



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 112 196.7**
(22) Anmeldetag: **04.07.2016**
(43) Offenlegungstag: **04.01.2018**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.04.2018**

(51) Int Cl.: **G05D 7/00 (2006.01)**
G01F 25/00 (2006.01)
F04B 1/18 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE

(72) Erfinder:
Peetz, Bastian, 12621 Berlin, DE; Baack, Sebastian, 10405 Berlin, DE

(74) Vertreter:
Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

Harvard Apparatus: Precision Syringe & Peristaltic Pumps. 2004, <http://www.harvardapparatus.com/media/harvard/pdf/PP118%20pumps.pdf> [online].

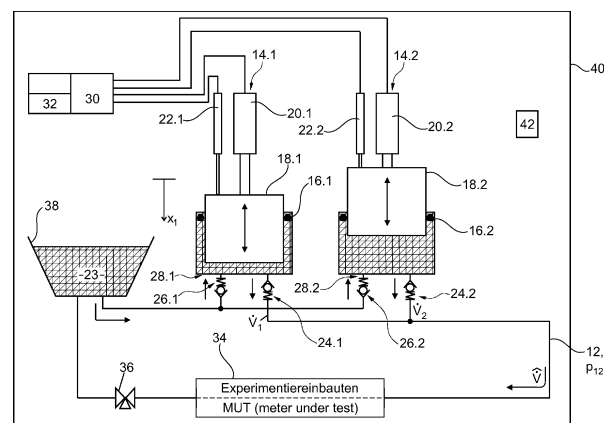
(54) Bezeichnung: **Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung und Verfahren zum Kalibrieren eines Prüflings**

(57) Hauptanspruch: Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses (\hat{V}) eines Fluids (23) mit

- (a) einer Sammelleitung (12) und
- (b) einer ersten Pumpe (14.1), die
 - einen ersten Zylinder (16.1),
 - einen ersten Kolben (18.1), der im ersten Zylinder (16.1) läuft,
 - einen ersten Antrieb (20.1), mittels dem der erste Kolben (18.1) relativ zum ersten Zylinder (16.1) bewegbar ist, und
 - eine erste Positionsbestimmungsvorrichtung (22.1) zum Bestimmen einer ersten Position des ersten Kolbens (18.1) relativ zum ersten Zylinder (16.1) aufweist und
 - mit der Sammelleitung (12) zum Abgeben von Fluid (23) in die Sammelleitung (12) verbunden ist, und
- (c) einer zweiten Pumpe (14.2), die
 - einen zweiten Zylinder (16.2),
 - einen zweiten Kolben (18.2), der im zweiten Zylinder (16.2) läuft,
 - einen zweiten Antrieb (20.2), mittels dem der zweite Kolben (18.2) relativ zum zweiten Zylinder (16.2) bewegbar ist, und
 - eine zweite Positionsbestimmungsvorrichtung (22.2) zum Bestimmen einer zweiten Position des zweiten Kolbens (18.2) relativ zum zweiten Zylinder (16.2) aufweist und
 - mit der Sammelleitung (12) zum Abgeben von Fluid (23) in die Sammelleitung (12) verbunden ist, gekennzeichnet durch
- (d) eine Regelung (30), die eingerichtet ist zum automatischen Regeln der Antriebe (20.1, 20.2), sodass die Pum-

pen (14.1, 14.2) gemeinsam einen vorgegebenen Volumenstrom an Fluid (23) in die Sammelleitung (12) abgeben und

(e) eine relative Messunsicherheit der Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung von höchstens 10^{-3} .



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses eines Fluids mit (a) einer Sammelleitung und (b) einer ersten Pumpe, die einen ersten Zylinder, einen ersten Kolben, der im ersten Zylinder läuft, einen ersten Antrieb, mittels dem der erste Kolben relativ zum ersten Zylinder bewegbar ist, und eine erste Positionsbestimmungsvorrichtung zum Bestimmen der ersten aktuellen Position des ersten Kolbens relativ zum ersten Zylinder aufweist und die mit der Sammelleitung zum Abgeben von Fluid in die Sammelleitung verbunden ist und (c) einer zweiten Pumpe, die einen zweiten Zylinder, einen zweiten Kolben, der im zweiten Zylinder läuft, einen zweiten Antrieb, mittels dem der zweite Kolben relativ zum zweiten Zylinder bewegbar ist, und eine zweite Positionsbestimmungsvorrichtung zum Bestimmen der zweiten aktuellen Position des zweiten Kolbens relativ zum zweiten Zylinder aufweist und mit der Sammelleitung zum Abgeben von Fluid in die Sammelleitung verbunden ist. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Kalibrieren eines Prüflings.

[0002] Derartige Durchfluss-Erzeugungsvorrichtungen werden beispielsweise zur rückgeführten Kalibrierung von Durchflussmessern verwendet. Unter einer rückgeführten Kalibrierung wird dabei verstanden, dass das entsprechende Messergebnis in einer Kette von Kalibrierungen auf die Definition einer SI-Einheit zurückgeführt wird. Es ist wünschenswert, dass die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung den Durchfluss mit einer möglichst hohen Messgenauigkeit und einer möglichst kleinen Messunsicherheit erzeugt.

[0003] Bekannte Durchfluss-Erzeugungsvorrichtungen haben den Nachteil, dass eine kontinuierliche Förderung des Fluids nicht möglich ist, da die Länge der Kolbenbewegung des Kolbens im Zylinder begrenzt ist.

[0004] Es sind zudem Durchfluss-Erzeugungsvorrichtungen bekannt, die kontinuierlich fördernde Pumpen aufweisen, beispielsweise drehzahlgeregelte Kreiselpumpen. Nachteilig an derartigen Systemen ist, dass der Durchfluss nur in unbefriedigender Weise schnell geändert werden kann. Zudem hängen der Druck und der Durchfluss in diesen Systemen voneinander ab.

[0005] Die „Pump 33 Dual Syringe Pump“ von Harvard Apparatus (Harvard Apparatus: Precision Syringe & Peristaltic Pumps, 2004, <http://www.harvardapparatus.com/media/harvard/pdf/PP118%20pumps.pdf>, abgerufen am 04.04.2017) ist eine Spritzenpumpe mit zwei Spritzen, die unabhängig voneinander über je einen Schrittmotor gesteuert werden. Die Messunsicherheit der Spritzenpumpe wird mit 0,35% angegeben. Die Pumpe verfügt über einen einmaligen beweglichen Endschaltmechanismus, der zum Umkehren der Richtung oder zum Abbruch des Betriebs der Pumpe genutzt wird. Der Durchfluss kann auch bei dieser gesteuerten Pumpe nur in unbefriedigender Weise schnell geändert werden.

