

(19)



(11)

EP 3 672 903 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
23.11.2022 Patentblatt 2022/47

(21) Anmeldenummer: **18759594.7**

(22) Anmeldetag: **20.08.2018**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B67C 3/28 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B67C 3/286; B67C 3/287

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2018/072416

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/038224 (28.02.2019 Gazette 2019/09)

(54) **VERFAHREN ZUM BEFÜLLEN VON BEHÄLTERN MIT EINEM FÜLLPRODUKT**

METHOD FOR FILLING CONTAINERS WITH PRODUCTS

PROCÉDÉ POUR REMPLIR DES RÉCIPIENTS AVEC DES PRODUITS

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **21.08.2017 DE 102017119069**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.07.2020 Patentblatt 2020/27

(73) Patentinhaber: **KRONES AG**
93073 Neutraubling (DE)

(72) Erfinder:
• **ANGERER, Florian**
93073 Neutraubling (DE)
• **RUPP, Cornelia**
93073 Neutraubling (DE)

• **BECHER, Valentin**
93073 Neutraubling (DE)
• **DOBLINGER, Josef**
93073 Neutraubling (DE)
• **BOCK, Tobias**
93073 Neutraubling (DE)

(74) Vertreter: **Nordmeyer, Philipp Werner**
df-mp Dörries Frank-Molnia & Pohlman
Patentanwälte Rechtsanwälte PartG mbB
Theatinerstraße 16
80333 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 127 835 EP-A1- 2 695 846
WO-A1-97/00224

EP 3 672 903 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

BeschreibungTechnisches Gebiet

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befüllen von Behältern mit einem Füllprodukt in einer Füllproduktabfüllanlage.

Technischer Hintergrund

- 10 **[0002]** In Füllproduktabfüllanlagen ist es bekannt, zu befüllende Behälter mit einem Füllprodukt zu befüllen, wobei das eigentliche Einleiten des Füllprodukts in den jeweiligen zu befüllenden Behälter mittels eines sogenannten Füllventils durchgeführt wird. Das Füllventil stellt eine Verbindung zwischen dem Füllproduktreservoir, in dem das abzufüllende Füllprodukt vor der eigentlichen Abfüllung vorgesehen ist, und dem zu befüllenden Behälter bereit. Mittels des Füllventils wird der Füllvorgang initiiert und das Füllprodukt in den zu befüllenden Behälter geleitet und nach Erreichen einer
- 15 bestimmten Vorgabe, beispielsweise nach Erreichen eines vorgegebenen Füllgewichts, einer vorgegebenen Füllhöhe beziehungsweise eines vorgegebenen Füllvolumens, der Füllvorgang wieder beendet. Zur Ermittlung des jeweiligen Füllendes und damit zur Ermittlung des jeweiligen Zustandes oder Zeitpunkts, zu welchem das Füllventil wieder geschlossen wird, sind unterschiedliche Sensoren bekannt, mittels welchen beispielsweise die Füllhöhe, das Füllgewicht oder das Füllvolumen des Füllprodukts in dem zu befüllenden Behälter ermittelt wird.
- 20 **[0003]** Es sind Füllventile bekannt, mittels welchen lediglich ein Öffnen und ein Schließen der jeweiligen Verbindung zwischen dem Füllproduktreservoir und dem zu befüllenden Behälter erreicht wird. Diesen einfach schaltenden Füllventilen wird häufig eine Drosselvorrichtung vorgeschaltet, mittels welcher eine Modulation des Füllproduktstroms in den zu befüllenden Behälter erreicht werden kann.
- 25 **[0004]** Weiterhin bekannt sind Füllventile, welche auch als Proportionalventile bezeichnet werden, bei welchen der jeweilige Füllventilkegel gegenüber seinem Füllventilsitz in Stufen oder stufenlos angehoben beziehungsweise abgesenkt werden kann, wodurch entsprechend der sich zwischen dem Füllventilkegel und dem Füllventilsitz ausbildende Spalt beziehungsweise Ringspalt in seinem Querschnitt variiert werden kann. Entsprechend kann bei einem solchen Proportionalventil eine Variation des wirksamen Querschnitts und damit auch eine Variation des das Proportionalventil durchfließenden Füllproduktstroms erreicht werden. Damit ist es mit dem Proportionalventil möglich, einen vorgegebenen
- 30 Volumenstromverlauf für die Befüllung des jeweils zu befüllenden Behälters vorzugeben beziehungsweise zu steuern. Damit ist es beispielsweise möglich, zu Beginn des Füllvorgangs zunächst einen reduzierten Füllproduktstrom in den zu befüllenden Behälter einzuleiten, um auf diese Weise eine Aufschäumneigung zu reduzieren. In dem Bereich der Hauptfüllung des zu befüllenden Behälters wird hingegen ein möglichst hoher Volumenstrom eingestellt, um ein schnelles Befüllen des zu befüllenden Behälters zu erreichen. Zum Ende des Füllvorgangs hin wird der Volumenstrom dann wieder
- 35 reduziert, um ein zuverlässiges Erreichen des jeweils vorgegebenen Füllendes zu ermöglichen und ein Überlaufen beziehungsweise Ausspritzen des Füllprodukts aus dem zu befüllenden Behälter zu vermeiden.
- [0005]** Proportionalventile sind häufig in einer Regelschleife gekoppelt mit einem diesem Proportionalventil zugeordneten Durchflussmesser. Auf diese Weise ist es möglich, mittels der Kombination aus Durchflussmesser und Proportionalventil von einer übergeordneten Anlagensteuerung aus einen Volumenstrom vorzugeben, welcher dann über die
- 40 Regelschleife gehalten wird. Sowohl der Durchflussmesser als auch die entsprechende Auswertungsvorrichtung und die Ansteuerung des Proportionalventils bringen jedoch eine gewisse Trägheit und Zeitverzögerung mit sich, so dass ein unmittelbares Reagieren auf Änderungen der Ausgangsbedingungen und insbesondere auf Änderungen der Zufuhr des Füllprodukts zu dem Proportionalventil erst mit einer gewissen Zeitverzögerung ausgeregelt werden können. Weiterhin sind Durchflussmesser häufig von den Eigenschaften des jeweiligen Füllprodukts abhängig.
- 45 **[0006]** Bei einem Aufbau einer Füllvorrichtung in einer Füllproduktabfüllvorrichtung derart, dass jedes Füllventil direkt mit dem Füllproduktreservoir verbunden ist, beispielsweise bei einem Aufbau, in welchem die um den Umfang eines Füllerkarussells herum angeordneten Füllventile jeweils individuell mit dem Füllproduktreservoir, beispielsweise in Form eines Zentralkessels oder eines Ringkessels, verbunden sind, wirkt das Füllproduktreservoir als Puffer, derart, dass jedes Füllventil und insbesondere jedes Proportionalventil unabhängig von den anderen Füllventilen beziehungsweise
- 50 Proportionalventil betrieben wird. Mit anderen Worten ändern sich die Ausgangsbedingungen für das jeweilige Füllventil nicht, wenn ein benachbartes Füllventil geöffnet oder geschlossen wird, da das Füllproduktreservoir als großvolumiger Puffer dient.
- [0007]** Bei einem alternativen Anlagenaufbau hingegen, bei welchem mindestens zwei der Füllventile oder einer Vielzahl von Füllventilen beziehungsweise sämtlichen Füllventile über eine einzige gemeinsame Füllproduktzuleitung mit dem Füllproduktreservoir verbunden sind, findet eine Beeinflussung der Ausgangsbedingungen für jedes individuelle Füllventil aufgrund der Eigenschaften der Leitung statt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn das Füllproduktreservoir, in welchem das abzufüllende Füllprodukt bereitgestellt wird, als beigestellter Kessel ausgebildet ist und das Füllprodukt über eine einzige Füllproduktzuleitung, welche über einen Drehverteiler auf das jeweilige Füllerkarussell geleitet wird,
- 55

mit sämtlichen Füllventilen des Füllerkarussells angebunden ist.

