und des Meßsystemparameters (SP_{ME}) zweiter Art ermittelt.
7. 7. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise, insb. extern des Meßsystems und/oder zeitnah ermittelte, numerische Parameterwerte für wenigstens einen zu messendes Medium und/oder eine momentane Einbausituation des Meßsystems spezifizierenden

Meßsystemparameter (SP_M, SP_{ME}), insb. eine Wärmekapazität, c_P, für zu messendes Medium, empfängt, der eine vorab ermittelte und/oder von der Dichte-Meßstelle entfernt gemessene spezifische Wärmekapazität, c_p, des zu messenden Mediums repräsentiert.

8. 8. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise, insb. leitungsgebunden und/oder per Funk, mit einem übergeordneten elektronischen Datenverarbeitungssystem kommuniziert, insb. via Feldbus.
9. 9. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert an das Datenverarbeitungssystem sendet und/oder wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise numerische Parameterwerte für das zu aktuell messende Medium, insb. dessen thermodynamischen Eigenschaften und/oder dessen chemische Zusammensetzung, spezifizierende Meßsystemparameter (SP_M), insb. eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums, eine molare Masse, n, des aktuell zu messenden Mediums und/oder die Anzahl, f, von Schwingungsfreiheitsgraden der Atome bzw. Moleküle des aktuell zu messenden Mediums, vom Datenverarbeitungssystem empfängt.
10. 10. Meßsystem nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses mit dem übergeordneten elektronischen Datenverarbeitungssystem verbunden ist.
11. 11. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik im Betrieb zumindest zeitweise eine spezifische Wärmekapazität, c_p, des aktuell zu messenden Mediums ermittelt, insb. basierend auf der Vorschrift:

$$c_p = \left(1 + \frac{f}{2}\right) \cdot \frac{R}{n},$$

worin n einer molaren Masse, R der absoluten Gaskonstante mit R = 8.3143 J / (K mol) und f einer durch den molekularen Aufbau des Mediums bestimmten Anzahl von Schwingungsfreiheitsgraden von dessen Atomen bzw. Molekülen entsprechen.

12. 12. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik basierend auf dem Temperaturrmeßsignal wiederkehrend

einen, insb. digitalen, Temperatur-Meßwert ($X\vartheta$) generiert, der eine lokale Temperatur des Mediums, insb. die Temperatur des Mediums an der Temperaturmeßstelle, momentan repräsentiert.

13. 13. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik basierend auf dem Druckrmeßsignal wiederkehrend einen, insb. digitalen, Druck-Meßwert (X_p) generiert, der einen im Medium, insb. an der Druckmeßstelle, herrschenden Druck momentan repräsentiert.
14. 14. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, weiters umfassend wenigstens einen an einer Strömungsmeßstelle plazierten, primär auf einen lokale, insb. über einen Querschnitt der Prozeßleitung gemittelten, Strömungsparameter, insb. eine Strömungsgeschwindigkeit, eine Volumendurchfluß oder einen Massendurchfluß, des zu messenden Mediums, insb. auch Änderungen derselben, reagierenden Strömungssensor, der wenigstens ein von dem lokalen Strömungsparameter beeinflußtes Strömungsmeßsignal liefert.
15. 15. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise auch mit dem Strömungssensor kommuniziert und wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert ($X\rho$) unter Verwendung auch des Strömungsmeßsignals ermittelt.
16. 16. Meßsystem nach Anspruch 14 oder 15, wobei das Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle einen thermodynamischen Zustand aufweist, der einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Geschwindigkeitsmeßstelle entspricht.
17. 17. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei die virtuelle Dichtemeßstelle und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen, insb. koinzident sind.
18. 18. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei die Temperaturmeßstelle und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen, insb. koinzident sind.
19. 19. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 18, wobei die Druckmeßstelle und die Strömungsmeßstelle einander zumindest teilweise überlappen.
20. 20. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 19, wobei der

Dichte-Meßwert, eine örtliche Dichte des Mediums im Bereich des Strömungssensors repräsentiert.

21. 21. Meßsystem nach einem der der Ansprüche 14 bis 20, wobei die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder drahtlos per Funk mit dem Strömungssensor kommuniziert.
22. 22. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 21, wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise mit dem Strömungssensor kommuniziert, und wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Geschwindigkeits-Meßwert (X_v) ermittelt, der die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums momentan repräsentiert.
23. 23. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert auch unter Verwendung wenigstens eines, insb. digital gespeicherten, numerischen Kompensationsfaktors (K) erzeugt, der mit einer, insb. vorab und/oder im Betrieb ermittelten, entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden Ortsveränderlichkeit wenigstens einer thermodynamischen Zustandsgröße des Mediums, insb. einer Temperatur, einem Druck oder einer Dichte, und/oder der mit einer, insb. vorab und/oder im Betrieb ermittelten, entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden Ortsveränderlichkeit der Reynoldszahl des strömenden Mediums korrespondiert.
24. 24. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei der wenigstens eine Kompensationsfaktor (K) unter Berücksichtigung des tatsächlich zu messenden Mediums, insb. dessen Zusammensetzung und/oder dessen thermodynamischen Eigenschaften, ermittelt wird, insb. während einer Kalibrierung des Meßsystems mit bekanntem Referenzmedium und/oder während der Inbetriebnahme des Meßsystems vor Ort.
25. 25. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den wenigstens einen Kompensationsfaktor (K) während der Inbetriebnahme des Meßsystems zumindest einmal ermittelt und/oder wobei die Meßelektronik den Kompensationsfaktor (K) während des Betriebs des Meßsystems wiederkehrend ermittelt, insb. einhergehend mit einer Änderung wenigstens einer chemischen Eigenschaft des zu messenden Mediums oder mit einer Auswechselung desselben durch ein anderes.