[0006] Die Pumpe 975 vom gleichen Hersteller hat einen Synchronmotor, der über ein Getriebe den Kolben der Spritze bewegt und der eine geringe Gleichlaufschwankung aufweist. Die Messunsicherheit beim Abgeben eines Flüssigkeitsstroms bei einer derartigen Pumpe ist unter anderem durch den Getriebefehler beeinflusst.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Durchfluss-Erzeugungsvorrichtungen zu verbessern.

[0008] Die Erfindung löst das Problem durch eine Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs und mit (d) einer Regelung, die eingerichtet ist zum automatischen Regeln der Antriebe, sodass die Pumpen gemeinsam einen vorgegebenen Volumenstrom an Fluid in die Sammelleitung abgeben und (e) einer relativen Messunsicherheit von höchstens 10^{-3} .

[0009] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung die Aufgabe durch ein Verfahren zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses eines Fluids mit einer relativen Messunsicherheit von höchstens 10^{-3} , insbesondere höchstens $5 \cdot 10^{-4}$, bei dem eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung verwendet wird. Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein Verfahren zum Kalibrieren eines Prüflings mit den Schritten: (a) Anordnen eines Prüflings in der Sammelleitung einer erfindungsgemäßen Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung, (b) Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses eines Fluids, insbesondere einer Flüssigkeit, durch die Sammelleitung, (c) Erfassen eines Mess-Durchflusses mittels des Prüflings und Erfassung einer Abweichung zwischen dem Durchfluss und dem Mess-Durchfluss.

[0010] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass ein theoretisch unendlich lange dauernder Fluidstrom erzeugbar ist. Es ist nämlich möglich, die beiden Kolben intermittierend und oszillierend zu betreiben und das Fluid im Kreislauf zu führen. Es ist dabei möglich, diesen Durchfluss rückgeführt zu ermitteln. Dazu muss erst die Kolbenfläche und/oder die Zylinderquerschnittsfläche durch eine rückgeführte Messung bestimmt werden. Zudem

ist die Positionsbestimmungsvorrichtung vorzugsweise zur Durchführung einer rückgeführten Messung ausgebildet, das heißt, dass sie selbst rückgeführt kalibriert ist.

[0011] Es ist ein weiterer Vorteil, dass der Durchfluss zeitlich hoch konstant ist. So sind die Antriebe vorzugsweise unabhängig voneinander, das heißt, dass der erste Kolben bewegt werden kann, ohne dass der zweite Kolben bewegt werden muss. Die Regelung ist so ausgebildet, dass sie die Bewegungsgeschwindigkeit der Kolben so einregelt, dass die Pumpen gemeinsam den vorgegebenen Volumenstrom in die Sammelleitung abgeben.

[0012] Es ist ein weiterer Vorteil, dass das System regelventilfrei aufgebaut werden kann. Unter einem Regelventil wird ein Ventil verstanden, das so ausgebildet und angeordnet ist, dass durch Betätigung der Durchfluss durch die Sammelleitung und/oder der Druck in der Sammelleitung veränderbar ist. Ein derartiges Regelventil beeinflusst die bestenfalls erreichbare Messunsicherheit negativ.

[0013] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter der Sammelleitung eine Leitung verstanden, in die die beiden Pumpen, insbesondere alle Pumpen, das Fluid einspeisen. Die Sammelleitung ist diejenige Leitung, in der der Durchfluss mit hoher Genauigkeit bekannt sein soll. Wird die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung als Kalibriervorrichtung eingesetzt, was eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, so befindet sich der Prüfling in der Sammelleitung, das heißt, dass der Prüfling mit dem Durchfluss an Fluid in der Sammelleitung beaufschlagt wird.

[0014] Es ist möglich und bevorzugt, nicht aber notwendig, dass die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung genau zwei Pumpen aufweist, nämlich die erste Pumpe und die zweite Pumpe. Es ist vielmehr auch möglich, dass die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung drei, vier oder mehr Pumpen aufweist. In aller Regel ist es aber vorteilhaft, wenn die Zahl der Pumpen möglichst gering ist.

[0015] Günstig ist es, wenn die Zylinderinnenflächen und/oder die Kolbenflächen im technischen Sinne gleichgroß sind. Das heißt, dass es möglich und in der Regel unvermeidlich ist, dass die beiden Zylinderinnenflächen im mathematischen Sinne ungleich sind. Günstig ist es aber, wenn eine relative Abweichung zwischen einer ersten Zylinderinnenfläche des ersten Zylinders und einer zweiten Zylinderinnenfläche des zweiten Zylinders höchstens 10^{-4} beträgt.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Regelung eingerichtet zum automatischen (i) Regeln einer ersten Geschwindigkeit v_1 des ersten Kolbens auf eine erste zeitabhängige Soll-Geschwindigkeit, wobei die erste zeitabhängige Soll-Geschwindigkeit einer stetigen Funktion $v_1(t)$ entspricht, und (ii) Regeln einer zweiten Geschwindigkeit v_2 des zweiten Kolbens auf eine zweite Soll-Geschwindigkeit, wobei die zweite Soll-Geschwindigkeit einer stetigen Funktion $v_2(t)$ entspricht. Die Geschwindigkeiten der Kolben können beispielsweise induktiv gemessen werden.

[0017] Vorzugsweise ist die Regelung eingerichtet zum automatischen Regeln der ersten Position des ersten Kolbens auf eine erste zeitabhängige Soll-Position, wobei die erste zeitabhängige Soll-Position einer ersten Funktion entspricht, deren zweite Ableitung nach der Zeit stetig ist. Vorzugsweise ist die Regelung zudem eingerichtet zum Regeln der zweiten Position des zweiten Kolbens auf eine zweite Soll-Position, wobei die zweite Soll-Position einer zweiten Funktion entspricht, deren zweite Ableitung nach der Zeit stetig ist. Das hat den Vorteil, dass der Durchfluss in der Sammelleitung zeitlich hoch konstant ist.

[0018] Unter dem Merkmal, dass die erste zeitabhängige Soll-Position einer ersten Funktion entspricht, wird insbesondere verstanden, dass in der Regelung die Funktion hinterlegt ist, beispielsweise in einem digitalen Speicher. Vorzugsweise besitzt die erste Funktion eine dritte Ableitung. Günstig ist es, wenn die maximale Beschleunigung des ersten Kolbens und/oder des zweiten Kolbens kleiner ist als $0,1 \text{ m/s}^2$, insbesondere $0,03 \text{ m/s}^2$.