[0008] Insbesondere nimmt in dieser Ausbildung der in der Füllproduktzuleitung bereitgestellte Druck ab wenn zu Beginn des Füllbetriebs ausgehend von einem Zustand, in welchem alle Füllventile geschlossen sind, ein Füllventil nach dem anderen geöffnet werden. Die Füllproduktzuleitung kann dann nicht als quasi unbegrenzter Puffer wirken, sondern

der die Füllproduktzuleitung durchfließende Volumenstrom ist in der vierten Potenz vom Leitungsradius abhängig.
[0009] Die Füllventile beeinflussen sich entsprechend - zumindest bis sich ein eingeschwungener Gleichgewichtszustand eingestellt hat - gegenseitig. Dies kann dazu führen, dass selbst bei einem über einen Durchflussmesser geregelten Füllventil der eigentlich geforderte Durchfluss aufgrund der Trägheit der Regelschleife zumindest zu Beginn des jeweiligen Füllbetriebs nicht erreicht wird. Dieses Verhalten der Füllventile wird auch zum Ende des Füllbetriebs hin beobachtet, wenn nach und nach alle Füllventile geschlossen werden bevor die Produktion beendet wird. Auch hier kommt es dazu, dass selbst bei einem über einen Durchflussmesser geregelten Füllventil der eigentlich geforderte Durchfluss aufgrund der Trägheit der Regelschleife zum Ende des jeweiligen Füllbetriebs nicht erreicht wird.

[0010] Die EP 2 695 846 A1 beschreibt ein Verfahren zur Berechnung der Füllmenge in einer Rundläufervorrichtung und weiterhin ein Verfahren zum Befüllen eines Behälters mit einem Füllprodukt in einer mehrere Füllventile aufweisenden Füllproduktabfüllanlage mittels Differenzdruckermittlung, Volumenstromberechnung und zeitlicher Ventilsteuerung basierend auf dem ermittelten Differenzdruck.

[0011] Die WO 97/00224 A1 beschreibt ein Verfahren zum Befüllen von Behältern mit einer unter Druck stehenden Flüssigkeit. Die EP 1 127 835 A1 beschreibt ein System sowie Verfahren zum Füllen von Behältern mit einem flüssigen Füllgut.

Darstellung der Erfindung

[0012] Ausgehend von dem bekannten Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Befüllen von Behältern mit einem Füllprodukt in einer Füllproduktabfüllanlage anzugeben, welches ein weiter verbessertes Füllverhalten zeigt.

[0013] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Befüllen von Behältern mit einem Füllprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der vorliegenden Beschreibung sowie den Figuren.

[0014] Entsprechend wird ein Verfahren zum Befüllen eines Behälters mit einem Füllprodukt in einer ein Regelventil aufweisenden Füllproduktabfüllanlage mit den folgenden Schritten vorgeschlagen: Ermitteln eines über dem Regelventil abfallenden Differenzdrucks Δp_v und Regeln und/oder Steuern des Regelventils in Abhängigkeit von dem ermittelten Differenzdruck Δp_v .

[0015] Dadurch, dass die Steuerung und/oder Regelung des Regelventils auf Grundlage des Differenzdrucks Δp_v durchgeführt wird, kann eine sehr zuverlässige Regelung erreicht werden, die schnell anspricht, von den Eigenschaften des Füllprodukts entkoppelt ist und die Trägheit eines Durchflusssensors nicht mehr aufweist. Damit kann in einer Füllproduktabfüllanlage ein zuverlässiges und schnelles Steuerungs- und/oder Regelungsverhalten erreicht werden.

[0016] Bevorzugt wird eine Funktion des Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$ für das Regelventil in Abhängigkeit von dem über dem Regelventil abfallenden Differenzdruck Δp_v ermittelt, der Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ durch das Regelventil auf Basis des ermittelten Differenzdrucks Δp_v berechnet und das Regelventil in Abhängigkeit von dem berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ geregelt und/oder gesteuert, t ist dabei die Zeit.

[0017] Damit können noch weitere Komponenten des Regelverhaltens mit einbezogen werden und insbesondere das Einschwingverhalten des Regelventils berücksichtigt werden.

[0018] Erfindungsgemäß sind in der Füllproduktabfüllanlage mindestens zwei parallel zueinander geschaltete Füllventile vorgesehen, und es wird eine Funktion des Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$ für mindestens zwei der parallel geschalteten Füllventile in Abhängigkeit von einem Differenzdruck Δp_v über die parallel geschalteten Füllventile bestimmt, der Differenzdrucks Δp_v über die parallel geschalteten Füllventile bestimmt, der Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$ durch mindestens eines der parallel geschalteten Füllventile auf Basis des ermittelten Differenzdrucks Δp_v berechnet und das mindestens eine Füllventil in Abhängigkeit von dem berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ gesteuert und/oder geregelt. Das Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils umfasst entsprechend eine Kompensation der Öffnungsstellung des Füllventils bei sich änderndem Differenzdruck Δp_v anhand des berechneten aktuellen Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$.

[0019] Dadurch, dass eine Funktion des Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$ in Abhängigkeit von einem Differenzdruck Δp_v über die parallel zueinander geschalteten Füllventile ermittelt wird und das mindestens eine Füllventil in Abhängigkeit von dem berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ geregelt wird, kann erreicht werden, dass das Regelverhalten beim Befüllen der jeweiligen Behälter verbessert wird. Insbesondere kann aufgrund der geringeren Trägheit der Differenzdruckmessung schneller auf eine Veränderung des Differenzdrucks innerhalb der Vorrichtung reagiert werden, welcher üblicherweise daher rührt, dass weitere, parallel geschaltete Füllventile zubeziehungsweise abgeschaltet werden.

[0020] Mit anderen Worten kann auf Grundlage des Verfahrens auch bei einer Ausbildung einer Vorrichtung mit mehreren parallel zueinander geschalteten Füllventilen, welche während des gesamten Füllvorganges nacheinander

zu- beziehungsweise abgeschaltet werden, erreicht werden, dass dennoch ein zuverlässiges und gleichmäßiges Füllergebnis in den jeweils zu befüllenden Behältern erreicht wird.

[0021] Beispielsweise wird in einer Anfahrphase, in welcher das Füllverfahren beginnt und entsprechend zunächst das erste Füllventil geöffnet wird, wobei sämtliche anderen Füllventile noch geschlossen sind, ein höherer Differenzdruck resultieren, so dass zunächst prinzipiell aufgrund dieses Differenzdrucks ein höherer Volumenstrom durch das beziehungsweise die wenigen geöffneten Füllventile zu erwarten ist. Um nun den gewünschten Volumenstrom in den zu befüllenden Behälter zu erreichen, wird das entsprechende Füllventil gemäß dem berechneten Volumenstrom im Vergleich zu dem gewünschten Volumenstrom so geregelt oder angesteuert, dass es weniger weit geöffnet ist. Damit kann in Abhängigkeit des berechneten Volumenstroms auf Basis des ermittelten Differenzdrucks entsprechend das Einfließen des Füllprodukts mit dem gewünschten Volumenstrom erreicht werden.