26. 26. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den wenigstens einen Kompensationsfaktor (K) anhand einer vorgegebenen, insb. im Dialog mit dem Anwender und/oder extern der Meßelektronik ermittelten, spezifischen Wärmekapazität, c_p, des aktuellen Mediums ermittelt.
27. 27. Meßsystem nach einem der Ansprüche 23 bis 26, wobei die Meßelektronik einen den wenigstens einen Kompensationsfaktor (K) vorhaltenden, insb. als Tabellenspeicher ausgebildeten und/oder nicht-flüchtigen, Datenspeicher umfaßt.
28. 28. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei der Datenspeicher eine Vielzahl von vorab für verschiedene Medien und/oder für verschiedene Einbausituationen ermittelten Kompensationsfaktoren vorhält.
29. 29. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den wenigstens einen Kompensationsfaktor (K) unter Berücksichtigung des aktuellen Mediums sowie der aktuellen Einbausituation aus der Vielzahl von im Datenspeicher vorgehaltenen Kompensationsfaktoren auswählt.
30. 30. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert ($X\rho$) unter Verwendung wenigstens eines sowohl von einer Strömungsgeschwindigkeit des Mediums als auch von der an der Temperaturmeßstelle herrschenden lokalen Temperatur abhängigen, zur Laufzeit ermittelten Dichte-Korrekturwerts (X_K), der mit einer, insb. durch das aktuell zu messende Medium sowie eine momentane Einbausituation bedingten und/oder entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, momentanen Ortsveränderlichkeit wenigstens einer thermodynamischen Zustandesgröße des Mediums und/oder der mit einer, insb. durch das Medium und/oder die Bauart des Meßsystems bedingten und/oder entlang der Strömungsachse des Meßsystems auftretenden, momentanen Ortsveränderlichkeit der Reynoldszahl des strömenden Mediums korrespondiert.
31. 31. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch in Verbindung mit den Ansprüchen 12 und 22, wobei die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert (X_K) unter Verwendung des Geschwindigkeits-Meßwert (X_v) sowie des Temperaturmeßwerts ($X\vartheta$) ermittelt.
32. 32. Meßsystem nach Anspruch 23 in Verbindung mit Anspruch 30 oder nach

Anspruch 23 in Verbindung mit Anspruch 31, wobei die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert (X_K) auch unter Verwendung des wenigstens einen vorab ermittelten, insb. digital gespeicherten, Kompensationsfaktors (K) ermittelt, insb. basierend auf der Vorschrift:

$$X_K = \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^2}{X_g}\right)} .$$

33. 33. Meßsystem nach einem der Ansprüche 30 bis 33, wobei die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert (X_K) im Betrieb wiederkehrend mit wenigstens einem vorgegebenen Referenzwert vergleicht.
34. 34. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik basierend auf dem Vergleich von Dichte-Korrekturwert (X_K) und Referenzwert eine momentane Abweichung der Dichte-Korrekturwerts (X_K) vom Referenzwert quantitativ signalisiert und/oder zeitweise einen Alarm generiert, der eine unerwünschte, insb. unzulässig hohe, Diskrepanz zwischen Dichte-Korrekturwerts (X_K) und zugehörigem Referenzwert signalisiert.
35. 35. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik basierend auf dem Druckmeßsignal sowie dem Temperaturmeßsignal einen provisorischen Dichte-Meßwert ($X'\rho$), insb. gemäß einem der Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006, ermittelt, der eine Dichte repräsentiert, die das strömende Medium an der virtuellen Dichtemeßstelle lediglich scheinbar aufweist.
36. 36. Meßsystem nach Anspruch 35, wobei die Meßelektronik den provisorischen Dichte-Meßwert ($X'\rho$) zumindest zeitweise basierend auf der Vorschrift:

$$X'_\rho = \frac{n}{z \cdot R_M} \cdot \frac{X_p}{X_g}$$

ermittelt, worin n einer molaren Masse, z einem, insb. gemäß einem der Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006 und/oder unter Verwendung des Temperaturmeßsignals und/oder des Druckmeßsignals, ermittelten, Realgasfaktor des Mediums, und R_M der

relativen Gaskonstante des zu messenden Mediums entsprechen, die mit der auf die molare Masse n des Mediums normierten absoluten Gaskonstante R / n mit R= 8.3143 J / (K mol) korrespondiert.

37. 37. Meßsystem nach Anspruch 35 oder 36, wobei die Meßelektronik den provisorischen Dichte-Meßwert (X'ρ) zumindest zeitweise basierend auf der Vorschrift:

$$X'_\rho = \pi_{\text{IAWPS-IF97}} \cdot \gamma_{\text{IAWPS-IF97}} = \frac{X_\rho}{P^*_{\text{IAWPS-IF97}}} \cdot \frac{g_{\text{IAWPS-IF97}}}{R_M \cdot X_\vartheta}$$

ermittelt, mit $\pi_{\text{IAWPS-IF97}}=X_\rho/P^*_{\text{IAWPS-IF97}}$ und $\gamma_{\text{IAWPS-IF97}}=g_{\text{IAWPS-IF97}}/(R_M*X\vartheta)$, wobei P* einem Medium spezifischen kritischen Druck gemäß dem Industrie-Standard IAWPS-IF97, insb. 16,53 MPa für den Fall, daß es sich bei dem zu messenden Medium um Wasser handelt, oberhalb dessen das jeweils zu messende Medium jedenfalls nicht flüssig sein kann, und $g_{\text{IAWPS-IF97}}$ einer Medium spezifischen freien Enthalpie (Gibbs'sche freie Energie) gemäß dem Industrie-Standard IAWPS-IF97 entsprechen.