[0019] Unter dem Merkmal, dass die Pumpen gemeinsam einen vorgegebenen Volumenstrom an Fluid in die Sammelleitung abgeben, wird insbesondere verstanden, dass eine Größe vorgegeben ist, die einem Volumenstrom entspricht. So ist es auch möglich, dass ein Massenstrom vorgegeben wird, der sich aus der Dichte des Fluids und dem Volumenstrom ergibt.

[0020] Vorzugsweise ist die Regelung eingerichtet zum automatischen Regeln der ersten Position und der zweiten Position, sodass ein Ist-Durchfluss durch die Sammelleitung von einem Soll-Durchfluss, auf dessen Basis die Regelung die Positionen regelt, um höchstens 10^{-4} abweicht.

- [0021]** Günstig ist es, wenn die Regelung eingerichtet ist zum oszillierenden Bewegen der Kolben, sodass die Pumpen kontinuierlich arbeiten und ein kontinuierlicher Durchfluss durch die Sammelleitung resultiert.
- [0022]** Vorzugsweise weist die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung eine Zeitmessvorrichtung auf, mit deren Hilfe die Geschwindigkeit der Kolben relativ zu den jeweiligen Zylindern aus den jeweiligen Positionen berechnet wird.
- [0023]** Es ist günstig, wenn die Regelung ausgebildet ist zum automatischen Einstellen eines instationären Durchflusses durch die Sammelleitung. Das heißt, dass in der Regelung eine nicht-konstante Funktion hinterlegt ist, die den Durchfluss in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt. Aufgrund der Konstruktion ist die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung in der Lage, den vorgegebenen instationären Durchfluss mit einer sehr hohen Messgenauigkeit und einer sehr geringen Messunsicherheit einzustellen.
- [0024]** Unter dem Merkmal, dass die Regelung ausgebildet ist zum automatischen Einstellen eines instationären Durchflusses wird insbesondere verstanden, dass der Durchfluss einer vorgegebenen Durchfluss-Funktion entspricht, die von der Zeit abhängt, wobei die Durchfluss-Funktion nicht konstant ist. Das Argument dieser Durchfluss-Funktion ist die Zeit und der Funktionswert der Soll-Durchfluss durch die Sammelleitung.
- [0025]** Vorzugsweise ist der erste Antrieb ein Linearantrieb, beispielsweise ein Linear-Direktantrieb. Vorzugsweise ist zudem der zweite Antrieb ein Linearantrieb, beispielsweise ein Linear-Direktantrieb. Der erste und/oder der zweite Antrieb können alternativ eine Kurvenscheibe, eine Nockenwelle oder einen Spindeltrieb aufweisen. Alternativ können die Antriebe pneumatische oder hydraulische Antriebe sein.
- [0026]** Die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung weist vorzugsweise ein Fluidreservoir auf, das mit zumindest einer ersten Einlassöffnung der ersten Pumpe und mit zumindest einer zweiten Einlassöffnung der zweiten Pumpe verbunden ist. Die Sammelleitung mündet in das Fluidreservoir, sodass ein Dauerbetrieb möglich ist.
- [0027]** Günstig ist es, wenn die erste Pumpe und/oder die zweite Pumpe doppelwirkend ausgebildet sind. In anderen Worten wird das Fluid in die Sammelleitung gefördert, egal in welche Richtung sich der erste Kolben relativ zum ersten Zylinder bewegt und unabhängig davon, in welche Richtung sich der zweite Kolben relativ zum zweiten Zylinder bewegt. Eine derartige Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung kommt in der Regel mit geringeren Beschleunigungen aus oder kann bei gleichem vorgegebenem Soll-Durchfluss kleiner gebaut werden.
- [0028]** Vorzugsweise ist die Regelung eingerichtet zum Regeln der Antriebe, sodass ein konstanter Durchfluss in der Sammelleitung resultiert. Ein derartiger konstanter Durchfluss ist besonders gut zum Kalibrieren von Durchflussmessern geeignet.
- [0029]** Vorzugsweise umfasst die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung einen Prüfling, der in der Sammelleitung angeordnet ist. Günstig ist es zudem, wenn die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung eine Verbindungsvorrichtung zum Verbinden eines Prüflings mit der Sammelleitung aufweist, sodass der Durchfluss durch die Sammelleitung vollständig durch den Prüfling fließt.
- [0030]** Um eine besonders hohe Messgenauigkeit zu erreichen, weist die erste Positionsbestimmungsvorrichtung und/oder die zweite Positionsbestimmungsvorrichtung vorzugsweise ein Interferometer auf.
- [0031]** Um die Messgenauigkeit weiter zu steigern, ist es vorteilhaft, wenn die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung eine Temperatur-Konstanthaltvorrichtung zum Konstant-Halten einer Temperatur des Fluids und/oder der Komponenten der Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung aufweist.
- [0032]** In Fluid-Flussrichtung zwischen der ersten Pumpe und der Sammelleitung ist vorzugsweise eine Zwei-Wege-Rückstromsperre angeordnet. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Zwei-Wege-Rückstromsperre passiv ist, in diesem Fall handelt es sich beispielsweise um ein Rückschlagventil. Es ist auch möglich, dass die Zwei-Wege-Rückstromsperre aktiv betätigt ist. In diesem Fall ist sie vorzugsweise ausgebildet zum Schließen dann, und nur dann, wenn der Durchfluss durch die Zwei-Wege-Rückstromsperre null ist. Beispielsweise ist die Zwei-Wege-Rückstromsperre mit der Regelung verbunden, die die Zwei-Wege-Rückstromsperre dann schließt, wenn der zugeordnete Antrieb kein Fluid in die Sammelleitung fördert.
- [0033]** Vorzugsweise besitzt die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung eine Druckregelvorrichtung, mittels der der Fluiddruck in der Sammelleitung unabhängig vom Durchfluss durch die Sammelleitung eingestellt werden kann.

[0034] Erfindungsgemäß ist zudem ein Durchfluss-Erzeugungsnormal, das eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung und einen zugehörigen Kalibrierschein aufweist. In dem Kalibrierschein sind die rückgemessenen relevanten Abmaße der Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung angegeben, beispielsweise die Kolbenflächen der Kolben.

[0035] Erfindungsgemäß ist zudem ein Verfahren zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses eines Fluids, insbesondere einer Flüssigkeit, durch eine Sammelleitung, mit einer relativen Messunsicherheit von höchstens 10^{-3} , insbesondere $5 \cdot 10^{-4}$, bei dem eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung verwendet wird.