[0022] Sobald dann das zweite Füllventil öffnet, um einen auf dem Füllerkarussell nachfolgenden Behälter mit dem Füllprodukt zu befüllen, sinkt entsprechend der über den Füllventilen abfallende Differenzdruck etwas ab, so dass der Volumenstrom durch das erste Füllventil und dann auch durch das zweite Füllventil leicht abnimmt. Über die Ermittlung des Differenzdrucks kann erreicht werden, dass der entsprechende Volumenstrom an dem ersten Füllventil korrekt vorhergesagt wird und das erste Füllventil entsprechend zusammen mit dem Absinken des Differenzdrucks ein Stück weiter geöffnet wird, um den gewünschten Volumenstrom weiterhin aufrecht zu erhalten. Die Regelung anhand des Differenzdrucks reagiert dabei deutlich schneller, als es beispielsweise eine Regelung mittels eines Durchflussmessers könnte. Eine Zeitverzögerung bei der Regelung des Füllventils ist damit kleiner und damit das erreichte Ergebnis, nämlich das Aufrechterhalten des vorgegebenen Volumenstroms, durch das Regeln und/oder Steuern anhand des berechneten Volumenstroms genauer.

[0023] Entsprechend kann durch die ermittelte Funktion des Volumenstroms, welche von dem Differenzdruck über die parallel zueinander geschalteten Füllventile abhängt, der Volumenstrom durch das Füllventil berechnet werden und bei entsprechend variierendem Differenzdruck über die parallel zueinander geschalteten Füllventile der jeweilige Öffnungshub der Füllventile angepasst werden, um entsprechend den gewünschten beziehungsweise vorgegebenen Volumenstrom in die jeweiligen zu befüllenden Behälter unabhängig von der Anzahl und dem Öffnungsgrad der weiteren parallel geschalteten Füllventile aufrecht zu erhalten.

[0024] Sobald der Vollbetrieb erreicht ist und sich ein eingeschwungenes Gleichgewicht der gleichzeitig geöffneten Füllventile eingestellt hat, ist eine Variation des Differenzdrucks, der sich aus dem Öffnen und Schließen der jeweiligen Füllventile ergibt, aufgrund der Vielzahl der gleichzeitig geöffneten Ventile kaum noch detektierbar. Entsprechend findet im Vollbetrieb ein Nachregeln der jeweiligen Füllventile auf Grundlage des ermittelten Differenzdrucks und dem darüber berechneten Volumenstrom nur noch in sehr geringem Umfang statt.

[0025] Es ist daher bevorzugt, die entsprechende Regelung und/oder Steuerung des Füllventils in Abhängigkeit vom berechneten Volumenstrom im Vollbetrieb entweder auszusetzen, oder die Regelung und/oder Steuerung nur dann vorzunehmen, wenn der resultierende Hub des Füllventils eine bestimmte festzusetzende Schwelle überschreitet. Mit anderen Worten kann auf diese Weise verhindert werden, dass ein hochfrequentes Steuern beziehungsweise Regeln der parallel zueinander angeordneten Füllventile im Vollbetrieb stattfindet. Vielmehr werden nur längerfristige Veränderungen im Druckverhalten, welche beispielsweise einen Trend erkennen lassen, übernommen und ausgeregelt. Ein solcher Trend kann beispielsweise dann vorliegen, wenn das Füllproduktreservoir, aus welchem die Zufuhr an Füllprodukt zu den parallel zueinander geschalteten Füllventilen vorgenommen wird, ein geändertes Niveau beziehungsweise geänderte Druckverhältnisse aufweist. Entsprechend kann mittels des vorgeschlagenen Verfahrens auch eine Kompensation in einem Fall erreicht werden, in welchem der über den Füllventilen anstehende Gesamtdruck aufgrund der Zufuhr des Füllprodukts verändert wird.

[0026] Besonders bevorzugt ist ein von dem Füllverfahren für das jeweilige Füllprodukt und den jeweils zu befüllenden Behälter vorgegebenes Volumenstromprofil vorgegeben. Die Füllventile werden, beispielsweise über ihre jeweiligen individuellen Durchflussmesser geregelt, auf das vorgegebene Volumenstromprofil hin angesteuert. Entsprechend wird das jeweilige Füllventil auf einen vorgegebenen Öffnungswert hin eingestellt, von welchem angenommen wird, dass er dem entsprechenden von dem Volumenstromprofil vorgegebenen Volumenstrom entspricht, und dann über den jeweiligen Durchflussmesser genau auf diesen Wert hin geregelt.

[0027] Dieser Ansteuerung des Füllventils mittels des vorgegebenen Volumenstromprofils wird überlagert durch die Regelung und/oder Steuerung mittels des vorgeschlagenen Verfahrens, welches eine Kompensation des Füllproduktstroms in den zu befüllenden Behälter aufgrund des ermittelten Differenzdrucks ermöglicht.

[0028] Mit anderen Worten kann über die Messung oder Bestimmung des Differenzdrucks, welche wesentlich schneller ist, als die Messung des Durchflusses, das entsprechende Füllventil auf die entsprechende Position gesteuert werden, welche sich aus dem Volumenstromprofil unter Kompensation durch den berechneten Volumenstrom auf Grundlage des ermittelten Differenzdruckes ergibt. Die Kompensation auf Grundlage des Differenzdrucks kann aufgrund der schnell reagierenden Drucksensoren beispielsweise in einem Zeitbereich von einer Millisekunde erfolgen. Eine Regelung über eine Veränderung des Durchflusses mittels des Durchflussmessers würde hingegen eine Regelungszeit von etwa 50 Millisekunden erfordern. Entsprechend kann aufgrund der auf das vorgesehene Volumenstromprofil aufmodulierten Kom-

pensation ein genaueres Füllverhalten erreicht werden, so dass Fehlfüllungen besser vermieden werden können.

[0029] Insbesondere kann gleich zu Beginn des Füllprozesses mit einem korrekten Füllproduktvolumenstrom gefüllt werden. Mit jedem weiteren Füllventil, welches geöffnet wird, sinkt der Differenzdruck über die parallel zueinander geschalteten Füllventile, da sich der Gesamtquerschnitt der geöffneten Füllventile vergrößert und damit der oberhalb der Füllventile anstehende Druck reduziert wird. Damit reduziert sich auch der Volumenstrom durch die einzelnen Füllventile derart, dass die Füllventile weiter geöffnet werden müssen, um den gemäß dem Volumenstromprofil gewünschten Füllproduktvolumenstrom aufrecht zu erhalten.

[0030] Gleiches gilt zum Ende des Füllprozesses hin, wenn die letzten zu befüllenden Behälter durch die Anlage hindurchfahren und entsprechend ein Füllventil nach dem anderen in die geschlossene Stellung gefahren wird und in dieser verbleibt. Hier ist es so, dass der Differenzdruck mit jedem sich schließenden Füllventil ansteigt und entsprechend der Volumenstrom, welcher durch die letzten Füllventile strömt, ein größerer wäre, wenn nicht entsprechend gegengesteuert werden würde und die Füllventile auf Grundlage des berechneten Volumenstroms immer weiter geschlossen werden würden.

