

(12)

Patentschrift

(21)	Anmeldenummer:	A 50598/2019	(51)	Int. Cl.:	G01F 15/02	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	01.07.2019			G01F 15/18	(2006.01)
(45)	Veröffentlicht am:	15.02.2021			G01F 1/50	(2006.01)
					G01F 5/00	(2006.01)
					G01N 25/16	(2006.01)

(56)	Entgegenhaltungen:	(73)	Patentinhaber:
	DE 102014119212 A1		AVL List GmbH
	DE 102006036666 A1		8020 Graz (AT)
		(72)	Erfinder:
			Buchner Michael Dipl.Ing.
			8010 Graz (AT)
			Kammerstetter Heribert Dr.
			5020 Salzburg (AT)
		(74)	Vertreter:
			Kopetz Heinrich Dipl.Ing.
			8020 Graz (AT)

(54) **System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem derartigen System**

(57) Es sind Systeme zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien mit einem Einlass (12), einem Auslass (14) und einem zwischen dem Einlass (12) und dem Auslass (14) angeordneten Durchflussmessgerät (10), welches zumindest eine Pumpe (48), einen Dichtesensor (50), einen Temperatursensor (51) und elektrische oder elektronische Bauteile aufweist, bekannt.

Um die Dichte nicht bei exakt der selben Temperatur wie das Volumen messen zu müssen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass ein Dichtesensor (50) oder ein zum Dichtesensor (50) führender Leitungsabschnitt (56) unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors (50) in Wärme übertragendem Kontakt zu den Wärme erzeugenden elektrischen oder elektronischen Bauteilen steht und die Pumpe (48) drehzahl geregelt ist. Entsprechend wird ein Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten vorgeschlagen, bei dem die Dichte und die Temperatur eines durch die Wärme erzeugenden elektrischen oder elektronischen Bauteile erwärmten Mediums am Dichtesensor (50) und am Temperatursensor (51) bei zwei unterschiedlichen Drehzahlen der Pumpe (48) gemessen werden und aus den Messwerten des Dichtesensors (50) und den zugehörigen Messwerten des Temperatursensors (51) der thermische Ausdehnungskoeffizient berechnet wird.

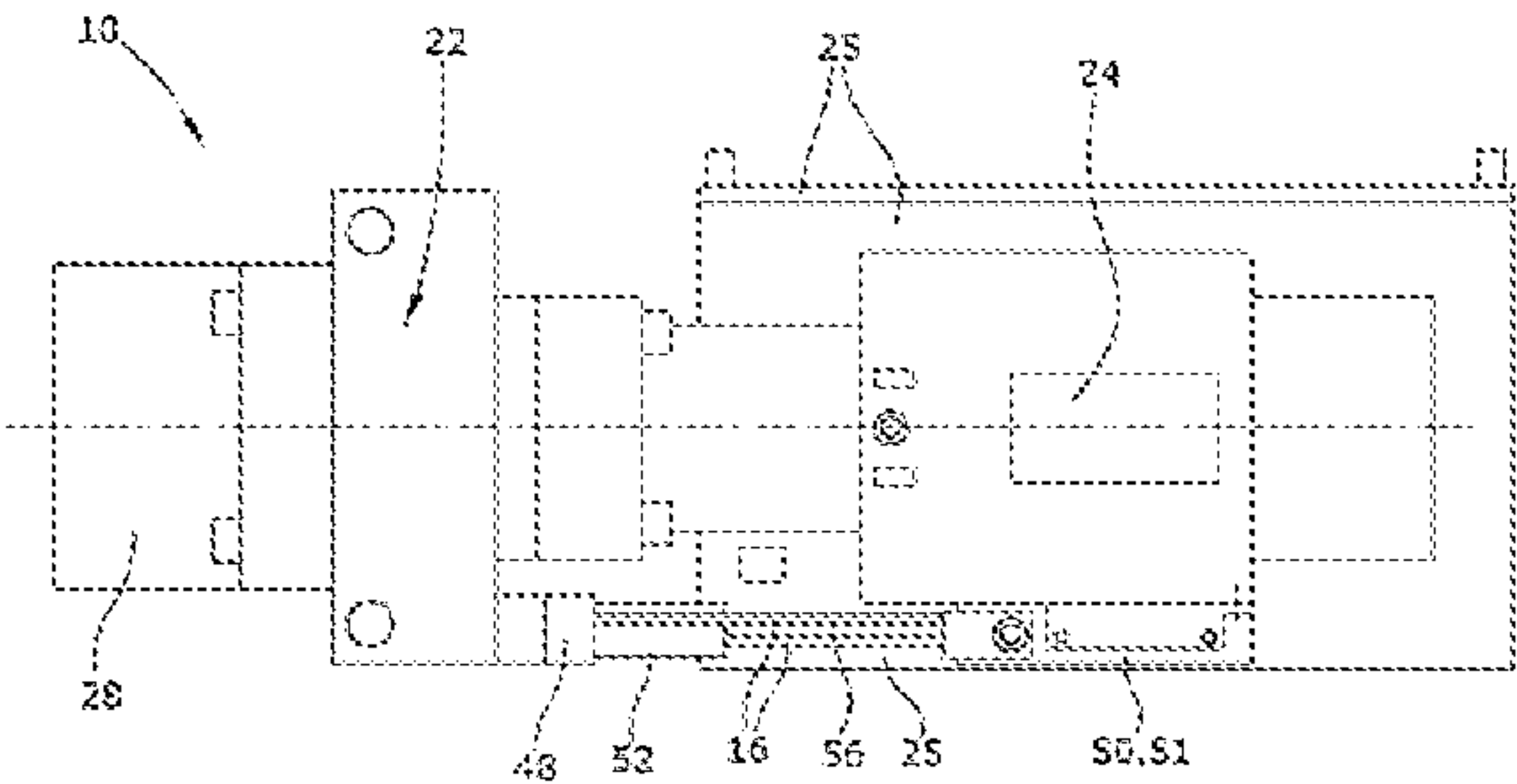


Fig.2

Beschreibung

SYSTEM ZUR MESSUNG VON ZEITLICH AUFGELÖSTEN DURCHFLUSSVORGÄNGEN VON MEDIEN SOWIE EIN VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG EINES THERMISCHEN AUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN MIT EINEM DERARTIGEN SYSTEM

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien mit einem Einlass, einem Auslass und einem zwischen dem Einlass und dem Auslass angeordneten Durchflussmessgerät, welches zumindest eine Pumpe, einen Dichtensensor, einen Temperatursensor und elektrische oder elektronische Bauteile aufweist sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem derartigen System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien.