[0036] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0037] Fig. 1 eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform,

[0038] Fig. 2 eine zweite erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung mit drei Pumpen,

[0039] Fig. 3 eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung, bei denen die Pumpen doppelwirkenden Kolben aufweisen, und

[0040] Fig. 4 eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung mit einer Druck-Regelvorrichtung und bei der die Pumpen zwei Kolben pro Zylinder aufweisen.

[0041] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10** zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses \hat{V} durch eine Sammelleitung **12**, die eine erste Pumpe **14.1** und eine zweite Pumpe **14.2** aufweist.

[0042] Die erste Pumpe **14.1** besitzt einen ersten Zylinder **16.1**, in dem ein erster Kolben **18.1** läuft. Ein erster Antrieb **20.1**, im vorliegenden Fall ein Lineardirektantrieb, ist mit dem ersten Kolben **18.1** verbunden, sodass dieser in den Zylinder **16.1** einund ausfahrbar ist. Die Position des Kolbens **18.1** relativ zum Zylinder **16.1** ist mittels einer ersten Positionsbestimmungsvorrichtung **22.1** bestimmbar. Im vorliegenden Fall ist die Positionsbestimmungsvorrichtung **22** durch ein Interferometer gebildet.

[0043] Die Positionsbestimmungsvorrichtung **22** ist ausgebildet zum Bestimmen einer ersten Position x_1 des ersten Kolbens **18.1** relativ zum ersten Zylinder **16.1**. Die Position wird zu einer beliebig vorgebbaren Grundposition bestimmt. Die Positionsbestimmungsvorrichtung **22** könnte daher auch als Positionsänderungsbestimmungsvorrichtung bezeichnet werden, die eine Änderung der ersten Position misst.

[0044] Wird der erste Kolben **18.1** so bewegt, dass die Koordinate x_1 größer wird, so fährt der Kolben **18.1** in den Zylinder **16.1** ein und ein Fluid **23**, beispielsweise eine Flüssigkeit, vorzugsweise Wasser, wird durch eine erste Zwei-Wege-Rückstromsperre **24.1** in die Sammelleitung **12** abgegeben. Es entsteht so ein Fluidstrom \dot{V}_1 . Wird der Kolben **18.1** aus dem Zylinder **16.1** herausbewegt, so strömt Fluid **23** durch eine zuströmseitige Zwei-Wege-Rückstromsperre **26.1** und eine erste Einlassöffnung **28.1** in den Zylinder **16.1**.

[0045] Die erste Pumpe **14.1** ist mit einer Regelung **30** verbunden, die die Bewegung des Kolbens **18.1** regelt und gleichzeitig die Messergebnisse, die von der Positionsbestimmungsvorrichtung **22.1** aufgenommen wurden, erfasst. Die zweite Pumpe **14.2** ist baugleich mit der ersten Pumpe **14.1** und ebenfalls mit der Regelung **30** verbunden.

[0046] Die Regelung **30** regelt die erste Position $x_1(t)$ des Kolbens **18.1** relativ zum ersten Zylinder **16.1** in einer bevorzugten Ausführungsform gemäß der Funktion

$$x_1(t) = \begin{cases} (t - t_0) \cdot k_1 \cdot \hat{V} + x_{1,0} & t < t_1 \\ \frac{1}{2} \left[t + \frac{t_2 - t_1}{\pi} \sin \left(\pi \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \right] \cdot k_1 \cdot \hat{V} + x_{1,1} & t_1 \leq t \leq t_2 \end{cases}$$

[0047] Daraus ergeben sich die zeitabhängige Geschwindigkeit $v_1(t)$ und die Beschleunigung a_1 des Kolbens **18.1** $a_1(t)$ zurzeit t wie nachstehend angegeben. Die nachstehende Funktion ist ein Beispiel für die Umschaltung von Pumpe **14.1** auf Pumpe **14.2** gemäß **Fig. 1** für die Erzielung eines konstanten Volumenstroms, insbesondere auch während des Umschaltvorgangs. Der Beginn der Umschaltung ist bei t_1 , das Ende bei t_2 . Dabei darf der Zeitpunkt t_2 nicht nach dem Zeitpunkt des Erreichens des unteren Totpunkts von Pumpe **14.1** liegen. Nachfolgend wird Pumpe **14.1** wieder gefüllt, bevor Pumpe **14.2** den unteren Totpunkt erreicht. Die Umschaltung von Pumpe **14.2** auf Pumpe **14.1** erfolgt in Analogie, bevor Pumpe **14.2** den unteren Totpunkt erreicht.

[0048] Damit gilt für

$$t < t_1 \quad \hat{V} = \dot{V}_1(t); \quad \dot{V}_1(t) \sim v_1(t); \quad \dot{V}_2(t) = 0;$$

$$x_1(t) = (t - t_0) \cdot k_1 \cdot \hat{V} + x_{1,0};$$

$$v_1(t) = d/dt x_1(t) = k_1 \cdot \hat{V};$$

$$a_1(t) = d/dt v_1(t) = 0$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 : \quad \hat{V} = \dot{V}_1(t) + \dot{V}_2(t); \quad \dot{V}_1(t) \sim v_1(t); \quad \dot{V}_2(t) \sim v_2(t);$$

$$x_1(t) = \frac{1}{2} \left[t + \frac{t_2 - t_1}{\pi} \sin \left(\pi \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \right] \cdot k_1 \cdot \hat{V} + x_{1,1};$$

$$v_1(t) = d/dt x_1(t) = \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \cdot k_1 \cdot \hat{V};$$

$$a_1(t) = d/dt v_1(t) = -\frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \sin \left(\pi \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \cdot k_1 \cdot \hat{V};$$

$$x_2(t) = \frac{1}{2} \left[t - \frac{t_2 - t_1}{\pi} \sin \left(\pi \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \right] \cdot k_2 \cdot \hat{V} + x_{2,1};$$

$$v_2(t) = d/dt x_2(t) = \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \cdot k_2 \cdot \hat{V};$$

$$a_2(t) = d/dt v_2(t) = +\frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \sin \left(\pi \cdot \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \right) \cdot k_2 \cdot \hat{V};$$

$$t_2 < t \quad \hat{V} = \dot{V}_2(t); \quad \dot{V}_1(t) = 0; \quad \dot{V}_2(t) \sim v_2(t);$$

$$x_2(t) = (t - t_2) \cdot k_2 \cdot \hat{V} + x_{2,2};$$

$$v_2(t) = d/dt x_2(t) = k_2 \cdot \hat{V};$$

$$a_2(t) = d/dt v_2(t) = 0;$$

mit $k_1 \hat{=}$ Gerätekonstante 1; $k_2 \hat{=}$ Gerätekonstante 2

[0049] Es ist zu erkennen, dass die Funktion $v_1(t)$ stetig ist und im vorliegenden Fall sogar stetig differenzierbar ist, was eine bevorzugte Ausführungsform darstellt. Die Funktion $a_1(t)$ ist stetig. Der \hat{v} bezeichnet den Durchfluss durch die Sammelleitung **12**.