[0031] Damit ergibt sich, dass sowohl die ersten befüllten Behälter als auch die letzten befüllten Behälter in den Füllverfahren immer noch korrekt befüllt werden und entsprechend die Gefahr von Fehlfüllungen weiter reduziert ist.

[0032] Eine genaue Kompensation des jeweiligen Differenzdruckes funktioniert bei dem beschriebenen Anlagenaufbau mit einer Vielzahl von parallel zueinander geschalteten Füllventilen auch deshalb besonders gut, da die Füllventile in Form von Proportionalventilen bauartbedingt zur Ansteuerung des gewünschten Öffnungsgrades eine gewisse Zeit benötigen. Mit anderen Worten wird das jeweilige Füllventil nach und nach von der vollständig geschlossenen Position in die gewünschte Öffnungsposition gefahren. Entsprechend findet kein schlagartiges Öffnen der Füllventile statt, so wie es bei reinen Schaltventilen der Fall wäre, sondern das Öffnen findet so statt, dass der Volumenstrom durch das Füllventil langsam ansteigt und entsprechend der Differenzdruck, der sich durch ein weiteres sich öffnendes Füllventil ergibt, ebenfalls nur langsam reduziert wird.

[0033] In Kombination mit dem deutlich schnelleren Drucksensor, welcher ein erheblich schnelleres Ermittlungsverhalten aufweist als beispielsweise ein Durchflusssensor, kann entsprechend eine Kompensation des jeweiligen sich öffnenden Füllventils erreicht werden, welche schlussendlich zu einem quasi unbeeinflussten beziehungsweise gleichmäßigen Volumenstrom in den bereits geöffneten Füllventilen führt.

[0034] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung umfasst das Regeln und/oder Steuern des Füllventils das Ansteuern einer Öffnungsstellung des Füllventils anhand des aktuellen Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$.

[0035] Bevorzugt wird das Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils unter Berücksichtigung eines vorgegeben Volumenstromprofils zur Befüllung des zu befüllenden Behälters mit dem Füllprodukt durchgeführt.

[0036] Bevorzugt ist die Funktion des Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$ in Abhängigkeit von dem Differenzdruck Δp_v durch

$$q(t, \Delta p_v) = \begin{cases} q_\infty \cdot \tanh\left(\frac{\Delta p_v}{q_\infty \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arctanh}\left(\frac{q_0}{q_\infty}\right)\right), & \text{falls } q_0 < q_\infty \\ q_\infty \cdot \coth\left(\frac{\Delta p_v}{q_\infty \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arccoth}\left(\frac{q_0}{q_\infty}\right)\right), & \text{falls } q_0 > q_\infty \\ q_0, & \text{falls } q_0 = q_\infty \end{cases}$$

gegeben, wobei

$$q_\infty = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\rho}}$$

der Volumenstrom durch das Füllventil im eingeschwungenen Zustand ist.

[0037] Auf diese Weise kann der Volumenstrom auch für ein komplexes System mit einer Vielzahl von Füllventilen aufgrund des Differenzdrucks berechnet werden, wobei die gegenseitige Beeinflussung der Volumenströme der Füllventile untereinander durch diese Gleichungen berücksichtigt wird. Mit anderen Worten ermöglicht die Berechnung auf diese Weise eine genauere Berechnung des Volumenstroms und damit eine verbessertes Füllergebnis.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0038] Bevorzugte weitere Ausführungsformen der Erfindung werden durch die nachfolgende Beschreibung der Figuren näher erläutert. Dabei zeigen:

- 5
Figur 1 eine schematische perspektivische Darstellung eines Füllerkarussells mit einem nebengestellten Füllproduktreservoir,
- 10
Figur 2 eine schematische Darstellung der exemplarisch gemessenen Volumenströme von vier parallel geschalteten Füllventilen ohne Kompensation;
- Figur 3 eine schematische Darstellung eines exemplarisch gemessenen Volumenstroms eines Füllventils beim nachfolgenden Öffnen weiterer, parallel geschalteter Füllventile in einer vergrößerten Detaildarstellung;
- 15
Figur 4 eine schematische Darstellung einer Kurve eines Leitwerts K_v über den Hub H eines Proportionalventils;
- Figur 5 ein Ersatzschaltbild in einer elektrisch-fluidtechnischen Analogie für den Fülleraufbau gemäß Figur 1;
- 20
Figur 6 ein Ersatzschaltbild in einer elektrisch-fluidtechnischen Analogie eines einzelnen Füllventils;
- Figur 7 ein Ersatzschaltbild in einer elektrisch-fluidtechnischen Analogie eines einzelnen Füllventils unter Berücksichtigung des Differenzdrucks;
- 25
Figur 8 eine schematische Darstellung der einzelnen Maschen in einem Ersatzschaltbild in einer elektrisch-fluidtechnischen Analogie des Fülleraufbaus beispielsweise nach Figur 1;
- Figur 9 schematische Darstellung der Überlegung zur Reduktion der Differenzialgleichungen aus den Maschengleichungen unter Berücksichtigung des Differenzdrucks; und
- 30
Figur 10 schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform.

Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

35
[0039] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele anhand der Figuren beschrieben. Dabei werden gleiche, ähnliche oder gleichwirkende Elemente in den unterschiedlichen Figuren mit identischen Bezugszeichen versehen, und auf eine wiederholte Beschreibung dieser Elemente wird teilweise verzichtet, um Redundanzen zu vermeiden.

[0040] In Figur 1 ist schematisch in einer perspektivischen Darstellung ein Füllerkarussell 10 gezeigt, welches eine Vielzahl am Füllerkarussell 10 um dessen Umfang herum angeordneter Füllventile 12 aufweist, welche jeweils einen Füllventilauslauf 14 aufweisen, unter denen jeweils die in dieser Figur nicht gezeigten zu befüllenden Behälter angeordnet werden. Über den jeweiligen Füllventilauslauf 14 wird der jeweils darunter angeordnete zu befüllende Behälter mit einem Füllprodukt befüllt. Das Füllventil 12 dient dazu, in jeden zu befüllenden Behälter das gewünschte Volumen, die gewünschte Masse oder die gewünschte Füllhöhe an Füllprodukt einzufüllen. Im Füllbetrieb rotiert das Füllerkarussell 10 um seine Rotationsachse, um einen steten Strom an befüllten Behältern zu produzieren.

45
[0041] Ein beigestelltes Füllproduktreservoir 16 in Form eines beigestellten Füllproduktkessels ist vorgesehen. In dem Füllproduktreservoir 16 ist das Füllprodukt vor der eigentlichen Befüllung der zu befüllenden Behälter gespeichert.

[0042] Der Füllstand des Füllprodukts im Füllproduktreservoir 16 kann über einen separaten Mechanismus konstant gehalten werden, beispielsweise mittels eines Füllhöhsensors im Füllproduktreservoir 16, über welchen eine Zufuhr von Füllprodukt in das Füllproduktreservoir 16 geregelt wird. Vorteilhaft an der Konstanthaltung des Füllstands im Füllproduktreservoir 16 ist, dass die Druckund Strömungsverhältnisse in den stromabwärts des Füllproduktreservoirs 16 liegenden Anlagenbereichen einfacher bestimmt werden können, da der über das Füllproduktreservoir 16 aufgebrachte hydrostatische Druck immer gleich ist.