38. 38. Meßsystem nach einem der Ansprüche 35 bis 37, wobei die Meßelektronik im Betrieb wiederkehrend einen Dichtefehler ermittelt, der mit einer, insb. relativen, Abweichung von provisorischem Dichte-Meßwert (X'ρ) und Dichte-Meßwert (Xρ) korrespondiert, insb. auch inform eines numerischen Dichtefehler-Werts ausgibt.

39. 39. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik den momentanen Dichtefehler inform eines numerischen Dichtefehler-Werts ausgibt und/oder mit wenigstens einem vorgegebenen Referenzwert vergleicht und basierend auf diesem Vergleich zeitweise einen Alarm generiert, der eine unerwünschte, insb. unzulässig hohe, Diskrepanz zwischen provisorischem Dichte-Meßwert (X'ρ) und Dichte-Meßwert (Xρ) signalisiert.

40. 40. Meßsystem nach einem der Ansprüche 35 bis 39, jeweils in Verbindung mit einem der Ansprüche 30 bis 34, wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert (Xρ) unter Verwendung sowohl des provisorische Dichte-Meßwerts (X'ρ) als auch des Dichte-Korrekturwerts (X_K) ermittelt, insb. basierend auf der Vorschrift: $X_\rho = X'_\rho \cdot X_K$.

41. 41. Meßsystem nach Anspruch 40, wobei die Meßelektronik den

Dichte-Korrekturwert (X_K) bei der Generierung des Dichte-Meßwerts ($X\rho$) lediglich dann verwendet, wenn er mindest eins beträgt, insb. in einem Bereich zwischen 1 und 1,2 liegt.

42. 42. Meßsystem nach Anspruch 40, wobei die Meßelektronik den Dichte-Korrekturwert (X_K) bei der Generierung des Dichte-Meßwerts ($X\rho$) lediglich dann verwendet, wenn er höchstens eins beträgt, insb. in einem Bereich zwischen 0,8 und 1 liegt.

43. 43. Meßsystem nach einem der Ansprüche 35 bis 42 jeweils in Verbindung mit einem der Ansprüche 23 bis 29, wobei der Kompensationsfaktor (K) so gewählt ist, daß er folgende Vorschrift erfüllt:

$$K = \Delta X\rho \cdot \frac{X_\vartheta}{X_v^{\,2}},$$

worin $\Delta X\rho$ einer vorab, insb. im Zuge einer Kalibrierung desselben und/oder eines im wesentlichen typgleichen Meßsystems mit bekanntem Referenzmedium und/oder im Zuge der Inbetriebnahme des Meßsystems vor Ort, ermittelten, insb. errechneten und/oder gemessenen, Meßsystem spezifischen Abweichung entspricht, die der provisorische Dichte-Meßwert ($X'\rho$), ermittelt für ein zumindest hinsichtlich seiner tatsächlichen Dichte, ρ_{Ref}, definiertes Referenzmedium, von selbiger Dichte, ρ_{Ref}, des Referenzmediums aufweist.

44. 44. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei der Kompensationsfaktor (K) folgende Vorschrift erfüllt:

$$K = \Delta X\rho \cdot \frac{X_\vartheta}{X_v^{\,2}} = \left(\frac{X'_\rho}{\rho_{Ref}} - 1\right) \cdot \frac{X_\vartheta}{X_v^{\,2}} \cdot$$

45. 45. Meßsystem nach einem der Ansprüche 23 bis 44, weiters umfassend wenigstens einen an einer Strömungsmeßstelle plazierten, primär auf einen lokale, insb. über einen Querschnitt der Prozeßleitung gemittelten, Strömungsparameter, insb. eine Strömungsgeschwindigkeit, eine Volumendurchfluß oder einen Massendurchfluß, des zu messenden, insb. zumindest anteilig gasförmigen, Mediums, insb. auch Änderungen derselben, reagierenden und zumindest zeitweise mit der Meßelektronik kommunizierenden Strömungssensor, der wenigstens ein von dem lokalen Strömungsparameter beeinflußtes Strömungsmeßsignal liefert, wobei die

Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Geschwindigkeits-Meßwert (X_v), der die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums momentan repräsentiert, sowie basierenden auf dem Temperaturrmeßsignal wiederkehrend einen, insb. digitalen, Temperatur-Meßwert ($X\vartheta$) generiert, der eine lokale Temperatur des Mediums, insb. die Temperatur des Mediums an der Temperaturmeßstelle, momentan repräsentiert, und wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert ($X\rho$) zumindest zeitweise basierend auf der Vorschrift:

$$X_\rho = \frac{n \cdot X_p}{z \cdot R_M \cdot \left(X_g + K \cdot X_v^{\,2}\right)} = \frac{n \cdot X_p}{z \cdot R_M \cdot X_g} \cdot \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^{\,2}}{X_g}\right)}$$

ermittelt, worin n einer molaren Masse, z einem, insb. gemäß einem der Industrie-Standards AGA 8, AGA NX-19, SGERG-88 IAWPS-IF97, ISO 12213:2006 und/oder unter Verwendung des Temperaturmeßsignals und/oder des Druckmeßsignals, ermittelten, Realgasfaktor des Mediums, und R_M der relativen Gaskonstante des zu messenden Mediums entsprechen, die mit der auf die molare Masse n des Mediums normierten absoluten Gaskonstante R / n mit R= 8.3143 J / (K mol) korrespondiert.