[0050] Es ist zu erkennen, dass der Durchfluss $\hat{v}(t)$ eine nicht konstante Funktion der Zeit t sein kann. Diese Funktion ist in einem digitalen Speicher **32** der Regelung **30** abgelegt. Die Regelung **30** erfasst die jeweilige Position x_1 und x_2 der beiden Pumpen **14.1**, **14.2** und steuert die jeweiligen Antriebe **20.1**, **20.2** so an, dass die Position x_1 , x_2 einer Soll-Position entsprechen. Daraus ergibt sich der Soll-Durchfluss $\hat{v}(t)$.

[0051] Fig. 1 zeigt schematisch, dass ein Prüfling **34**, der auch als MUT (Meter Unter Test) bezeichnet werden könnte, in der Sammelleitung **12** angeordnet ist. Optional kann die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10** ein Regelventil **36** aufweisen, mittels dem ein Druck p_{12} in der Sammelleitung **12** eingestellt werden kann. In einem optional vorhandenen Fluidreservoir **38** für das Fluid **23** kann hingegen ein Umgebungsdruck herrschen.

[0052] Die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10** kann eine Umhüllung **40** aufweisen, deren Inneres mittels einer Temperatur-Konstanthaltevorrichtung **42** auf einer vorgegebenen Temperatur T gehalten wird.

[0053] Fig. 2 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10**, die statt des Fluidreservoirs **38** eine dritte Pumpe **14.3** aufweist. Die Regelung **30** ist der Übersichtlichkeit halber nicht eingezeichnet. Die Pumpe **14.3** wird so angesteuert, dass sie die beiden Pumpen **14.1**, **14.2** durch die Sammelleitung **12** hindurch speist, womit sie selber zum Volumenstrom beiträgt.

[0054] Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10**, bei der die Kolben **18.1**, **18.2** doppelwirkend im jeweiligen Zylinder **16.1** bzw. **16.2** angeordnet sind. Eine dritte Zwei-Wege-Rückstromsperre **44.1** ist durch den Kolben **18.1** von der ersten Zwei-Wege-Rückstromsperre **24.1** getrennt und öffnet, wenn die Zwei-Wege-Rückstromsperre **26.1** öffnet. Sofern sich also der Kolben **18.1** bewegt, fließt Fluid **23** entweder durch die erste Zwei-Wege-Rückstromsperre **24.1** oder durch die dritte Zwei-Wege-Rückstromsperre **44.1**. Zudem öffnet stets entweder die Zwei-Wege-Rückstromsperre **26.1** oder eine zweite Zwei-Wege-Rückstromsperre **46.1**.

[0055] Die Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10** weist zudem eine Druckregelung **47** auf, die mit der Sammelleitung **12** in Fluidverbindung steht und einen Kolben **48** besitzt, der in einem Zylinder läuft und von einem Druckregelantrieb **50** so bewegbar ist, dass der Druck p_{12} in der Sammelleitung **12** einstellbar ist.

[0056] Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung **10**, bei der jede Pumpe **14.1**, **14.2** einen jeweiligen Antrieb **20.1**, **20.2** in Form eines Drehantriebs aufweist. Die Pumpe **14.1** besitzt zudem einen ersten Kolben **18.1a** und einen zweiten Kolben **18.1b**, die beide über ein Getriebe **52.1** von einer Kolbenstange **54.1** bewegt werden können, indem die Kolbenstange **54.1** gedreht wird. Die Positionsbestimmungsvorrichtung **22.1** bestimmt in diesem Fall eine Drehposition der Kolbenstange **54.1**. Wird die Kolbenstange **54.1** beispielsweise im Uhrzeigersinn gedreht, so bewegen sich die Kolben **18.1a**, **18.1b** auseinander und Fluid **23** gelangt durch entsprechende Zwei-Wege-Rückstromsperrern **56.1a** und **56.1b** in die Sammelleitung **12**. Gleichzeitig strömt Fluid durch die Zwei-Wege-Rückstromsperre **58.1c** in den Bereich zwischen den beiden Kolben **18.1a**, **18.1b**.

[0057] Wird die Kolbenstange **54.1** in entgegengesetzte Richtung gedreht, strömt das Fluid durch die Zwei-Wege-Rückstromsperre **56.1c** aus und durch die Zwei-Wege-Rückstromsperrern **58.1a**, **58.1b** in den Zylinder **16.1** ein.

Bezugszeichenliste

- 10** Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung
- 12** Sammelleitung
- 14** Pumpe
- 16** Zylinder
- 18** Kolben
- 20** Antrieb
- 22** Positionsbestimmungsvorrichtung
- 23** Fluid
- 24** Zwei-Wege-Rückstromsperre
- 26** Zwei-Wege-Rückstromsperre

28 Einlassöffnung
 30 Regelung
 32 digitaler Speicher
 34 Prüfling
 36 Regelventil
 38 Fluidreservoir
 40 Umhüllung
 42 Temperatur-Konstanthaltevorrichtung
 44 Zwei-Wege-Rückstromsperre
 46 Zwei-Wege-Rückstromsperre
 47 Druckregelung
 48 Kolben
 50 Druckregelantrieb
 52 Getriebe
 54 Kolbenstange
 56 Zwei-Wege-Rückstromsperre
 58 Zwei-Wege-Rückstromsperre
 \dot{V} Durchfluss
 $\hat{V}(t)$ Durchfluss durch Sammelleitung
 x Position
 v Geschwindigkeit
 a Beschleunigung
 t Zeit
 p Druck
 T Temperatur