[0043] Alternativ oder zusätzlich kann aber auch über einen Füllhöhsensor die Füllhöhe des Füllprodukts im Füllproduktreservoir 16 bestimmt werden und die stromabwärts des Füllproduktreservoirs 16 liegenden Anlagenteile entsprechend der Füllhöhe des Füllprodukts gesteuert oder geregelt werden.

55
[0044] Das Füllproduktreservoir 16 ist über eine Füllproduktleitung 18, welche über einen Drehverteiler 19 auf das Füllerkarussell 10 geführt wird, mit den einzelnen Füllventilen 12 verbunden. Entsprechend sind sämtliche Füllventile 12 über die Füllproduktzuleitung 18 und den Drehverteiler 19 mit dem beigestellten Füllproduktreservoir 16 verbunden.

[0045] In der gezeigten Ausführungsform sind die einzelnen Füllventile 12 über eine sich auf dem Füllerkarussell 10

befindlichen Ringleitung 11 miteinander verbunden und die Ringleitung 11 steht mit der Füllproduktzuleitung 18 über vier Verteilerleitungen 17 unter Zwischenschaltung des Drehverteilers 19 in Verbindung. Hier können auch andere leitungs-basierte Konstellationen zur Verbindung der Füllproduktzuleitung 18 mit den Füllventilen 12 vorgesehen sein.

[0046] Durch diesen Aufbau des Füllers mit einem nebengestellten Füllproduktreservoir 16 kann auf den Aufbau eines Kessels an dem Füllerkarussell 10 verzichtet werden, wodurch Kosten eingespart werden können. Neben dem einfacher aufzubauenden Füllproduktreservoir 16 kann auch das Füllerkarussell 10 selbst bezüglich der Lagerungen und der Statik aufgrund der geringeren rotierenden Masse geringer dimensioniert werden und die erforderlichen Antriebe und Antriebsenergien können reduziert werden. Damit ergeben sich nicht nur ein geringeres Investitionsvolumen, sondern auch verringerte Betriebskosten.

[0047] Im laufenden Füllbetrieb werden zu befüllende Behälter in an sich bekannter Weise dem Füllerkarussell 10 im Bereich der jeweiligen Füllproduktausläufe 14 der Füllventile 12 zugeführt, an diesen befüllt und dann die befüllten Behälter auf an sich bekannte Weise wieder aus dem Füllerkarussell 10 ausgeleitet.

[0048] Zu Beginn des jeweiligen Füllbetriebs wird entsprechend zunächst ein erster Behälter zugeführt, und das entsprechende Füllventil 12 geöffnet. Dann wird der zweite zu befüllende Behälter zugeführt und das zweite Füllventil 12 wird geöffnet. So wird weiter verfahren, bis sich ein eingeschwungenes Gleichgewicht eingestellt hat und alle Füllstellen im Füllwinkel belegt sind.

[0049] Entsprechend werden zu Beginn des jeweiligen Füllbetriebs die Füllventile 12 von einer Situation, in welcher alle Füllventile 12 geschlossen sind, hin zu einem Betrieb geführt, bei welchem eine große Anzahl an Füllventilen 12 gleichzeitig geöffnet ist. Im vollen Füllbetrieb werden dann die eine große Anzahl von Füllventilen 12 gleichzeitig betrieben - wobei es sich hier um ein eingeschwungenes Gleichgewicht handelt, da ständig am Anfang des Füllwinkels ein Füllventil 12 geöffnet wird und kurz davor oder kurz danach am Ende des Füllwinkels ein anderes Füllventil 12 geschlossen wird. Im vollen Füllbetrieb wird entsprechend der zugeführte Strom an zu befüllenden Behältern mit dem Füllprodukt befüllt und nach Abschluss des Füllverfahrens kann ein Strom an befüllten Behältern das Füllerkarussell 10 wieder verlassen. Dieser Betrieb eines Füllerkarussells 10 ist prinzipiell bekannt.

[0050] Bei den Füllventilen 12, welche in der Figur 1 gezeigt sind, handelt es sich um sogenannte Regelventile beziehungsweise Proportionalventile, wobei die Regelventile entsprechend so ausgestaltet sind, dass sie neben einer vollständig geschlossenen Position und einer vollständig geöffneten Position auch mindestens eine Zwischenposition, bevorzugt eine Vielzahl von Zwischenpositionen beziehungsweise ein stufenloses Verstellen des aktiven Füllquerschnitts, ermöglichen. Entsprechend kann ein Füllventilkegel aus seinem entsprechenden Füllventilsitz in Stufen oder stufenlos herausgehoben werden, so dass entsprechend der sich zwischen dem Füllventilkegel und dem Füllventilsitz ausbildende Ringspalt beziehungsweise dessen Querschnitt in den genannten Stufen oder stufenlos verändern lässt. Entsprechend ermöglicht es das auf diese Weise als Regelventil ausgebildete Füllventil, den Durchfluss an Füllprodukt durch das Füllventil 12 hindurch über die Stellung des Füllventilkegels relativ zum Füllventilsitz zu steuern.

[0051] Regelventile werden auch an anderen Positionen innerhalb einer Füllproduktabfüllanlage verwendet, um Durchflüsse von Medien und insbesondere des Füllprodukts zu variieren. Die hier im Nachfolgenden gegebenen Erläuterungen der vorliegenden Offenbarung werden exemplarisch an einer Füllvorrichtung durchgeführt, in welcher Regelventile als Füllventile 12 verwendet werden. Die Überlegungen lassen sich prinzipiell aber auf die Steuerung und Regelung jedes Regelventils innerhalb einer Füllproduktabfüllanlage übertragen.

[0052] Die nachfolgenden Erläuterungen, die anhand von als Regelventilen ausgebildeten Füllventilen 12 gegeben werden, sind daher beispielsweise auch auf Aufbauten einer Füllproduktabfüllanlage übertragbar, bei welchen vor den eigentlichen, dann als einfache Schaltventile (Auf/Zu) ausgebildeten, Füllventilen jeweils noch Regelventile zur Durchflussvariation vorgesehen sind. Die Erläuterungen sind beispielsweise auch auf Aufbauten übertragbar, bei denen ein einzelnes Regelventil im Zulauf zu einem Füller vorgesehen ist - ein solcher Aufbau ist beispielsweise in Figur 10 beschrieben.

[0053] Im Nachfolgenden wird aber zunächst auf einen Aufbau Bezug genommen, bei dem alle betrachteten Füllventile 12 als Regelventile ausgebildet sind.

[0054] Üblicherweise steht jedes Füllventil 12 mit einem individuellen Durchflussmesser oder einer Wägezelle so in Kommunikation, dass ein gewünschter Volumenstrom vorgegeben werden kann, welcher dann von dem Füllventil 12 über dessen zugeordneten Durchflussmesser eingeregelt werden kann.

[0055] Hierzu wird üblicherweise das Füllventil 12 zunächst in eine vorbestimmte Öffnungsposition, die auch als Vorsteuerposition bezeichnet wird, bewegt, von welcher angenommen wird, dass sie dem gewünschten Volumenstrom entspricht, und dann wird der sich einstellende Volumenstrom über den Durchflussmesser entsprechend über eine Variation des Öffnungshubes des Füllventils 12 genau eingeregelt.