[0002] Derartige Systeme sind seit vielen Jahren bekannt und werden beispielsweise zur Einspritzmengenmessung bei Verbrennungsmotoren verwendet. So wird beispielsweise in der DE 1 798 080 ein elektronisch gesteuertes Durchflussmessgerät mit einem Einlass und einem Auslass beschrieben, zwischen denen ein rotatorischer Verdränger in Form einer Zahnradpumpe sowie in einer zum Verdränger parallelen Leitung ein Kolben in einer Messkammer angeordnet ist. Zur Bestimmung der Durchflussmenge wird die Auslenkung des Kolbens in der Messkammer mittels eines optischen Sensors gemessen. Die Drehzahl der Zahnradpumpe wird aufgrund dieses Signals über eine Auswerte- und Steuereinheit stetig nachgeregelt und zwar derart, dass der Kolben möglichst immer in seine Ausgangsposition zurückgeführt wird, so dass in der Umgehungsleitung lediglich kleine Strömungen entstehen. Aus der über einen Kodierer gemessenen Anzahl der Umdrehungen oder Teilumdrehungen der Zahnradpumpe sowie dem bekannten Fördervolumen der Zahnradpumpe bei einer Umdrehung wird so der Durchfluss innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls berechnet.

[0003] Ein derartig aufgebautes Durchflussmengenmessgerät wird auch in der DE 103 31 228 B3 beschrieben. Zur Bestimmung der genauen Einspritzmengenverläufe wird die Zahnradpumpe vor Beginn der Einspritzung jeweils auf eine konstante Drehzahl eingestellt, so dass anschließend die Bewegung des Kolbens gemessen wird und zur Bestimmung der Einspritzverläufe genutzt wird.

[0004] Um zusätzlich Fehler bei den Messungen durch Schwankungen der Dichte des gemessenen Mediums zu vermeiden, wurde in der EP 3 073 228 A1 ein System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien beschrieben, bei dem ein Leitungsabschnitt des Durchflussmessgeräts über eine Bypassleitung umgehbar ist, in der eine Pumpe und ein Dichtensensor in Reihe geschaltet angeordnet sind, um zeitgenau präzise Aussagen zur vorhandenen Dichte des gemessenen Mediums vornehmen zu können, welche zur Umrechnung der gemessenen Volumenströme auf Massenströme genutzt werden können.

[0005] Auch ist es aus der DE 10 2010 045 521 A1 bekannt, die Wärmeausdehnung eines Kraftstoffs zu bestimmen, indem der Kraftstoff in ein Messvolumen eingebracht wird, und dem Kraftstoff in dem Messvolumen Energie zugeführt wird. Dabei wird der Druck im Anfangs- und im Endzustand gemessen und aus der Druckdifferenz eine Wärmeausdehnung berechnet. Durch die so gewonnenen Messwerte ist es auch möglich, Rückschlüsse auf die verwendeten Stoffgemische zu ziehen.

[0006] In derzeit auf dem Markt erhältlichen Messgeräten wird versucht, die Dichte möglichst genau bei der Temperatur zu bestimmen, bei der auch der Volumenstrom gemessen wird, um eine Umrechnung auf die Temperatur bei der der Volumenstrom gemessen wurde, zu vermeiden, da für eine solche Umrechnung der exakte Wärmeausdehnungskoeffizient bekannt sein müsste. Auch eine Umrechnung eines gemessenen Volumenstroms auf einen Volumenstrom bei einer Referenztemperatur ist ohne den Wärmeausdehnungskoeffizienten nicht möglich, so dass eine entsprechende Vorkonditionierung des Mediums erforderlich wäre. Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine Vorabmessung des Wärmeausdehnungskoeffizienten häufig nicht mehr ausreichend ist, da sich die Zusammensetzungen der zu vermessenden Medien zum Teil ändern. Des Weiteren

ren ergibt sich insbesondere durch die Miniaturisierung das Problem, dass häufig in der Nähe der Dichtesensoren Wärme erzeugende Bauteile vorhanden sind, durch die die Temperatur am Dichtesensor eine andere ist als die Temperatur des Mediums am Durchflussmessgerät selber. Dies führt dazu, dass eine Umrechnung auf das Volumen beziehungsweise die Dichte bei Zahnradtemperatur notwendig wird, wozu der exakte Ausdehnungskoeffizient bekannt sein muss.

[0007] Es stellt sich daher die Aufgabe, ein System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem derartigen System zu schaffen, mit denen die Messergebnisse im Vergleich zu bekannten System und Verfahren verbessert werden, indem der Wärmeausdehnungskoeffizient möglichst genau ermittelt und bei der Berechnung normierter Volumenströme oder Massenströme verwendet werden kann, ohne hierfür zusätzliche Messgeräte verwenden zu müssen oder separate Proben vermessen zu müssen. Insbesondere soll es verhindert werden, dass die Dichte bei exakt der gleichen Temperatur gemessen werden muss wie das Volumen, um genaue Messwerte zu erhalten.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen eines Mediums mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem derartigen System nach Anspruch 11 gelöst.

[0009] Bezüglich des Systems zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen eines Mediums wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass der Dichtesensor oder ein zum Dichtesensor führender Leitungsabschnitt unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors in Wärme übertragendem Kontakt zu den Wärme erzeugenden elektrischen oder elektronischen Bauteilen steht und die Pumpe drehzahl geregelt ist, denn mit einem derartigen Aufbau wird es möglich, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen, bei dem eine Dichte und eine Temperatur eines durch die Wärme erzeugenden elektrischen oder elektronischen Bauteile erwärmten Mediums am Dichtesensor und am Temperatursensor bei zumindest zwei unterschiedlichen Drehzahlen der Pumpe gemessen werden und aus den Messwerten des Dichtesensors und den zugehörigen Messwerten des Temperatursensors der thermische Ausdehnungskoeffizient berechnet wird. Üblicherweise wird die Drehzahl permanent verändert werden und entsprechend eine Vielzahl von Messungen durchgeführt werden. Diese Berechnung erfolgt dann beispielsweise für die zwei verschiedenen Messungen bei zwei unterschiedlichen Drehzahlen mit der Formel $\gamma = \frac{1}{T_2 - T_1} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right)$.