[0058] k Gerätekonstante

Patentansprüche

1. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses (\hat{V}) eines Fluids (23) mit
 - (a) einer Sammelleitung (12) und
 - (b) einer ersten Pumpe (14.1), die
 - einen ersten Zylinder (16.1),
 - einen ersten Kolben (18.1), der im ersten Zylinder (16.1) läuft,
 - einen ersten Antrieb (20.1), mittels dem der erste Kolben (18.1) relativ zum ersten Zylinder (16.1) bewegbar ist, und
 - eine erste Positionsbestimmungsvorrichtung (22.1) zum Bestimmen einer ersten Position des ersten Kolbens (18.1) relativ zum ersten Zylinder (16.1) aufweist und
 - mit der Sammelleitung (12) zum Abgeben von Fluid (23) in die Sammelleitung (12) verbunden ist, und
 - (c) einer zweiten Pumpe (14.2), die
 - einen zweiten Zylinder (16.2),
 - einen zweiten Kolben (18.2), der im zweiten Zylinder (16.2) läuft,
 - einen zweiten Antrieb (20.2), mittels dem der zweite Kolben (18.2) relativ zum zweiten Zylinder (16.2) bewegbar ist, und
 - eine zweite Positionsbestimmungsvorrichtung (22.2) zum Bestimmen einer zweiten Position des zweiten Kolbens (18.2) relativ zum zweiten Zylinder (16.2) aufweist und
 - mit der Sammelleitung (12) zum Abgeben von Fluid (23) in die Sammelleitung (12) verbunden ist, gekennzeichnet durch
 - (d) eine Regelung (30), die eingerichtet ist zum automatischen Regeln der Antriebe (20.1, 20.2), sodass die Pumpen (14.1, 14.2) gemeinsam einen vorgegebenen Volumenstrom an Fluid (23) in die Sammelleitung (12) abgeben und
 - (e) eine relative Messunsicherheit der Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung von höchstens 10^{-3} .

2. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung (30) eingerichtet ist zum automatischen
 - (i) Regeln der ersten Position (x_1) des ersten Kolbens (18.1) auf eine erste zeitabhängige Soll-Position, wobei die erste zeitabhängige Soll-Position einer ersten Funktion ($x_1(t)$) entspricht, deren zweite Ableitung ($a_1(t)$) nach der Zeit (t) stetig ist, und

(ii) Regeln der zweiten Position (x_2) des zweiten Kolbens (**18.2**) auf eine zweite Soll-Position, wobei die zweite Soll-Position einer zweiten Funktion ($x_2(t)$) entspricht, deren zweite Ableitung ($a_2(t)$) nach der Zeit (t) stetig ist.

3. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die dritte Ableitung der ersten Funktion nach der Zeit (t) stetig ist und/oder
- die dritte Ableitung der zweiten Funktion nach der Zeit (t) stetig ist.

4. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung (**30**) einen digitalen Speicher (**32**) aufweist, in dem die erste Funktion ($x_1(t)$) und die zweite Funktion ($x_2(t)$) gespeichert sind.

5. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- der erste Antrieb (**20.1**) ein Linearantrieb, insbesondere ein Lineardirektantrieb, ist und/oder
- der zweite Antrieb (**20.2**) ein Linearantrieb, insbesondere ein Lineardirektantrieb, ist.

6. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Pumpe (**14.1**) und/oder die zweite Pumpe (**14.2**) doppelwirkend ausgebildet sind.

7. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest einen Prüfling (**34**), der in der Sammelleitung (**12**) angeordnet ist.

8. Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- in Fluidflussrichtung zwischen der ersten Pumpe (**14.1**) und der Sammelleitung (**12**) eine Zwei-Wege-Rückstromsperre (**24.1**) angeordnet ist und/oder
- in Fluidflussrichtung zwischen der zweiten Pumpe (**14.2**) und der Sammelleitung (**12**) eine Zwei-Wege-Rückstromsperre (**24.2**) angeordnet ist.

9. Durchfluss-Erzeugungsnorm mit einer Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche und einem zugehörigen Kalibrierschein.

10. Verfahren zum Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses (\hat{v}) eines Fluids (**23**) mit einer relativen Messunsicherheit von höchstens 10^{-3} , bei dem eine Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 verwendet wird.

11. Verfahren zum Kalibrieren eines Prüflings (**34**), mit den Schritten:

- (a) Anordnen eines Prüflings (**34**) in der Sammelleitung (**12**) einer Durchfluss-Erzeugungsvorrichtung (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
- (b) Erzeugen eines vorgegebenen Durchflusses (\dot{V}) eines Fluids (**23**), insbesondere einer Flüssigkeit, durch die Sammelleitung (**12**),
- (c) Erfassen eines Mess-Durchflusses (\dot{V}) mittels des Prüflings (**34**) und
- (d) Erfassen einer Abweichung zwischen dem Durchfluss und dem Mess-Durchfluss.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