46. 46. Meßsystem nach einem der Ansprüche 23 bis 45, weiters umfassend wenigstens einen an einer Strömungsmeßstelle plazierten, primär auf einen lokale, insb. über einen Querschnitt der Prozeßleitung gemittelten, Strömungsparameter, insb. eine Strömungsgeschwindigkeit, eine Volumendurchfluß oder einen Massendurchfluß, des zu messenden, insb. zumindest anteilig gasförmigen, Mediums, insb. auch Änderungen derselben, reagierenden und zumindest zeitweise mit der Meßelektronik kommunizierenden Strömungssensor, der wenigstens ein von dem lokalen Strömungsparameter beeinflußtes Strömungsmeßsignal liefert, wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Geschwindigkeits-Meßwert (X_v) ermittelt, der die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums momentan repräsentiert, sowie basierenden auf dem Temperaturrmeßsignal wiederkehrend einen, insb. digitalen, Temperatur-Meßwert ($X\vartheta$) generiert, der eine lokale Temperatur des

Mediums, insb. die Temperatur des Mediums an der Temperaturmeßstelle, momentan repräsentiert, und wobei die Meßelektronik den Dichte-Meßwert (X ρ) zumindest zeitweise basierend auf der Vorschrift:

$$X_\rho = \pi_{\text{IAWPS-IF97}} \cdot \gamma_{\text{IAWPS-IF97}} \cdot \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^2}{X_\vartheta}\right)} = \frac{X_p}{P^*_{\text{IAWPS-IF97}}} \cdot \frac{g_{\text{IAWPS-IF97}}}{R_M \cdot X_\vartheta} \cdot \frac{1}{\left(1 + K \cdot \frac{X_v^2}{X_\vartheta}\right)}$$

ermittelt, worin P* einem mediumsspezifischen kritischen Druck gemäß dem Industrie-Standard IAWPS-IF97, insb. 16,53 MPa für den Fall, daß es sich bei dem zu messenden Medium um Wasser handelt, oberhalb dessen das jeweils zu messende Medium jedenfalls nicht flüssig sein kann, und g einer Medium spezifischen freien Enthalpie (Gibbs'sche freie Energie) gemäß dem Industrie-Standard IAWPS-IF97 entsprechen.

47. 47. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 46, wobei die Meßelektronik zumindest zeitweise mit dem Strömungssensor kommuniziert und wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Volumendurchfluß-Meßwert (X_V) ermittelt, der eine Volumendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert.
48. 48. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Dichte-Meßwert und des Volumendurchfluß-Meßwert einen, insb. digitalen, Massedurchfluß-Meßwert (X_m) ermittelt, der eine Massendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert.
49. 49. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 48, wobei die Meßelektronik unter Verwendung zumindest des Temperatur-Meßsignals, des Druck-Meßsignals und des Strömungsmeßsignals einen, insb. digitalen, Massedurchfluß-Meßwert ermittelt, der eine Massendurchflußrate des strömenden Mediums momentan repräsentiert.
50. 50. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 49, wobei die Strömungsmeßstelle stromaufwärts der Temperaturmeßstelle und/oder stromaufwärts der Druckmeßstelle angeordnet ist.
51. 51. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines piezoelektrischen und/oder

mittels wenigstens eines piezoresistiven Elements gebildet ist.

52. 52. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines elektrischen, insb. zumindest zeitweise von einem Heizstrom durchflossenen, Widerstandselements gebildet ist.
53. 53. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens einer, insb. strömendes Medium berührend, elektrische Potentiale abgreifenden Meßelektrode gebildet ist.
54. 54. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines auf Veränderungen des Strömungsparameters reagierenden Meßkondensators gebildet ist.
55. 55. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor im Betrieb unter Einwirkung des im Meßsystem strömenden Mediums wiederholt mechanischen Verformungen unterworfen ist.
56. 56. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor im Betrieb unter Einwirkung des im Meßrohr strömenden Mediums wiederholt relativ zu einer statischen Ruhelage bewegt ist.
57. 57. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines in den Verlauf der Prozeßleitung eingesetzten, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierenden Meßrohrs sowie wenigstens eines Vibrationen des Meßrohrs, insb. elektrodynamsich oder opto-elektronisch, erfassenden Schwingungssensors gebildet ist.
58. 58. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 50, wobei der wenigstens eine Strömungssensor mittels wenigstens eines einen Querschnitt der Prozeßleitung verengenden Strömungshindernisses, insb. einer Blende oder einer Düse, sowie mittels wenigstens eines Differenzdrucksensors gebildet ist, der eine über dem Strömungshindernis auftretende Druckdifferenz erfaßt und ein diese repräsentierendes Druckdifferenzmeßsignal liefert.
59. 59. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei der wenigstens eine Differenzdrucksensors anteilig mittels des an der Druckmeßstelle plazierten Drucksensors gebildet ist.