[0056] Die Vorsteuerposition wird bisher für den Gleichgewichtsbetrieb bestimmt und richtet sich entsprechend nach den Bedingungen im Gleichgewichtsbetrieb.

[0057] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel des Füllers, bei welchem sämtliche Füllventile 12 über die Füllproduktzuleitung 18 mit dem nebengestellten Füllproduktreservoir 16 in Verbindung stehen, führt jedoch das Öffnen jedes einzelnen Füllventils 12 zu sich verändernden Druckverhältnissen in der Füllproduktzuleitung 18. Dies liegt unter anderem

in der hydraulischen Induktivität des Fluides in der Füllproduktzuleitung 18 begründet. Entsprechend findet zu Beginn des Füllverfahrens, wenn zunächst ein erstes Füllventil 12, und dann nachfolgend immer weitere Füllventile 12 geöffnet werden, ausgehend von einem initialen Differenzdruck eine immer langsamer werdende Verringerung des Differenzdrucks statt, welcher entsprechend den Volumenstrom durch die bereits geöffneten Füllventile 12 beeinflusst.

[0058] Dieses Verhalten ist schematisch in Figur 2 gezeigt, in welchem der Volumenstrom durch vier direkt benachbarte Füllventile a) - d) gezeigt ist, die im Abstand von ca. 1 Sekunde nacheinander aufgeschaltet werden.

[0059] Bei einer Ansteuerung der ersten Füllventile 12 auf die im Gleichgewichtsbetrieb bestimmte Vorsteuerposition wird daher nicht der erwartete Volumenstrom erreicht, sondern ein höherer Volumenstrom, der dann nach und nach abnimmt. Dies ist schematisch noch einmal in Figur 3 gezeigt, in der das Verhalten des Füllventils a) aus der Figur 2 noch einmal in einer höheren Auflösung gezeigt ist. Der Einbruch des Volumenstroms liegt in diesem speziellen gemessenen Beispiel bei mehr als 100 ml/sek.

[0060] Gleiches findet zum Ende des Füllbetriebes statt, wenn die letzten zu befüllenden Behälter in dem Füllerkarussell 10 aufgenommen sind und immer mehr Füllventile 12 geschlossen werden, bis schließlich nur noch ein letztes Füllventil 12 übrig ist, welches dann geschlossen wird. Hier findet ein allmählicher Anstieg des Drucks statt, so dass sich entsprechend wiederum die Strömungsverhältnisse und insbesondere der Volumenstrom durch die individuellen, verbliebenen beziehungsweise verbleibenden Füllventile 12 verändert.

[0061] Das beobachtete Verhalten am Ende des Füllbetriebs entspricht damit im Wesentlichen dem aus den Figuren 2 und 3, nur mit zeitlich umgekehrtem Verlauf, bei dem der Volumenstrom des letzten Füllventils 12 dann entsprechend ansteigt.

[0062] Für ein zuverlässiges Ausregeln dieser Volumenstromschwankungen ist die Regelschleife zwischen individuellem Füllventil 12 und dem diesem Füllventil 12 zugeordneten Durchflussmesser zu träge.

[0063] Um dieses Verhalten der Füllventile 12 besser zu verstehen, sind die nachfolgenden Überlegungen zu berücksichtigen.

[0064] Grundlage für den hier vorgeschlagenen verbesserten Regelungsprozess sind genaue Kenntnisse über das Füllventil 12 und im speziellen über das jeweils eingesetzte Regelventil. Hierbei spielt die Kenntnis über den Zusammenhang zwischen dem Leitwert K_V und dem Hub H des Regelventils eine Rolle:

Zunächst wird eine Funktion des Leitwerts $K_V(H)$ des Regelventils für jede Öffnungsposition H des Regelventils bestimmt. Der Leitwert K_V wird auch als Durchflussfaktor oder Durchflusskoeffizient des Regelventils bezeichnet. Er ist ein Maß für den erzielbaren Durchsatz einer Flüssigkeit oder eines Gases durch das Regelventil, wird hier in der Einheit ml/sek angegeben und ist als effektiver Querschnitt interpretierbar. Jeder K_V -Wert gilt nur für die zugehörige Öffnungsposition H des Regelventils.

[0065] Zur Bestimmung des Leitwerts K_V wird in einem initialen Kalibriervorgang eine bestimmte Öffnungsposition H_i des Regelventils angefahren, der Füllproduktstrom $q(H)$ aus dem Regelventil bei dieser Öffnungsposition H_i gemessen und daraus im eingeschwungenen Zustand der Leitwert K_V , beispielsweise über eine Messung mittels einer Messzelle wie einer Wiegezeile, bestimmt. Dies wird für eine Vielzahl diskreter Öffnungspositionen H_i des Regelventils durchgeführt.

[0066] Zwischen K_V -Wert und Volumenstrom q_∞ (Volumenstrom durch das Füllventil im eingeschwungenen Zustand) besteht folgender Zusammenhang:

$$q_\infty = K_v * \sqrt{\frac{\Delta p}{1000 \text{ mbar}} * \frac{1000 \text{ kg} / \text{m}^3}{\rho}} \quad (1)$$

mit Δp Differenzdruck zwischen Füllventilauslauf und dem Druck oberhalb des Regelventils und ρ der Dichte des das Regelventil durchfließenden Füllprodukts.

[0067] Entsprechend müssen zur exakten Bestimmung des Leitwerts K_V neben der oben genannten Messung des Volumenstroms bei einer bestimmten Öffnungsposition auch noch der Differenzdruck Δp und die Dichte ρ des das Regelventils durchfließenden Füllprodukts bestimmt werden.

[0068] Die Dichte ρ des Füllproduktes ist meist bekannt oder kann über die bekannten Messmethoden ermittelt werden. Für Wasser und wasserähnliche Füllprodukte, die vorwiegend in Getränkeabfüllanlagen abgefüllt werden, kann die Dichte näherungsweise mit 1000 kg/m^3 angenommen werden, so dass sie dann für eine Vielzahl von abzufüllenden Füllprodukten nicht verändert zu werden braucht.

[0069] Entsprechend lässt sich nun aus dem für eine bestimmte Öffnungsposition H_i gemessenen Volumenstrom q , dem bestimmten Differenzdruck Δp und der bestimmten Dichte ρ der K_V -Wert für diese Öffnungsposition bestimmen durch:

$$K_v(H_i) = q_{\infty} * \sqrt{\frac{1000 \text{ mbar}}{\Delta p} * \frac{\rho}{1000 \text{ kg/m}^3}} \quad (2)$$

[0070] Um hier eine Funktion des Leitwerts $K_v(H)$ über die Öffnungspositionen H_i zu ermitteln, wird nach der Bestimmung aller Leitwerte $K_v(H_i)$ durch Bestimmung einer Ausgleichskurve durch die jeweiligen Leitwerte $K_v(H_i)$ eine Funktion des Leitwerts über der Öffnungspositionen des Regelventils ermittelt. Die Ausgleichskurve kann beispielsweise durch lineare Regression, die Methode der kleinsten Quadrate, einen Fit-Algorithmus oder andere bekannte Verfahren zur Bestimmung einer Ausgleichskurve durch Messwerte bestimmt werden. Diese Bestimmung und Berechnung wird für verschiedene diskrete Werte der Öffnungsposition H_i durchgeführt.