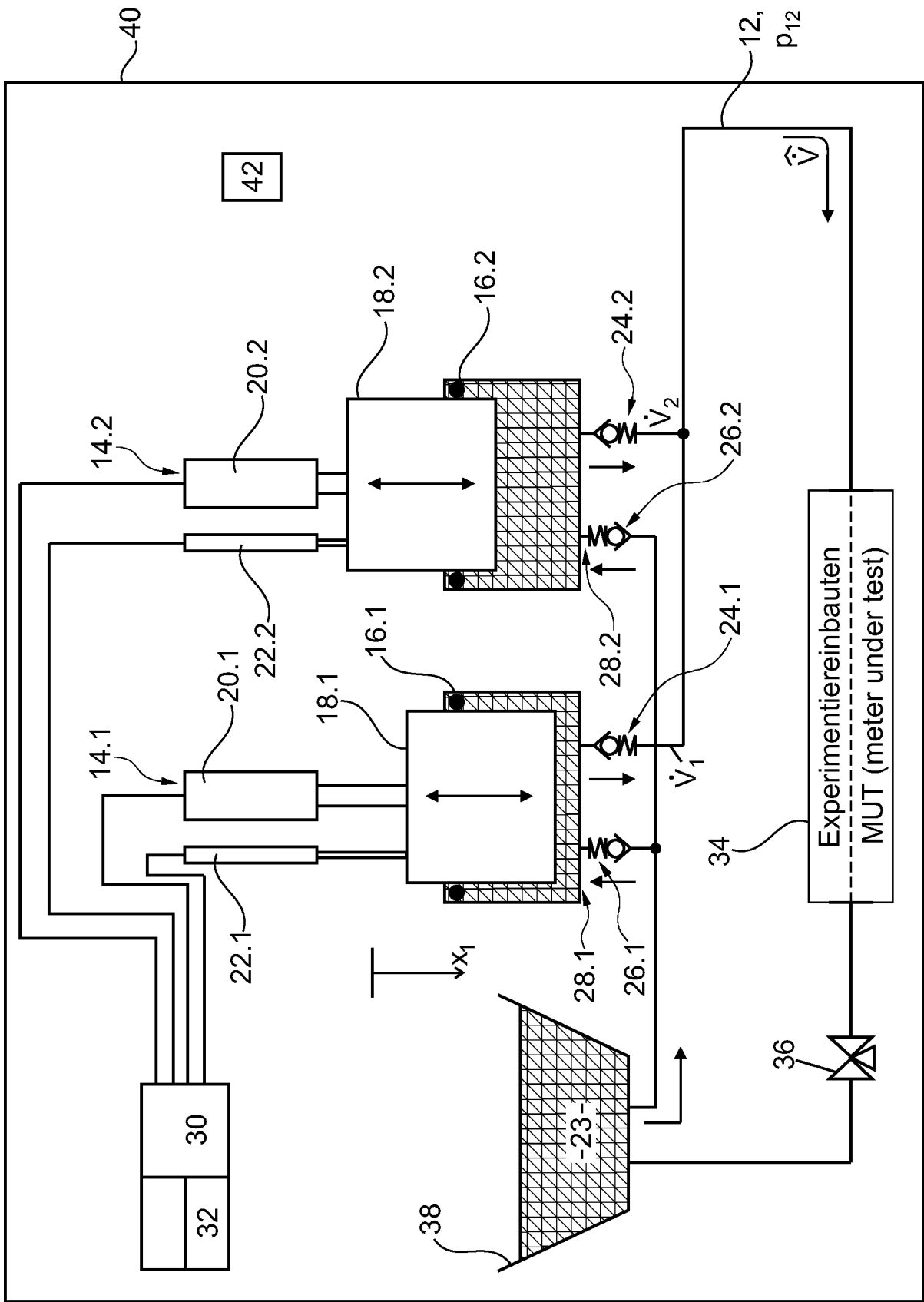


Fig. 1

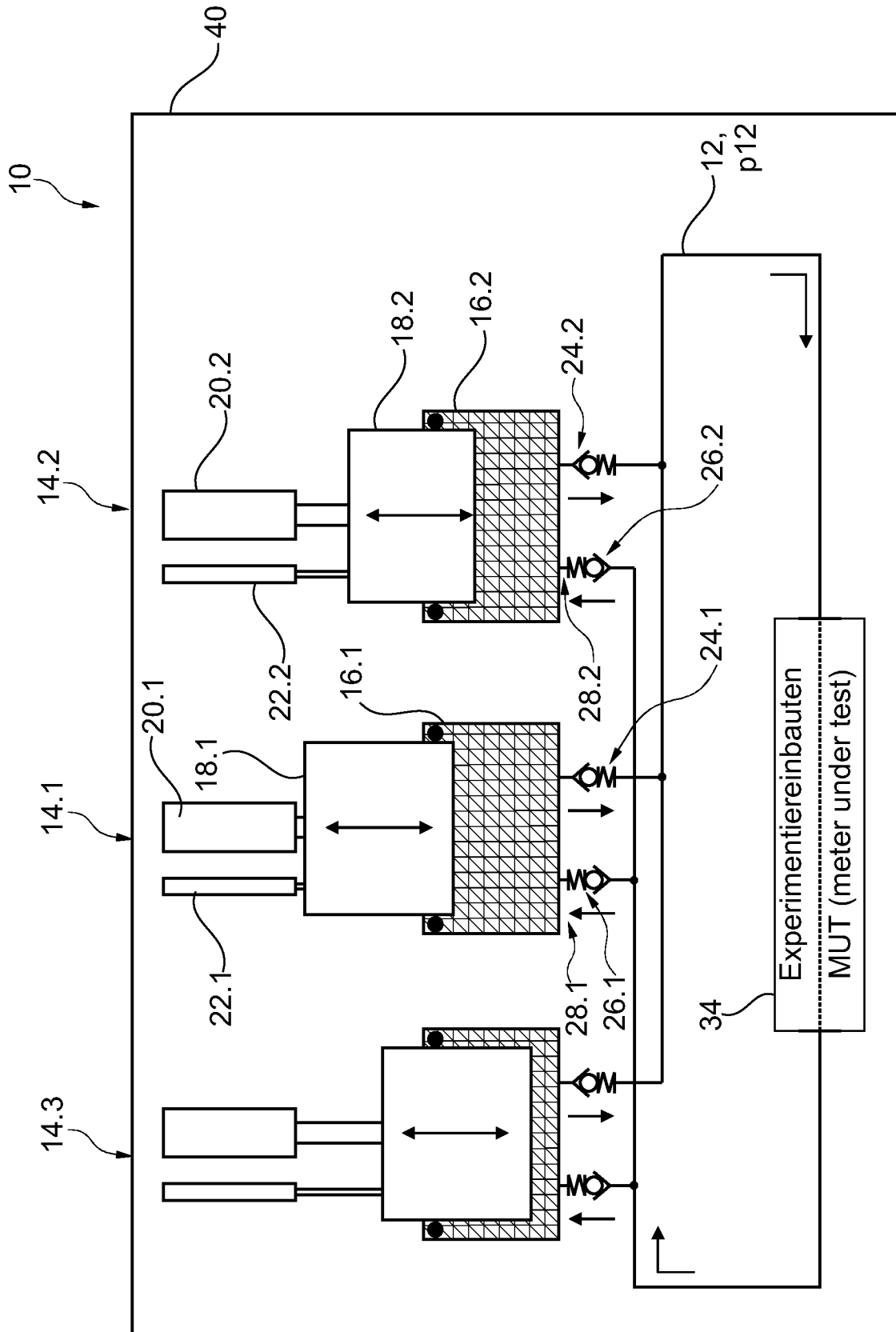


Fig. 2