60. 60. Meßsystem nach einem der Ansprüche 14 bis 59, wobei das Meßsystem wenigstens einen in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragenden, in das Medium eintauchenden Staukörper umfaßt.
61. 61. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei der wenigstens eine, insb. zumindest anteilig in ein Lumen der Prozeßleitung hineinragende, Strömungssensor stromabwärts des wenigstens einen Staukörpers angeordnet ist.
62. 62. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder drahtlos per Funk mit dem Temperatursensor kommuniziert.
63. 63. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik mittels eines, insb. seriellen, Feldbusses und/oder drahtlos per Funk mit dem Drucksensor kommuniziert.
64. 64. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei sich das Medium an der Dichtemeßstelle in einem thermodynamischen Zustand befindet, der sich zumindest zeitweise hinsichtlich wenigstens einer lokalen thermodynamischen Zustandsgröße, insb. einer Temperatur und/oder einem Druck und/oder einer Dichte, von einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Temperaturmeßstelle und/oder von einem thermodynamischen Zustand des Mediums an der Druckmeßstelle signifikant, insb. in einem für eine angestrebte Meßgenauigkeit des Meßsystems erheblichen Maße, unterscheidet.
65. 65. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das strömende Medium eine Reynoldszahl aufweist, die größer als 1000 ist.
66. 66. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Medium kompressibel ist, insb. eine Kompressibilität $\kappa = - 1/V \cdot dV/dp$ aufweist, die größer als 10^{-6} bar^{-1}, und/oder zumindest anteilig gasförmig ist.
67. 67. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei es sich bei dem Medium um ein mit Feststoffpartikeln und/oder Tröpfchen beladenes Gas handelt.
68. 68. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Medium zwei oder mehrphasig ausgebildet ist.
69. 69. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei eine Phase des

Mediums liquid ist.

70. 70. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei es sich bei dem Medium um eine mit Gas und/oder mit Feststoffpartikeln beladene Flüssigkeit handelt.
71. 71. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, weiters umfassend ein zumindest zeitweise mit der Meßelektronik kommunizierendes Anzeigeelement zum visuellen Signalisieren zumindest des Dichte-Meßwerts.
72. 72. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei Prozeßleitung zumindest abschnittsweise, insb. im Bereich zumindest der Dichte-Meßstelle und/oder im Bereich zumindest der Druck-Meßstelle, als eine zumindest unter Betriebsdruck im wesentlichen formstabile, insb. starre und/oder im Querschnitt kreisförmige, Rohrleitung ausgebildet ist.
73. 73. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei Prozeßleitung zumindest abschnittsweise, insb. im Bereich zwischen Dichte-Meßstelle und Druck-Meßstelle und/oder zwischen Dichte-Meßstelle und Temperatur-Meßstelle, als eine im wesentlichen gerade, insb. im Querschnitt kreisförmige, Rohrleitung ausgebildet ist.
74. 74. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber (D1) aufweist, das von einem Kaliber (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle verschieden ist.
75. 75. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei das Kaliber (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle größer ist, als das Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle.
76. 76. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei ein Kaliberverhältnis (D2/D1) des Kalibers (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zum Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle größer als 1.1 gehalten ist.
77. 77. Meßsystem nach einem der Ansprüche 74 bis 76, wobei ein Kaliberverhältnis (D2/D1) des Kalibers (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zum Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle kleiner als 5 gehalten ist.
78. 78. Meßsystem nach einem der Ansprüche 74 bis 77, wobei ein

Kaliberverhältnis (D2/D1) des Kalibers (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle zum Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle in einem Bereich zwischen 1.2 und 3.1 gehalten ist.

79. 79. Meßsystem nach einem der Ansprüche 74 bis 78, wobei die Prozeßleitung zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Druck-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Diffusor mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, aufweitendem Lumen ausgebildet ist.
80. 80. Meßsystem nach einem der Ansprüche 74 bis 78, wobei die Prozeßleitung zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Druck-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Düse mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, verengendem Lumen ausgebildet ist.
81. 81. Meßsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 73, wobei die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber (D1) aufweist, das im wesentlichen gleich einem Kaliber (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle ist.
82. 82. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber (D1) aufweist, das von einem Kaliber (D3) der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle verschieden ist.
83. 83. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei das Kaliber (D3) der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle größer, als das Kaliber (D1) an der virtuellen Dichtemeßstelle.
84. 84. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei ein Kaliberverhältnis (D3/D1) des Kalibers (D3) der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle zum Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle größer als 1.1 gehalten ist.
85. 85. Meßsystem nach einem der Ansprüche 82 bis 84, wobei ein Kaliberverhältnis (D3/D1) des Kalibers (D3) der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle zum Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle kleiner als 5 gehalten ist.
86. 86. Meßsystem nach einem der Ansprüche 82 bis 85, wobei ein Kaliberverhältnis (D3/D1) des Kalibers (D3) der Prozeßleitung an der

Temperatur-Meßstelle zum Kaliber (D1) der Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle in einem Bereich zwischen 1.2 und 3.1 gehalten ist.

87. 87. Meßsystem nach einem der Ansprüche 82 bis 86, wobei die Prozeßleitung zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Temperatur-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Diffusor mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, aufweitendem Lumen ausgebildet ist.
88. 88. Meßsystem nach einem der Ansprüche 82 bis 86, wobei die Prozeßleitung zwischen der virtuellen Dichtemeßstelle und der Temperatur-Meßstelle ein Leitungssegment aufweist, das als ein, insb. trichterförmiger, Düse mit sich in Strömungsrichtung, insb. kontinuierlich, verengendem Lumen ausgebildet ist.
89. 89. Meßsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 81, wobei die Prozeßleitung an der virtuellen Dichtemeßstelle ein Kaliber (D1) aufweist, das im wesentlichen gleich einem Kaliber (D3) der Prozeßleitung an der Temperatur-Meßstelle ist.
90. 90. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die virtuelle Dichte-Meßstelle stromaufwärts der Temperatur-Meßstelle und/oder stromaufwärts der Druck-Meßstelle festgelegt ist.
91. 91. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Druck-Meßstelle stromabwärts der Temperatur-Meßstelle angeordnet ist.
92. 92. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei ein Abstand (L21) der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle verschieden ist von einem Abstand (L31) der Temperaturmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle.
93. 93. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei ein Abstand (L21) der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle größer ist als ein Abstand (L31) der Temperaturmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle.
94. 94. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei ein Abstand (L21) der Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle größer ist als ein Kaliber (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle und/oder wobei ein Abstand (L23) der Druckmeßstelle von der Temperaturmeßstelle größer ist als ein Kaliber (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle.
95. 95. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei ein Abstand (L21) der

Druckmeßstelle von der virtuellen Dichtemeßstelle wenigstens einem 3-fachen, insb. mehr als einem 5-fachen, eines Kalibers (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle entspricht und/oder wobei ein Abstand (L23) der Druckmeßstelle von der Temperaturmeßstelle wenigstens einem 3-fachen, insb. mehr als einem 5-fachen, eines Kalibers (D2) der Prozeßleitung an der Druck-Meßstelle entspricht.