[0071] Als Ausgleichskurve kann beispielsweise ein Polynom 6. Ordnung verwendet werden, so wie es beispielsweise in Figur 4 gezeigt ist, in welcher der Leitwert über der jeweiligen Öffnungsposition des Regelventils aufgezeichnet ist. In der Figur 4 wurden zur Bestimmung der Ausgleichskurve ein erster Wertebereich der Öffnungspositionen von 0 bis 2 mm und ein zweiter Wertebereich der Öffnungsposition von 2 mm bis 6 mm verwendet. Dabei wurden zur Ausbildung der Kurve der K_v -Werte 2 über die Öffnungsposition H des Regelventils entsprechend die diskreten Werte 20 im ersten Wertebereich und die diskreten Werte 22 im zweiten Wertebereich zur Ausbildung einer Ausgleichskurve unter Verwendung eines Polynoms 6. Ordnung verwendet.

[0072] Für einen bestimmten Hub H des Regelventils ergibt sich damit beispielsweise als Ausgleichskurve des Leitwerts K_v :

$$K_v(H) = c_6 * H^6 + c_5 * H^5 + c_4 * H^4 + c_3 * H^3 + c_2 * H^2 + c_1 * H + c_7 \quad (3)$$

[0073] Wobei c_1 bis c_7 die entsprechenden Koeffizienten zur Anpassung der Funktion an die Messwerte sind.

[0074] Durch die Bestimmung der Ausgleichsfunktion können dann auch alle Zwischenwerte der Öffnungspositionen bei der Abfüllung berücksichtigt werden. Damit kann für eingeschwungene Zustände für jede Öffnungsposition der entsprechende Volumenstrom berechnet werden:

$$q_{\infty}(H) = K_v(H) * \sqrt{\frac{\Delta p}{1000 \text{ mbar}} * \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{\rho}} \quad (4)$$

[0075] Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei dieser Funktion des Leitwerts $K_v(H)$ des Regelventils für jede Öffnungsposition um den jeweiligen Volumenstrom im eingeschwungenen Zustand, also nach Konstant halten der Öffnungsposition und längerem Warten handelt. Beim Öffnen, Schließen oder Verfahren des Regelventils von einer Öffnungsposition in eine andere Öffnungsposition kommen hingegen noch weitere dynamische Einflüsse zur Geltung.

[0076] Um die dynamischen Einflüsse durch das Öffnen beziehungsweise Schließen der benachbarten oder übrigen als Regelventil ausgebildeten Füllventile des Füllkarussells zu betrachten, wird zunächst eine Analogie aus dem Bereich der Elektrotechnik gezogen, wobei die in der nachfolgenden Tabelle genannte elektrisch-mechanische Analogie hinzugezogen wird:

elektrische Betrachtung	mechanische Betrachtung
Ohmscher Widerstand	K_v -Wert
Spannung	Differenzdruck
Strom	Volumenstrom
Induktivität	beschleunigte Masse

[0077] In Figur 5 ist entsprechend der strömungsmechanische Aufbau einiger als Regelventile ausgebildeter Füllventile 12 a) bis d), die über die Füllproduktzuleitung 18 mit dem beigestellten Füllproduktreservoir in Kommunikation stehen, in einer elektrisch-fluidtechnischen Analogie mit Hilfe eines Ersatzschaltbildes schematisch dargestellt.

[0078] Dabei sind in Figur 5:

$K_{vZulauf}$: Leitwert Zulauf

(fortgesetzt)

K_{V1-n} :	Leitwert einzelnes Füllventil
L_{Zulauf} :	Hydraulische Induktivität Zulauf
L_{1-n} :	Hydraulische Induktivität Füllventil
Δp :	Differenzdruck
q :	Volumenstrom Zulauf
q_{1-n} :	Volumenstrom Füllventil
n :	Anzahl der Füllventile

[0079] Die Öffnungsposition beziehungsweise der Öffnungsgrad des Füllventils 12 beeinflusst die System-Größen K_{V1-n} und L_{1-n} und damit indirekt die Potential- und Flussgrößen.

[0080] Die Füllproduktzuleitung 18 umfasst entsprechend eine hydraulische Induktivität L_{Zulauf} und einen Leitwert $K_{V-Zulauf}$, mit welchen entsprechend das Verhalten der Füllproduktzuleitung 18 gemäß der elektrisch-fluidtechnischen Analogie beschrieben werden kann.

[0081] Der gesamte Volumenstrom q , welcher aus dem beigestellten Füllproduktreservoir zugeführt wird stammt, wird entsprechend über die Füllproduktzuleitung 18 den einzelnen Füllventilen 12 zugeführt.

[0082] Die einzelnen Füllventile 12 sind parallel zueinander geschaltet und sämtlich mit der Füllproduktzuleitung 18 verbunden. Jedes Füllventil 12 weist entsprechend ebenfalls eine hydraulische Induktivität L_1 und einen Leitwert K_{V1} auf, mittels welchen das Strömungsverhalten eines jeden Füllventils 12 gemäß der elektrisch-fluidtechnischen Analogie dargestellt werden kann.

[0083] Um ein verbessertes Steuer- und/oder Regelverhalten der Füllproduktabfüllanlage 1 insbesondere zu Beginn und zum Ende des jeweiligen Füllbetriebs zu erreichen, sind folgende weiteren Überlegungen anzustellen:

In Figur 6 ist schematisch der Aufbau eines einzelnen als Regelventil ausgebildeten Füllventils 12 dargestellt.

[0084] Der Differenzdruck über den Leitwert ergibt sich zu:

$$\Delta p_{K_v}(t) = \left(\frac{q(t)}{K_v} \right)^2 \cdot 1bar \cdot \frac{\rho}{1000 \frac{kg}{m^3}} \quad (5)$$

[0085] Der Differenzdruck über die hydraulische Induktivität ergibt sich zu:

$$\Delta p_{L_h}(t) = L_h \cdot \frac{dq(t)}{dt} \quad (6)$$

[0086] Wobei die hydraulische Induktivität gegeben ist zu

$$L_h = \frac{l \cdot \rho}{A} \quad (7)$$

mit

l = wirksame Leitungslänge

ρ = Dichte der Flüssigkeit

A = wirksamer Fließquerschnitt

[0087] Die Formel kann für kompliziertere Leitungsgeometrien in infinitesimal kleinen Abschnitten angewendet werden. Die entstehenden Einzelinduktivitäten sind dann zu einer Gesamtinduktivität aufzuaddieren beziehungsweise aufzuintegrieren.

[0088] Nun wird die Differentialgleichung des Einzelventils aufgestellt und nach dem Volumenstrom aufgelöst. Dieser berechnete Volumenstrom wird letztendlich einem gewöhnlichen Regelungsalgorithmus zur Kompensation der Volumenstromerbrüche übergeben - beispielsweise über eine Anpassung einer Vorsteuerposition.

[0089] In der Figur 7 ist schematisch die Betrachtung für eine einzelne Masche auf dieser Grundlage gezeigt. Aus dieser Betrachtung ergibt sich der Differenzdruck Δp_v des betrachteten Regelventils über dieser Einzelmache zu:

$$\Delta p_v = \Delta p_{K_v} + \Delta p_{L_h} = \left(\frac{q(t)}{K_v} \right)^2 \cdot 1 \text{ bar} \cdot \frac{\rho}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + L_h \cdot \frac{dq(t)}{dt} \quad (8)$$

[0090] Diese Maschengleichung ist nun für jedes der Füllventile 12 der jeweiligen Füllproduktabfüllanlage 1 aufzustellen, woraus sich entsprechend ein komplexes Differentialgleichungssystem ergibt.