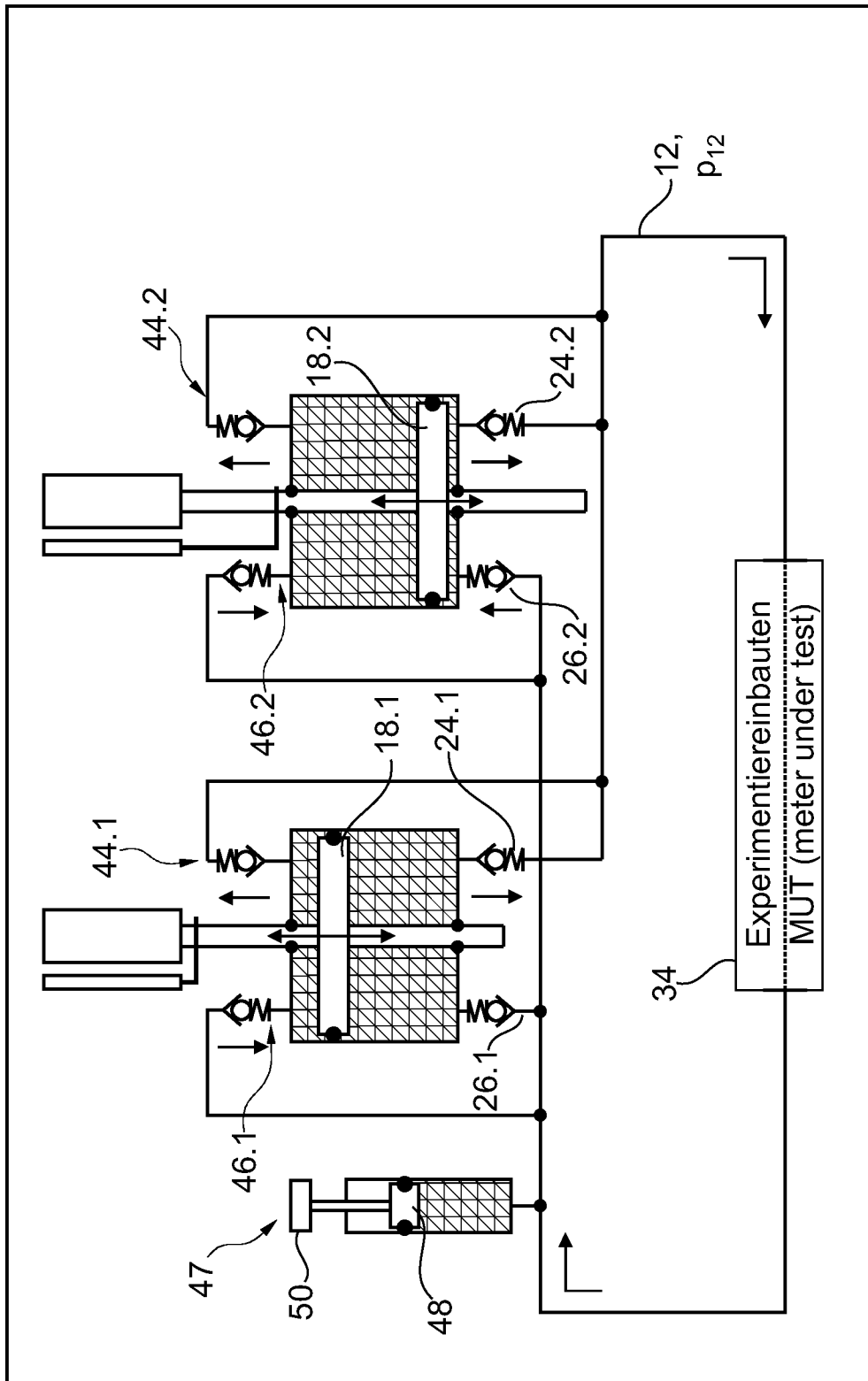


Fig. 3

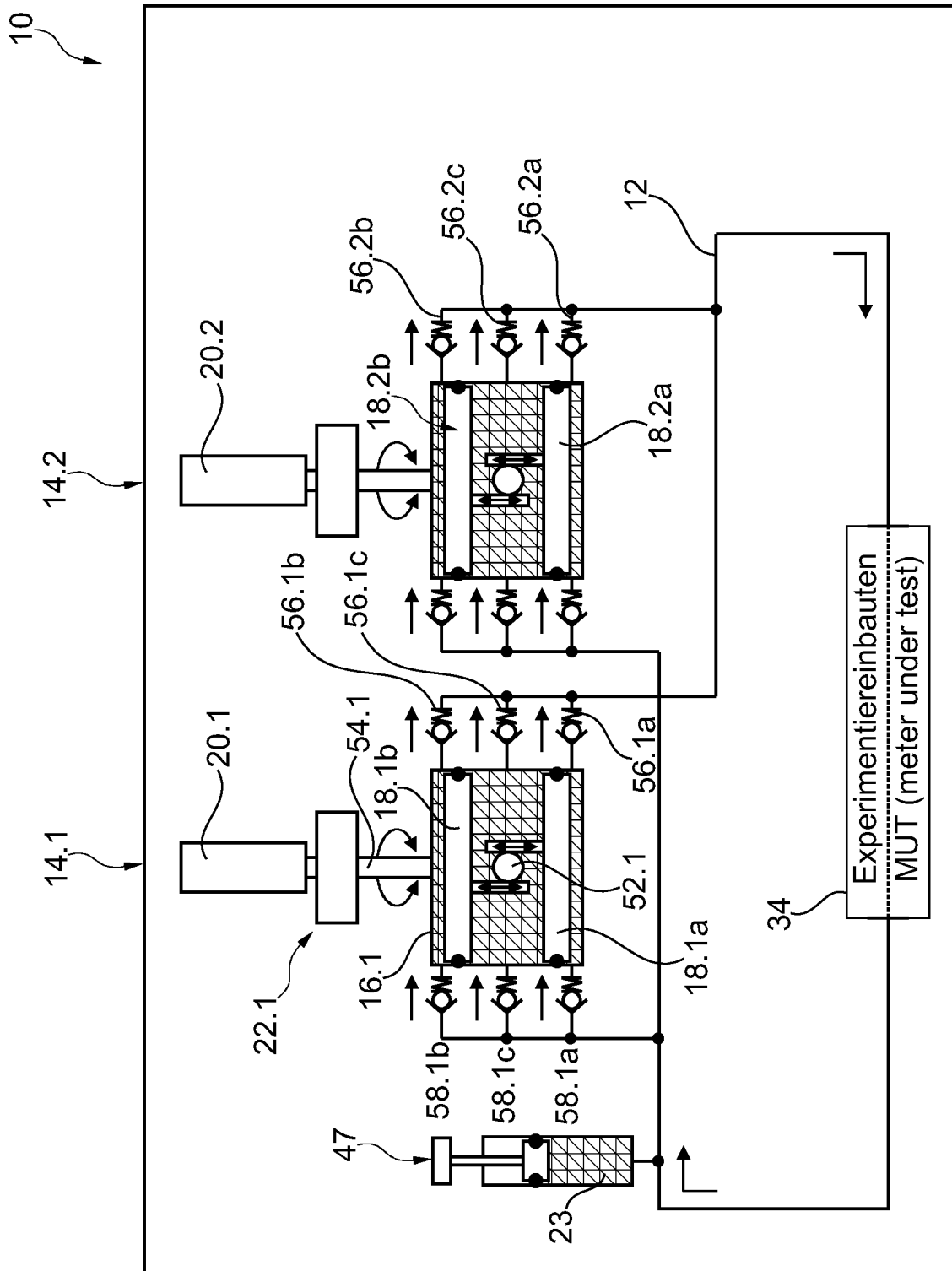


Fig. 4