Der Temperatursensor ist häufig im Dichtesensor integriert, so dass die gemessene Temperatur auch der Temperatur am Dichtesensor entspricht. Zunächst erfolgt die Messung bei einer ersten vorgegebenen Drehzahl der Pumpe. Dies bedeutet, dass das Medium mit einer ersten Temperatur zum Dichtesensor gelangt, dessen Temperatur geringfügig höher ist, da der Dichtesensor oder der Leitungsabschnitt, der unmittelbar zum Dichtesensor führt, in Wärme leitendem Kontakt mit den Wärme erzeugenden Bauteilen steht. Somit wird für eine erste, im Vergleich zum im übrigen Durchflussmessgerät geförderten Medium erhöhte Temperatur eine erste Dichte gemessen. Wird nun beispielsweise die Drehzahl der Pumpe erhöht, wird mehr kühleres Medium aus dem Durchflussmessgerät, welches entsprechend als Wärmesenke wirkt, umgewälzt, wodurch sich am Temperatursensor und am Dichtesensor, der in unmittelbarer Nähe an der Wärmequelle gelegen ist, nämlich an den Wärme erzeugenden Bauteilen, eine verringerte Temperatur und daraus folgend eine andere Dichte als bei der ersten Messung ergibt. Entsprechend kann durch Änderung der Drehzahl der Pumpe eine Vielzahl an Messungen bei verschiedenen Temperaturen vorgenommen werden und somit sehr genau der Wärmeausdehnungskoeffizient hochdynamisch berechnet werden. Es kann somit durch diesen Aufbau die Flüssigkeitskennlinie aktiv im Durchflussmessgerät abgefahren werden.

[0010] Günstig kann es auch sein, wenn der Dichtesensor eine insbesondere kontrollierbare Wärmequelle umfasst. Das heißt die Wärmequelle ist bevorzugt im Dichtesensor integriert. Dabei wird dann die Wärmequelle anstatt die Umlaufmenge geregelt. Dies kann dann als Äquivalent zu einer Umlaufmengenregelung mittels Pumpe gesehen werden, wobei dann die Pumpe mit konstanter Drehzahl drehen würde. Eine Kombination aus beiden Regelstrategien ist natürlich auch

denkbar. Dies würde zwar den Aufwand erhöhen, allerdings ist dann eine Temperaturregelung noch flexibler und eine größere Integrationsdichte erreichbar.

[0011] Vorzugsweise weist das Durchflussmessgerät eine Hauptleitung auf, über die der Einlass mit dem Auslass fluidisch verbunden ist und in der ein Verdränger angeordnet ist, der über eine Umgehungsleitung, die zwischen dem Einlass und dem Verdränger von der Hauptleitung abzweigt und zwischen dem Verdränger und dem Auslass in die Hauptleitung mündet, umgehbar ist, wobei in der Umgehungsleitung ein Druckdifferenzaufnehmer angeordnet ist, und der Verdränger über einen Antriebsmotor angetrieben wird, der mittels einer Elektronikeinheit in Abhängigkeit der am Druckdifferenzaufnehmer anliegenden Druckdifferenz ansteuerbar ist, wobei der Antriebsmotor oder die Elektronikeinheit des Verdrängers als Wärme erzeugende elektrische oder elektronische Bauteile dienen, die mit dem Dichtesensor oder dem zum Dichtesensor führenden Leitungsabschnitt unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors in Wärme übertragendem Kontakt stehen. Entsprechend wird das Medium durch die Elektronikeinheit und/oder den Antriebsmotor des Verdrängers in dem zum Dichtesensor führenden Leitungsabschnitt unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors oder am Dichtesensor erwärmt. Ein solches Durchflussmessgerät arbeitet hochpräzise und kann auf relativ kleinem Bauraum verwirklicht werden. Durch die Verwendung der elektronischen und/oder elektrischen Bauteile als Wärmequelle zum Abfahren der Flüssigkeitskennlinie kann auf zusätzliche Bauteile zur Ermittlung des Wärmeausdehnungskoeffizienten verzichtet werden.

[0012] In einer bevorzugten Weiterbildung des Systems ist ein Leitungsabschnitt der Hauptleitung oder der Umgehungsleitung über eine Bypassleitung umgehbar, in der die Pumpe und der Dichtesensor in Reihe geschaltet angeordnet sind. Somit kann bei der Messung die Dichte des Mediums bestimmt werden, ohne dass Rückwirkungen auf den Messkreis vorhanden sind, da eine Umwälzung im Bypass stattfindet. Das Medium nimmt aus dem umgehbaren Leitungsabschnitt der Hauptleitung oder der Umgehungsleitung Wärme aus dem Medienstrom in der Bypassleitung auf. Das nicht durch die Elektronik erwärmte Medium, also der Hauptstrom in der Umgehungsleitung oder der Hauptleitung dient entsprechend als Wärmesenke, über die der im Kreis geführte Medienstrom wieder abgekühlt wird.

[0013] Die Pumpe ist vorzugsweise durch einen zweiten Antriebsmotor angetrieben und mittels einer Steuereinheit ansteuerbar, wobei die Steuereinheit und/oder der Antriebsmotor als Wärme erzeugende elektrische oder elektronische Bauteile dienen, die mit dem Dichtesensor oder dem zum Dichtesensor führenden Leitungsabschnitt unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors in Wärme übertragendem Kontakt stehen. Der zweite Antriebsmotor wird mittels einer Steuereinheit mit zumindest zwei unterschiedlichen Drehzahlen angesteuert, um den Ausdehnungskoeffizienten bestimmen zu können, was ab zwei Messungen möglich ist. Diese Ermittlung des Ausdehnungskoeffizienten wird mit wachsender Anzahl vorgenommener Messungen bei unterschiedlichen Drehzahlen der Pumpe immer genauer.

[0014] Zusätzlich wird es bei einer derartigen Ausführung auch bezüglich des Verfahrens möglich, dass das Medium durch den zweiten Antriebsmotor und/oder die Steuereinheit der Pumpe im Leitungsabschnitt der Bypassleitung stromaufwärts des Dichtesensors oder am Dichtesensor erwärmt wird. Somit dient der Antriebsmotor oder die Steuereinheit der Pumpe als Wärmequelle, so dass die Möglichkeit zum Abfahren der Kennlinie gegeben ist. Es kann entsprechend alternativ neben dem Antrieb des Verdrängers auch der Antrieb der Pumpe direkt als Wärmequelle dienen, je nachdem was vom Aufbau des Systems günstiger ist. Es kann auch vorgesehen sein, dass das Medium zusätzlich oder alternativ durch ein eigens hierfür vorgesehenes Heizelement erwärmt wird.