96. 96. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Meßelektronik einen Mikrocomputer aufweist.

97. 97. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Meßelektronik zumindest den Dichte-Meßwert ($X\rho$) mittels des Mikrocomputers erzeugt.

98. 98. Meßsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, weiters umfassend wenigstens ein, insb. explosions- und/oder druck- und/oder schlag- und/oder wetterfestes, Elektronik-Gehäuse, in dem die Meßelektronik zumindest anteilig untergebracht ist.

99. 99. Meßsystem nach dem vorherigen Anspruch, wobei das wenigstens eine, insb. metallische, Elektronik-Gehäuse an der Prozeßleitung gehaltert und/oder in unmittelbarer Nähe der virtuellen Dichte-Meßstelle plaziert ist.

100. 100. Verwendung des Meßsystems nach einem der vorherigen Ansprüche zum Erfassen und Ausgeben der Dichte sowie wenigstens einer weiteren Meßgröße, insb. eines Massedurchflusses, eines Volumendurchflusses, einer Strömungsgeschwindigkeit, einer Viskosität, eines Drucks, einer Temperatur und/oder dergleichen, des in der Prozeßleitung strömenden Mediums, insb. Wasserstoff, Stickstoff, Chlor, Sauerstoff, Helium oder daraus gebildete Verbindungen und/oder Gemische wie z.B. Kohlendioxid, Wasser, Phosgen, Erdgas oder Luft.