[0015] Um einen Einfluss auf die Messungen des Durchflussmessgerätes und insbesondere auf den Druckdifferenzaufnehmer durch die Bypassleitung auszuschließen, wird die Pumpe pulsationsfrei ausgeführt, insbesondere als Teslapumpe. Auch werden hierdurch Fehler in den Messungen des Dichtesensors ausgeschlossen, welche beispielsweise bei einer Ausführung als MEMS-Sensor oder bei makroskopischen Sensoren gegebenenfalls selbst durch die Pulsationen im Medium selbst zum Schwingen angeregt würden. Teslapumpen fördern ein Fluid ohne Schaufeln

verwenden zu müssen, sondern lediglich aufgrund der vorhandenen Viskosität des Fluides unter Nutzung der Adhäsionskräfte. Hierzu werden mehrere nebeneinander angeordnete Scheiben, zwischen die zentral das Medium eingeführt wird, über einen Antriebsmotor in Drehung versetzt, wodurch das Medium tangential in Drehrichtung und radial nach außen aufgrund der Viskosität und der Adhäsion mit nach außen wachsender Geschwindigkeit gefördert wird. Dies führt zu einer pulsationsfreien Förderung mit guten Wirkungsgraden.

[0016] In einer weiterführenden Ausführungsform ist die Teslapumpe in Förderrichtung des Mediums in der Bypassleitung stromaufwärts des Dichtesensors angeordnet, wodurch Lufteinschlüsse bei Inbetriebnahme im Bereich des Sensors nicht zur Pumpe gelangen. Solche Luftblasen können von einer Teslapumpe aufgrund zu geringer Adhäsionskräfte des Mediums nicht gefördert werden, wodurch sonst der Wirkungsgrad der Pumpe extrem herabgesetzt würde.

[0017] Auch ist es vorteilhaft, wenn die Bypassleitung von der Umgehungsleitung zwischen dem Einlass und dem Druckdifferenznehmer abzweigt und mündet. Diese Position ist einerseits sehr gut zugänglich, so dass kurze Verbindungsleitungen ausreichen und andererseits wird eine Beeinflussung der Messung des Durchflussmessgerätes verhindert, da das Medium direkt im Kreis geführt werden kann, ohne dass eine Strömung an der Messkammer erzeugt wird.

[0018] Um einerseits die Temperatur an der gleichen Stelle zu messen wie die Dichte und andererseits den Aufbau des Systems zu vereinfachen, ist der Temperatursensor im Dichtesensor integriert.

[0019] Auch wird eine Vereinfachung des Aufbaus des Systems dadurch erreicht, dass die Steuereinheit des zweiten Antriebsmotors der Pumpe in die Elektronikeinheit integriert ist.

[0020] Es wird somit ein System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem derartigen System zur Verfügung gestellt, mit dem die Flüssigkeitskennlinie des jeweils verwendeten Mediums direkt am Durchflussmessgerät abgefahren werden kann, um mit hoher Genauigkeit den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Mediums hochdynamisch zu bestimmen. Entsprechend können die gewonnenen Werte bei der Berechnung der zu bestimmenden Massen- und Volumenströme des Durchflussmessgerätes verwendet werden, welche somit ebenfalls eine höhere Genauigkeit aufweisen. Hierzu sind keine zusätzlichen Bauteile erforderlich. Stattdessen werden die ohnehin Wärme produzierenden Bauteile als Wärmequelle und das kühlere Medium als Wärmesenke beim abfahren der Kennlinie verwendet.

[0021] Das erfindungsgemäße System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien sowie das Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem derartigen System werden im Folgenden anhand eines in den Figuren dargestellten, nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels beschrieben.

[0022] Figur 1 zeigt ein Schema des prinzipiellen Aufbaus eines erfindungsgemäßen Systems zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien.

[0023] Figur 2 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Systems zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien mit teilweise aufgeschnitten dargestellten Körpern.

[0024] Das in Figur 1 dargestellte erfindungsgemäße System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien besteht aus einem Durchflussmessgerät 10 mit einem Einlass 12 und einem Auslass 14 sowie einer Bypassleitung 16, über die ein Leitungsabschnitt 18 des Durchflussmessgerätes 10 umgehbar ist.

[0025] Über den Einlass 12 strömt ein zu messendes Medium, insbesondere ein Kraftstoff, aus einer einen Durchfluss erzeugenden Vorrichtung in eine Hauptleitung 20 des Durchflussmessgerätes 10. In dieser Hauptleitung 20 ist ein rotatorischer Verdränger 22 in Form einer Doppelzahnradpumpe angeordnet. Stromabwärts des Verdrängers 22 endet die Hauptleitung 20 am Auslass 14. Der rotatorische Verdränger 22 wird über eine Kupplung oder ein Getriebe von einem Antriebsmotor 24 angetrieben, der über eine Elektronikeinheit 25 angesteuert wird.

[0026] Von der Hauptleitung 20 zweigt zwischen dem Einlass 12 und dem rotatorischen Verdränger 22 eine Umgehungsleitung 26 ab, die stromabwärts des rotatorischen Verdrängers 22 zwischen diesem und dem Auslass 14 wieder in die Hauptleitung 20 mündet und entsprechend wie die Hauptleitung 20 fluidisch mit dem Einlass 12 und dem Auslass 14 verbunden ist. In dieser Umgehungsleitung 26 ist ein translatorischer Druckdifferenznehmer 28 angeordnet, der aus einer Messkammer 30 und einem in der Messkammer 30 frei verschiebbar angeordneten Kolben 32 besteht, der das gleiche spezifische Gewicht wie das Messmedium, also der Kraftstoff, aufweist und wie die Messkammer 30 zylindrisch geformt ist; die Messkammer 30 weist somit einen Innendurchmesser auf, der im Wesentlichen dem Außendurchmesser des Kolbens 32 entspricht. Bei Anliegen einer Druckdifferenz zwischen der Vorderseite und der Rückseite des Kolbens 32 erfolgt eine Auslenkung des Kolbens 32 aus seiner Ruhestellung. Entsprechend ist die Auslenkung des Kolbens 32 ein Maß für die anliegende Druckdifferenz. An der Messkammer 30 ist ein Wegsensor 34 angeordnet, der in Wirkverbindung mit dem Kolben 32 steht und in dem durch die Auslenkung des Kolbens 32 eine von der Größe der Auslenkung des Kolbens 32 abhängige Spannung erzeugt wird. Dieser an der Messkammer 30 befestigte Wegsensor 34 ist insbesondere ein magnetoresistiver Sensor, über den die auf ihn wirkende Feldstärke eines Magneten 36 in eine Spannung umgewandelt wird. Hierzu ist der Magnet 36 im Schwerpunkt des Kolbens 32 befestigt. Als Wegsensoren 34 können jedoch auch Lichtsensoren eingesetzt werden.