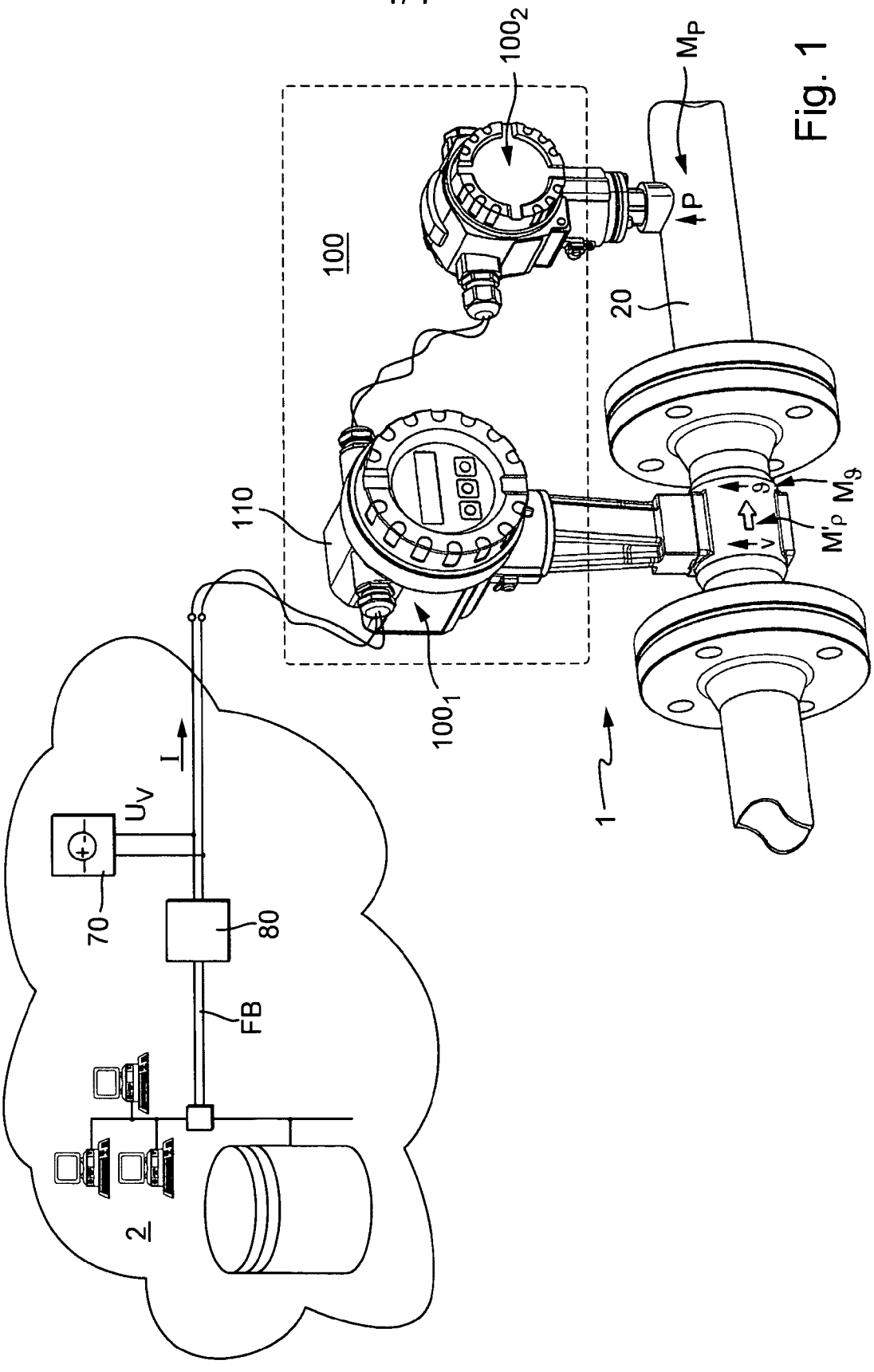
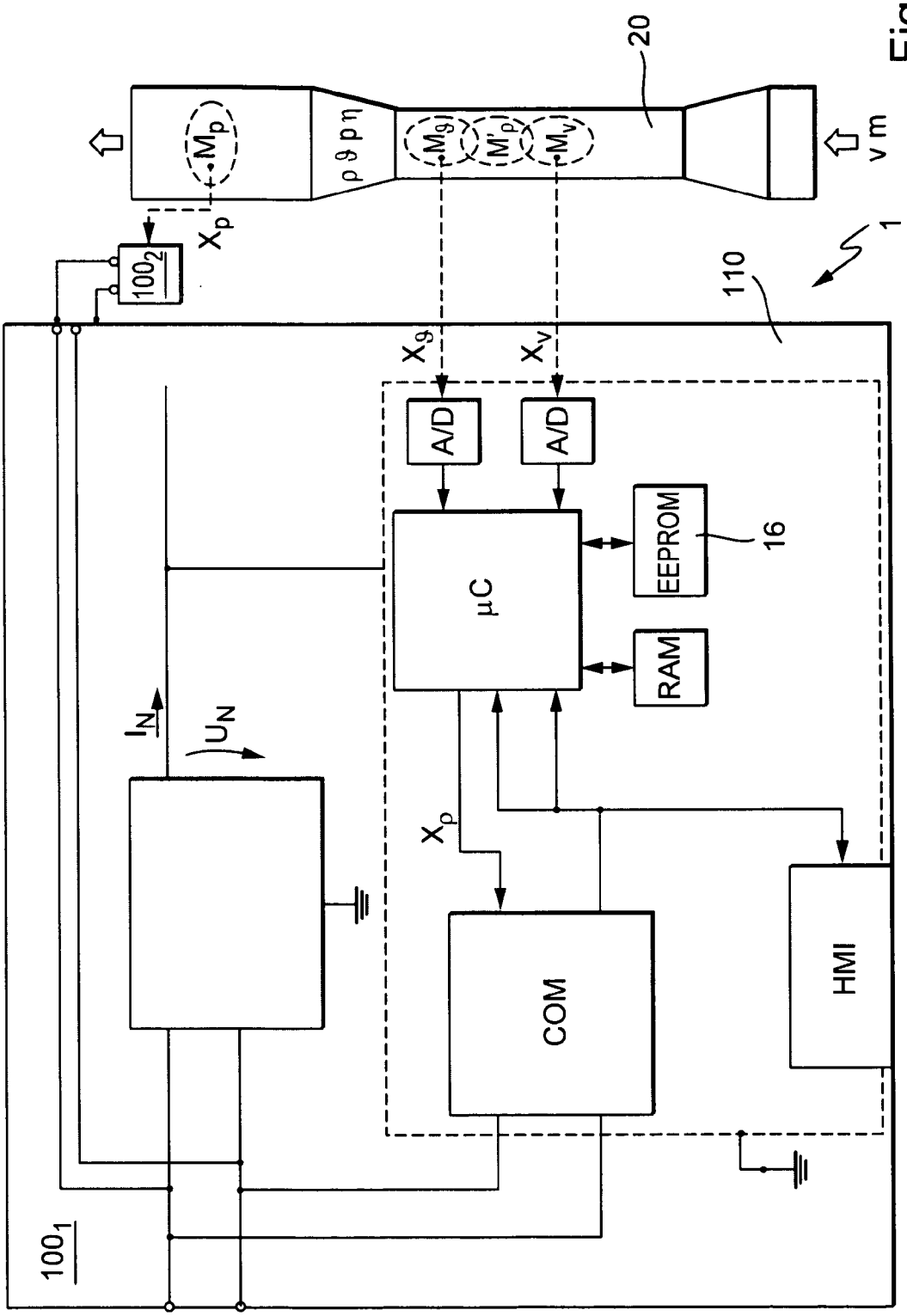


Fig. 1

Fig. 2


20
M_p
$p\ \vartheta\ p\ \eta$
M_g
M'_p
M_v
v m
X_p
100_2
1
110
X_g
X_v
A/D
A/D
µC
EEPROM
16
RAM
I_N
U_N
X_p
COM
HMI
100_1