[0027] Der Wegsensor 34 ist ebenfalls mit der Elektronikeinheit 25 verbunden, die entsprechend zur Auswertung der Messungen des Wegsensors dient und diese in Steuersignale für den Antriebsmotor 24 umwandelt, der derart angesteuert wird, dass sich der Kolben 32 immer in einer definierten Ausgangsstellung befindet, der rotatorischer Verdränger 22 also die aufgrund des eingespritzten Mediums am Kolben 32 entstehende Druckdifferenz durch Förderung ständig etwa ausgleicht. Dies bedeutet, dass bei Auslenkung des Kolbens 32 nach rechts in Abhängigkeit der Größe dieser Auslenkung die Pumpendrehzahl erhöht wird und umgekehrt. Hierzu wird die Auslenkung des Kolbens 32 beziehungsweise das durch ihn verdrängte Volumen in der Messkammer 30 mittels einer Übertragungsfunktion in ein gewünschtes Fördervolumen des rotatorischen Verdrängers 22 beziehungsweise eine Drehzahl des Antriebsmotors 24 umgerechnet und der Antriebsmotor 24 entsprechend bestromt. Die Elektronikeinheit 25 beinhaltet jedoch auch die Wärme erzeugenden Leistungshalbleiter zur Ansteuerung des Antriebsmotors 24.

[0028] In der Messkammer 30 ist ein Druckmesselement 40 und unmittelbar hinter dem rotatorischen Verdränger ein Temperaturmesselement 42 angeordnet, die kontinuierlich die in diesem Bereich auftretenden Drücke und Temperaturen messen und wiederum der Elektronikeinheit 25 zuführen, um Änderungen der Dichte in der Messkammer 30 bei der Berechnung berücksichtigen zu können.

[0029] Der Ablauf der Messungen erfolgt derart, dass bei der Berechnung eines zu ermittelnden Gesamtdurchflusses in der Elektronikeinheit 25 sowohl ein durch die Bewegung beziehungsweise Stellung des Kolbens 32 und das damit verdrängte Volumen in der Messkammer 30 entstehender Durchfluss in der Umgehungsleitung 26 als auch ein tatsächlicher Durchfluss des rotatorischen Verdrängers 22 in einem festgelegten Zeitintervall berücksichtigt werden und beide Durchflüsse zur Ermittlung des Gesamtdurchflusses miteinander addiert werden.

[0030] Die Ermittlung des Durchflusses am Kolben 32 erfolgt beispielsweise, indem in der Elektronikeinheit 25, die mit dem Wegsensor 34 verbunden ist, die Auslenkung des Kolbens 32 differenziert wird und anschließend mit der Grundfläche des Kolbens 32 multipliziert wird, so dass sich ein Volumenstrom in der Umgehungsleitung 26 in diesem Zeitintervall ergibt.

[0031] Der Durchfluss durch den rotatorischen Verdränger 22 und somit in der Hauptleitung 20 kann entweder aus den ermittelten Steuerdaten zur Regelung des Verdrängers 22 bestimmt werden oder über die Drehzahl berechnet werden, wenn diese direkt am Verdränger 22 oder am Antriebsmotor 24 beispielsweise über optische Kodierer oder magnetoresistive Sensoren gemessen wird.

[0032] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel zweigt zwischen dem Einlass 12 und der Messkammer 30 von der Umgehungsleitung 26 die Bypassleitung 16 ab, die vor der Messkammer 30 unter

Umgehung des Leitungsabschnitts 18 wieder in die Umgehungsleitung 26 mündet. Es wäre auch möglich, diese Bypassleitung 16 an einer beliebigen anderen Position der Hauptleitung 20 oder der Umgehungsleitung 26 abzweigen und wieder münden zu lassen, wobei die Bypassleitung 16 nicht den Verdränger 22 oder den Druckdifferenzaufnehmer 28 umgehen darf.

[0033] Zwischen der Abzweigung 44 und der Mündung 46 sind in der Bypassleitung 16 eine pulsationsfrei fördernde Pumpe 48 in Form einer Teslapumpe sowie ein Dichtesensor 50 in Reihe geschaltet hintereinander angeordnet. Üblicherweise ist im Dichtesensor 50 auch ein Temperatursensor 51 enthalten, so dass die Temperatur, bei der die Dichte gemessen wird, exakt bekannt ist. Dieser Dichtesensor 50 kann beispielsweise als nach dem Coriolis-Prinzip messender MEMS-Sensor ausgebildet sein. Die Teslapumpe 48 wird über einen zweiten Antriebsmotor 52 angetrieben, der über eine Steuereinheit 54 angesteuert wird, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel in der Elektronikeinheit 25 integriert ist. Der zweite Antriebsmotor 52 und der Dichtesensor 50 mit dem Temperatursensor 51 sind somit elektrisch mit der Elektronikeinheit 25 verbunden, so dass die Messwerte des Dichtesensors 50 genutzt werden können, um die berechneten Durchflusswerte durch die zusätzlichen Informationen zur Dichte des Mediums verbessern zu können und die Teslapumpe 48 anzusteuern, über die eine Strömung über den Dichtesensor 50 sichergestellt wird, dessen Messwerte andernfalls von den tatsächlichen zu messenden Werten in der Messkammer aufgrund eines Strömungsstillstands abweichen könnten. Die pulsationsfreie Förderung der Teslapumpe 48 verhindert ebenfalls, dass die Messwerte des Sensors 50 verfälscht werden.

[0034] Die Sensoren 50 schwingen nämlich immer bei einer exakt definierten Frequenz, die von einer Sensorbauart abhängt. MEMS-Sensoren haben aufgrund ihrer kleinen Bauform eine viel höhere Schwingfrequenz als herkömmliche Sensoren. Für gewöhnliche Dichtesensoren liegt die Schwingfrequenz zwischen 100 Hz und 1 kHz für MEMS-Sensoren in der Regel bei 1 kHz oder mehr. So wenn nun die Teslapumpe 48 Pulsationen erzeugt, die in der Nähe der Schwingfrequenz des Sensors 50 liegt, wird der Sensors 50 gestört, weshalb Pulsationen von Pumpen vermieden werden sollen. Der Leitungsabschnitt 18 der Umgehungsleitung 26 wird somit bei Förderung durch die Teslapumpe 48 durch die Bypassleitung 16 umgangen, wobei eine Kreislaufströmung über den Leitungsabschnitt 18 von der Mündung 46 der Bypassleitung 16 zur Abzweigung 44 entsteht, insbesondere da im Idealfall den rotatorischer Verdränger 22 eine Druckdifferenz über den Kolben 32 vollständig ausgleicht, wodurch in der Umgehungsleitung 26 im Idealfall keine Strömung auftritt.

[0035] Der Durchströmungsquerschnitt der Umgehungsleitung 26 des Durchflussmessgerätes 10 ist deutlich größer als der Querschnitt der Bypassleitung 16, deren Durchmesser beispielsweise etwa 4 mm beträgt, so dass zur Erzeugung einer notwendigen Druckdifferenz relativ geringe Strömungsmengen erforderlich sind. Die Pulsationsfreiheit der Pumpe 48 als auch diese geringeren Strömungsmengen stellen sicher, dass eine Rückwirkung auf den Regelkreis des Verdrängers 22 und des Druckdifferenzaufnehmers 28 aufgrund unerwünschter Strömungen oder Pulsationen praktisch nicht vorhanden ist. Entsprechend werden der Elektronikeinheit 25 korrekte zusätzliche Informationen zugeführt, die sowohl bei der Ansteuerung des Verdrängers 22 als auch bei der Berechnung der Durchflüsse verwendet werden können, um so die Ergebnisse zusätzlich verbessern.

[0036] Um die gemessenen Werte des Dichtesensors 50 verwerten zu können, ist es erforderlich, dass dieser bei exakt der gleichen Temperatur die Dichte des Mediums misst, bei der das Durchflussmessgerät 10 arbeitet also die Temperatur, die in der Messkammer 30 beziehungsweise am Verdränger 22 vorliegt. Dies ist jedoch zumeist nicht der Fall, da üblicherweise durch die Umgebungswärme die Temperaturen und damit auch die Dichten an den unterschiedlichen Positionen im System voneinander abweichen können, wodurch Messabweichungen entstehen. Dies wird durch den Wunsch nach immer kleineren Messgeräten noch verstärkt, da ein Einfluss von Wärme erzeugenden Bauteilen, wie der Elektronikeinheit 25 auf die Sensoren 50, 51 wächst. Vor allem bei kleinen Durchflüssen ist dies der Fall, da hierbei nur geringfügige Mengen an konditioniertem neuem Medium in den Sensor 50 gefördert werden. Dadurch reichen schon geringste Wärmequellen aus, um eine signifikante Erwärmung des Mediums zu verursachen. Zwar ist es möglich, den gesamten Sensor mit einem separaten Konditionierpfad zu konditionieren und damit diesen

Effekt abzumildern. Dies stellt aber eine wesentliche Einschränkung des Sensors 50 dar, weil vor allem bei mobilen Anwendungen kein Konditionierkreis vorhanden ist der an den Sensor angeschlossen werden könnte.

[0037] Um die Messwerte dennoch verwenden zu können, ist eine Umrechnung der ermittelten Volumenströme erforderlich, durch die die vorliegenden Temperaturdifferenzen und daraus folgenden Volumenunterschiede ausgeglichen werden können. Für eine solche Umrechnung muss jedoch der Wärmeausdehnungskoeffizient des jeweils verwendeten Mediums bekannt sein. Dieser wird auch immer dann benötigt, wenn die gemessenen Volumina für eine bestimmte Referenztemperatur ermittelt werden müssen. Während früher Proben ins Labor geschickt wurden, um den Ausdehnungskoeffizienten zu bestimmen, ist dies heute nicht mehr ausreichend, da sich die Zusammensetzung der zu vermessenden Kraftstoffe häufig ändert und daher der Wunsch nach einer hochdynamischen Ermittlung des Ausdehnungskoeffizienten besteht.

[0038] Zur Bestimmung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten wird erfindungsgemäß der Dichtesensor 50 oder ein unmittelbar zum Dichtesensor 50 führender Leitungsabschnitt 56 der Bypassleitung 16 an ein Wärme erzeugendes Bauteil des vorhandenen Systems gekoppelt beziehungsweise so nah dazu angeordnet, dass eine Wärmeübertragung stattfindet, so dass das jeweilige Wärme erzeugende Bauteil als Wärmequelle dient.

[0039] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist in Figur 2 zu erkennen, dass der Dichtesensor 50 und der zum Dichtesensor 50 führende Leitungsabschnitt 56 der Bypassleitung 16 so nah am Antriebsmotor 24 des Verdrängers 22 und der Elektronikeinheit 25 angeordnet sind, dass eine Wärmeübertragung auf das Medium stattfindet und die Elektronikeinheit 25 und der Antriebsmotor 24 als Wärmequelle dienen. Dies hat zur Folge, dass das zum Dichtesensor 50 gelangende Medium eine geringfügig höhere Temperatur aufweist als das Medium in der Umgehungsleitung 26 und der Hauptleitung 20 sowie der Messkammer 30. Diese Differenz wird nun genutzt, um die Temperaturkennlinie des Mediums abzufahren, indem die Teslapumpe 48 mit mindestens zwei, üblicherweise jedoch mehreren unterschiedlichen Drehzahlen angetrieben wird. Durch diese unterschiedlichen Drehzahlen ergeben sich unterschiedliche Temperaturen am Dichtesensor 50 und somit auch am Temperatursensor 51, da bei steigendem Durchfluss die Wirkung des geförderten kälteren Mediums aus der Umgehungsleitung 26, welches als Wärmesenke dient, steigt und der Einfluss der durch die Elektronikeinheit 25 gebildeten Wärmequelle geringer wird, da die Wärmequelle eine geringere Zeit auf das Medium wirkt. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Dichten bei unterschiedlichen Temperaturen am Dichtesensor 50 und damit am Temperatursensor 51 bestimmen, woraus wiederum bereits bei zwei unterschiedlichen Messungen durch die Formel $\gamma = \frac{1}{T_2 - T_1} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right)$ der Wärmeausdehnungskoeffizient berechnet werden kann. Mit steigender Anzahl an vorgenommenen Messungen und daraus resultierender Möglichkeit des Abfahrens der gesamten Kennlinie und Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten über ein größeres Temperaturspektrum, wird die Genauigkeit des ermittelten Ausdehnungskoeffizienten insbesondere bei nichtlinearen Medien, bei denen der Ausdehnungskoeffizient nicht konstant ist, erhöht. So schwankt der Ausdehnungskoeffizient beispielsweise bei wasserhaltigen Lösungen sehr stark über die Temperatur, so dass für derartige Lösungen eine möglichst große Anzahl an Messungen vorzunehmen ist. Auch ist eine Gewichtung der jeweils ermittelten Wertepaare der Dichte und Temperatur möglich, wodurch beispielsweise der Einfluss älterer Messungen verringert werden kann, so dass nach Ablauf bestimmter Zeiträume ältere Wertepaare bei der Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten unberücksichtigt bleiben.