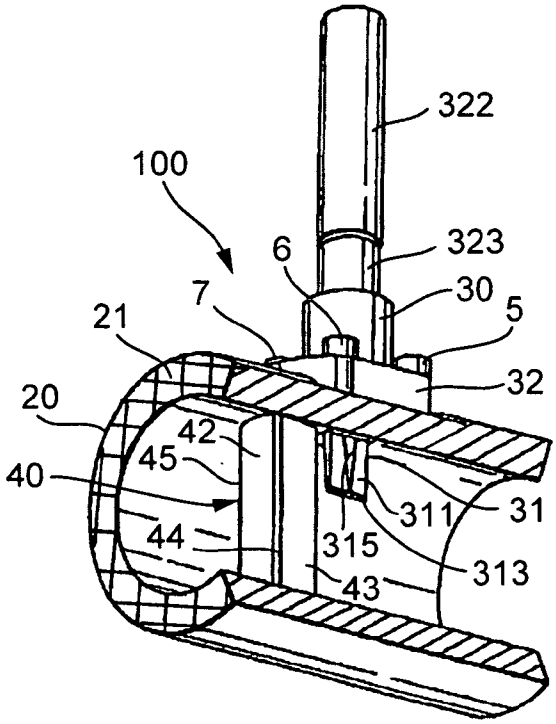

322
100
6
323
7
30
5
21
32
20
42
45
40
311
31
44
315
313
43

Fig. 3a

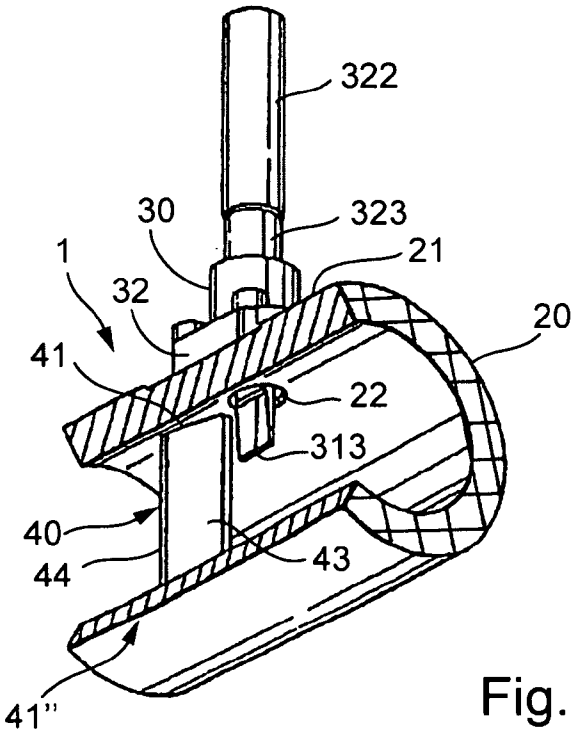

322
30
323
1
21
32
20
41
22
313
40
44
43
41''

Fig. 3b

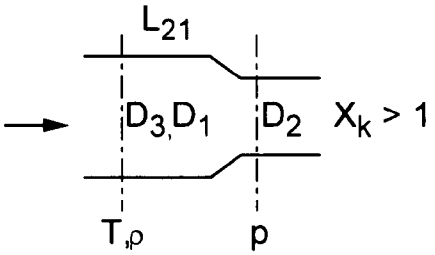


Fig. 4a

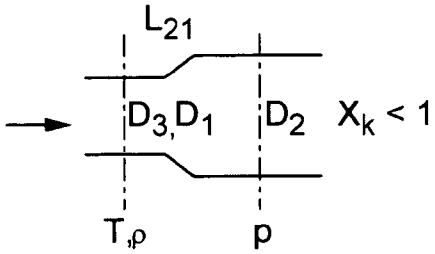


Fig. 4e

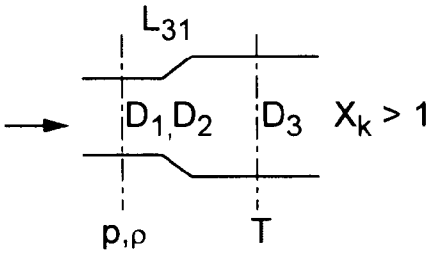


Fig. 4b

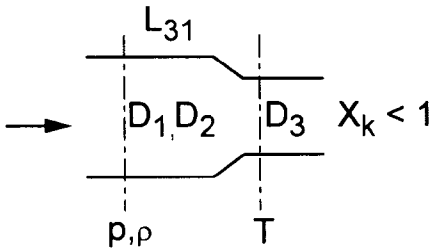


Fig. 4f

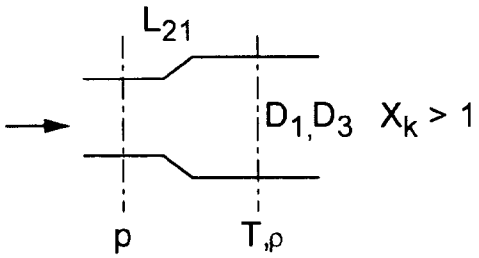


Fig. 4c

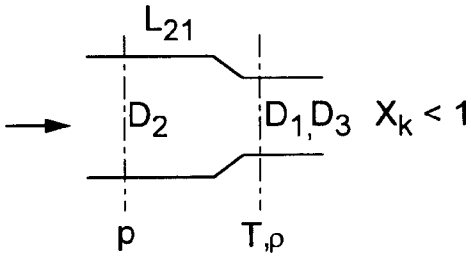


Fig. 4g

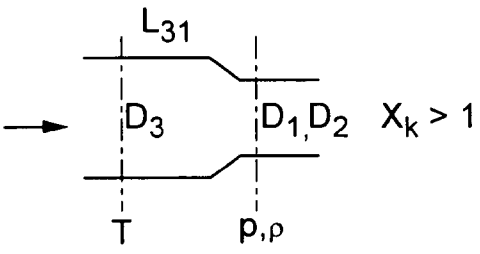


Fig. 4d

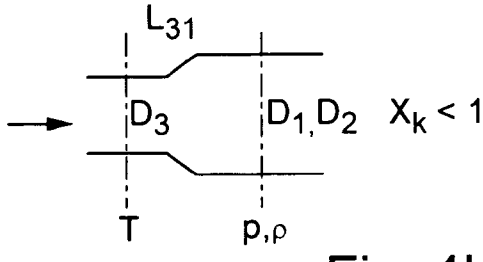


Fig. 4h