[0040] Des Weiteren wird es möglich durch ein Abfahren der Kennlinie die Zusammensetzung des verwendeten Kraftstoffs zu bestimmen, wenn entsprechende Kennlinien bekannter Kraftstoffe hinterlegt werden. Auch Kennlinien mit Steigungsänderungen oder Umkehrstellen sind vollständig auswertbar, wie dies beispielsweise bei Wasser der Fall ist.

[0041] Zusammenfassend werden ein Verfahren zur Ermittlung eines Ausdehnungskoeffizienten und ein System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien, welches für ein derartiges Verfahren geeignet ist, zur Verfügung gestellt, mit denen der Ausdehnungskoeffizient hochdynamisch in der vorhandenen Apparatur bestimmt werden kann und bei der Be-

rechnung der eingespritzten Kraftstoffmengen genutzt werden kann, um die Genauigkeit der Ergebnisse noch einmal zu verbessern. Durch dieses Verfahren kann auf die Messung der Dichte bei exakt der Temperatur, bei der das Volumen gemessen wird, verzichtet werden, da der Ausdehnungskoeffizient für die Umrechnung verwendet werden kann. Dies ist insbesondere durch die stetige Miniaturisierung der Messapparaturen notwendig. Auch sind Umrechnungen auf Referenztemperaturen möglich.

[0042] Somit berechnet das Durchflussmessgerät zeitlich hoch aufgelöste Durchflussvorgänge mit hoher Genauigkeit und kontinuierlich, wobei im Vergleich zu bekannten Ausführungen zusätzliche Daten zur Regelung des Systems oder zur Auswertung der Messergebnisse insbesondere bezüglich des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Mediums zur Verfügung gestellt werden.

[0043] Es sollte deutlich sein, dass die Erfindung nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel begrenzt ist, sondern verschiedene Modifikationen innerhalb des Schutzbereichs des Hauptanspruchs möglich sind. Prinzipiell können auch andere kontinuierlich arbeitende Durchflussmessgeräte benutzt werden oder die Bypassleitung kann an einer anderen Position des Durchflussmessgerätes den entsprechenden Leitungsabschnitt umgehen. Auch können andere Bauteile, wie der Antriebsmotor oder die Steuereinheit der Teslapumpe als Wärmequellen genutzt werden. Bei anderen Durchflussmessgeräten sind andere Wärme erzeugende Bauteile zum Zweck des Abfahrens der Kennlinie nutzbar.

Patentansprüche

1. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien mit einem Einlass (12), einem Auslass (14) und einem zwischen dem Einlass (12) und dem Auslass (14) angeordneten Durchflussmessgerät (10), welches zumindest eine Pumpe (48), einen Dichtesensor (50), einen Temperatursensor (51) und elektrische oder elektronische Bauteile aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Dichtesensor (50) oder ein zum Dichtesensor (50) führender Leitungsabschnitt (56) unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors (50) in Wärme übertragendem Kontakt zu den Wärme erzeugenden elektrischen oder elektronischen Bauteilen steht und die Pumpe (48) drehzahl geregelt ist.
2. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Durchflussmessgerät (10) eine Hauptleitung (20) aufweist, über die der Einlass (12) mit dem Auslass (14) fluidisch verbunden ist und in der ein Verdränger (22) angeordnet ist, der über eine Umgehungsleitung (26), die zwischen dem Einlass (12) und dem Verdränger (22) von der Hauptleitung (20) abzweigt und zwischen dem Verdränger (22) und dem Auslass (14) in die Hauptleitung (20) mündet, umgehbar ist, wobei in der Umgehungsleitung (26) ein Druckdifferenzaufnehmer (28) angeordnet ist, und der Verdränger (22) über einen Antriebsmotor (24) antreibbar ist, der mittels einer Elektronikeinheit (25) in Abhängigkeit der am Druckdifferenzaufnehmer (28) anliegenden Druckdifferenz ansteuerbar ist, wobei der Antriebsmotor (24) oder die Elektronikeinheit (25) des Verdrängers (22) als Wärme erzeugende elektrische oder elektronische Bauteile dienen, die mit dem Dichtesensor (50) oder dem zum Dichtesensor (50) führenden Leitungsabschnitt (56) unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors (50) in Wärme übertragendem Kontakt stehen.
3. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Leitungsabschnitt (18) der Hauptleitung (20) oder der Umgehungsleitung (26) über eine Bypassleitung (16) umgehbar ist, in der die Pumpe (48) und der Dichtesensor (50) in Reihe geschaltet angeordnet sind.
4. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpe (48) durch einen zweiten Antriebsmotor (52) angetrieben ist und mittels einer Steuereinheit (54) ansteuerbar ist, wobei die Steuereinheit (54) und/oder der Antriebsmotor (52) als Wärme erzeugende elektrische oder elektronische Bauteile dienen, die mit dem Dichtesensor (50) oder dem zum Dichtesensor (50) führenden Leitungsabschnitt (56) unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors (50) in Wärme übertragendem Kontakt stehen.
5. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpe (48) eine pulsationsfrei fördernde Pumpe ist.
6. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die pulsationsfrei fördernde Pumpe (48) eine Teslapumpe ist.

7. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Teslapumpe (48) in Förderrichtung vor dem Dichtesensor (50) angeordnet ist.
8. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bypassleitung (16) von der Umgehungsleitung (26) zwischen dem Einlass (12) und dem Druckdifferenzaufnehmer (28) abzweigt und mündet.
9. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Temperatursensor (51) im Dichtesensor (50) integriert ist.
10. System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Steuereinheit (54) des zweiten Antriebsmotors (52) der Pumpe (48) in der Elektroneinheit (25) integriert ist.
11. Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit einem System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Dichte und eine Temperatur eines durch die Wärme erzeugenden elektrischen oder elektronischen Bauteile erwärmten Mediums am Dichtesensor (50) und am Temperatursensor (51) bei zwei unterschiedlichen Drehzahlen der Pumpe (48) gemessen werden und aus den Messwerten des Dichtesensors (50) und den zugehörigen Messwerten des Temperatursensors (51) der thermische Ausdehnungskoeffizient berechnet wird.
12. Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten nach Anspruch 11 mit einem System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Medium durch die Elektroneinheit (25) und/oder den Antriebsmotor (24) des Verdrängers (22) in dem zum Dichtesensor (50) führenden Leitungsabschnitt (56) unmittelbar stromaufwärts des Dichtesensors (50) oder am Dichtesensor (50) erwärmt wird.
13. Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten nach Anspruch 11 oder 12 mit einem System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Medium aus dem umgehbaren Leitungsabschnitt (18) der Hauptleitung (20) oder der Umgehungsleitung (26) Wärme aus dem Medienstrom in der Bypassleitung (16) aufnimmt.
14. Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten nach einem der Ansprüche 11 bis 13 mit einem System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Pumpe (48) durch einen zweiten Antriebsmotor (52) angetrieben wird, der mittels einer Steuereinheit (54) mit zumindest zwei unterschiedlichen Drehzahlen angesteuert wird, bei denen die Messung der Temperatur und der Dichte durch den Dichtesensor (50) und den Temperatursensor (51) durchgeführt wird.
15. Verfahren zur Ermittlung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten nach Anspruch 14 mit einem System zur Messung von zeitlich aufgelösten Durchflussvorgängen von Medien nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass
das Medium durch den zweiten Antriebsmotor (52) und/oder die Steuereinheit (54) des zweiten Antriebsmotors (52) der Pumpe im Leitungsabschnitt (56) der Bypassleitung (16) stromaufwärts des Dichtesensors (50) oder am Dichtesensor (50) erwärmt wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

-1/2-

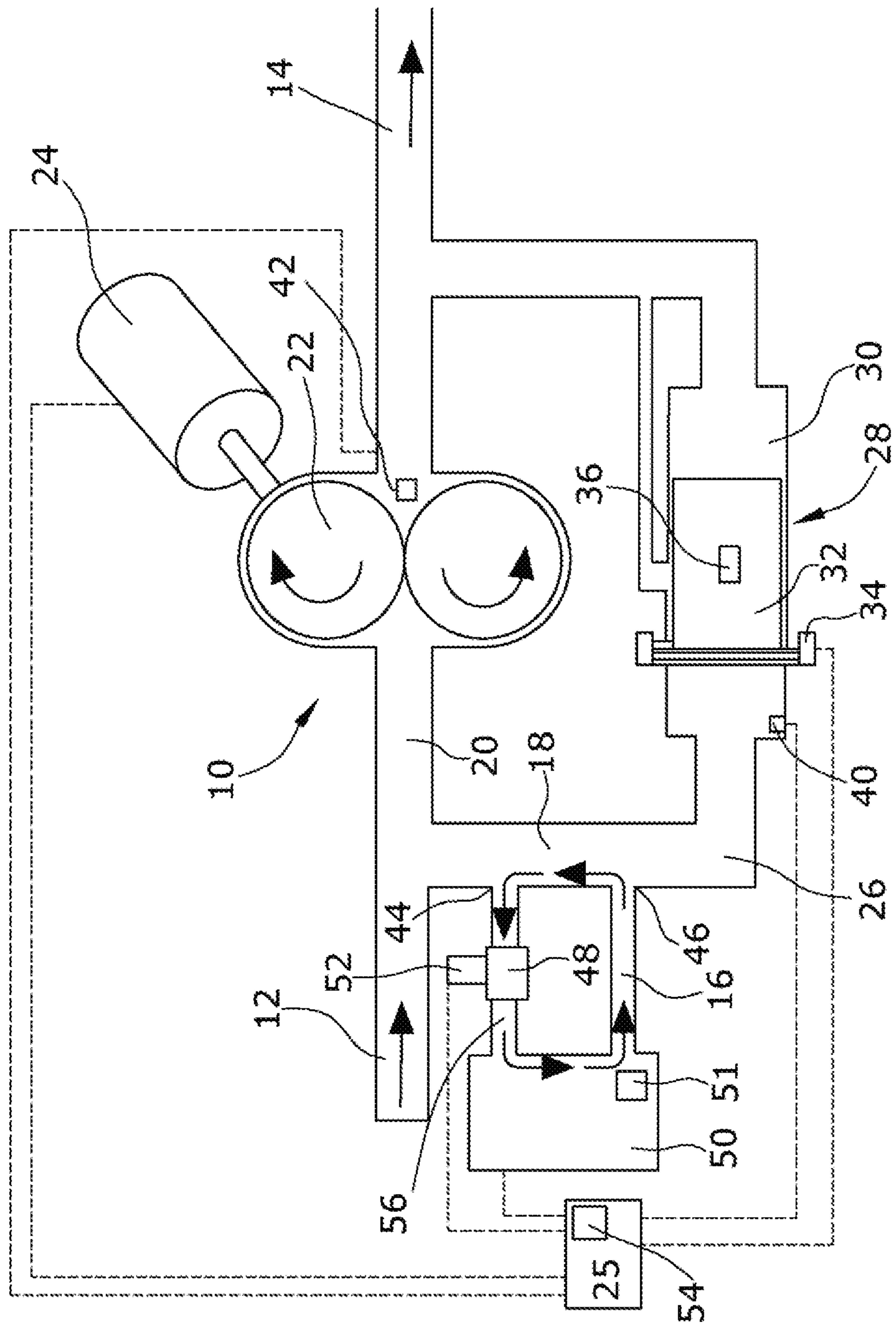


Fig.1