[0091] Der Aufbau des Differentialgleichungssystems ergibt sich schematisch aus der Figur 8, in der die jeweiligen Maschen I, II, ..., die jeweils eine Zeile des Differentialgleichungssystems repräsentieren, gezeigt sind.

[0092] Dieses Differentialgleichungssystem beschreibt die gegenseitige Beeinflussung der Füllventile 12 bei einer Parallelschaltung der Füllventile 12 bei dem über diese Füllventile 12 abfallenden Differenzdruck Δp_v .

[0093] Ein solches Differentialgleichungssystem ist jedoch nicht mehr analytisch lösbar, sondern muss numerisch gelöst werden. Mit der verfügbaren Rechenleistung eines Steuerrechners ist dies im Füllbetrieb allerdings nicht praktikabel und wäre zu langsam. Weiterhin müssten - wie sich aus der Figur 8 ergibt, auch die Materialgrößen K_{vZulau} und L_{Zulau} bestimmt werden und für die jeweilige Maschine gemessen werden.

[0094] Um diese Probleme zu umgehen, wird das zugrunde liegende Ersatzschaltbild und damit das Differentialgleichungssystem reduziert. Es hat sich ergeben, wie aus Figur 9 zu entnehmen, dass durch die Messung des Differenzdrucks Δp_v über der Parallelschaltung der Füllventile 12 das Ersatzschaltbild reduziert werden kann und auf eine getrennte Bestimmung des Leitwerts und der hydraulischen Induktivität verzichtet werden kann.

[0095] Mit anderen Worten kann durch die Messung des Differenzdrucks Δp_v über dem einzelnen Füllventil 12 beziehungsweise über der Parallelschaltung der aktiven Füllventile 12 eine Vereinfachung der Bestimmung des Durchflusses erreicht werden.

[0096] Der Differenzdruck Δp_v kann in der Füllproduktabfüllanlage 1 auf einfache Weise mittels entsprechender Drucksensoren bestimmt werden. Die Drucksensoren haben eine sehr kurze Reaktionszeit die beispielsweise im Bereich von 1ms liegt und sind hinreichend genau. Damit ergibt sich eine sehr schnelle Messung des Differenzdrucks Δp_v und damit die Möglichkeit einer schnellen Bestimmung des resultierenden Volumenstroms durch das jeweilige Füllventil.

[0097] Damit kann die folgende Lösung für den Volumenstrom $q_n(t)$ des jeweiligen n-ten Einzelventils bei Vorliegen eines gemessenen Differenzdrucks Δp_v gefunden werden zu:

$$q_n(t) = \begin{cases} q_{n\infty} \cdot \tanh \left(\frac{\Delta p_v}{q_{n\infty} \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arctanh} \left(\frac{q_{n0}}{q_{n\infty}} \right) \right), & \text{falls } q_{n0} < q_{n\infty} \\ q_{n\infty} \cdot \coth \left(\frac{\Delta p_v}{q_{n\infty} \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arccoth} \left(\frac{q_{n0}}{q_{n\infty}} \right) \right), & \text{falls } q_{n0} > q_{n\infty} \\ q_{n0}, & \text{falls } q_{n0} = q_{n\infty} \end{cases} \quad (9)$$

[0098] Wobei q_{n0} der Volumenstrom des n-ten Füllventils zu Beginn der Betrachtung ist und sich der Volumenstrom $q_{n\infty}$ des n-ten Füllventils im jeweils vollständig eingeschwungenen Zustand ergibt zu:

$$q_{n\infty} = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\rho}} \quad (10)$$

[0099] Am Füllventilauslauf 14 aller Füllventile 12 herrscht jedoch in erster Näherung der gleiche Druck. Dieser Druck kann beispielsweise der Umgebungsdruck bei einem Freistrahilverfahren oder der Druck einer definiert aufgebrachten Vorspannung in dem zu befüllenden Behälter sein. Der entsprechende Druck am Füllventilauslauf 14 ist also prinzipiell bekannt und beim jeweiligen Füllbeginn für jedes Füllventil 12 in erster Näherung gleich.

[0100] Weiterhin herrscht durch die gemeinsame Anbindung aller Füllventile 12 an die Füllproduktzufuhr 18 - beispielsweise über die Ringleitung 11 - ebenfalls in erster Näherung der gleiche Druck oberhalb der Füllventile 12. Entsprechend kann zur Vereinfachung des Verfahrens auf eine individuelle Betrachtung der einzelnen Füllventile 12 verzichtet werden. Der gemessene Differenzdruck Δp_v entspricht mit anderen Worten dem Differenzdruck über alle aktiven Regelventile, die in der entsprechenden Parallelschaltung vorliegen.

[0101] Damit ergibt sich der Volumenstrom $q(t)$ des jeweiligen einzelnen Füllventils 12 unter Berücksichtigung der genannten Annahmen für jedes Füllventil 12 auf der Basis der Messung des Drucks in der Füllproduktzufuhr 18 beziehungsweise in der Ringleitung 11, der Kenntnis des Drucks am Füllventilauslauf 14 und der Bestimmung des sich daraus ergebenden Differenzdrucks Δp_v zu:

$$q(t, \Delta p_v) = \begin{cases} q_\infty \cdot \tanh\left(\frac{\Delta p_v}{q_\infty \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arctanh}\left(\frac{q_0}{q_\infty}\right)\right), & \text{falls } q_0 < q_\infty \\ q_\infty \cdot \coth\left(\frac{\Delta p_v}{q_\infty \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arccoth}\left(\frac{q_0}{q_\infty}\right)\right), & \text{falls } q_0 > q_\infty \\ q_0, & \text{falls } q_0 = q_\infty \end{cases} \quad (11)$$

[0102] Mit

$$q_\infty = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\rho}} \quad (12)$$

[0103] Entsprechend ergibt sich bei einer Bestimmung des Differenzdrucks Δp_v durch die Parallelschaltung der Füllventile 12, der entsprechend für jedes Füllventil 12 gilt, dass die gegenseitige Beeinflussung der Füllventile 12 vollständig in die individuelle Berechnung des Volumenstromes eingebracht wird.

[0104] Der auf diese Weise berechnete Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ auf Grundlage des Differenzdrucks Δp_v wird dann einer Steuerung oder Regelung übergeben, um eine entsprechende Ansteuerung der Ventilposition des jeweiligen Regelventils zur Aufrechterhaltung des vorgegebenen Soll-Volumenstroms zu erreichen.

[0105] Dies ist wird besonders für die Vorsteuerung des jeweiligen Regelventils verwendet, wobei das Regelventils dann auf Grundlage des jeweils aktuell gemessenen Differenzdrucks Δp_v bei seiner Öffnung so angesteuert wird, dass der gewünschte Volumenstrom vorangesteuert wird.

[0106] Auf diese Weise kann erreicht werden, dass besonders zu Beginn des Füllbetriebs oder zum Ende des Füllbetriebs, wenn nur einige Füllventile 12 aktiv sind, ein kompensiertes Ansteuern der Vorsteuerposition und der Betriebsposition der Füllventile 12 erreicht wird.

[0107] Die Regelung, welche auf der Grundlage des jeweils basierend auf dem aktuell gemessenen Differenzdruck Δp_v berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ durchgeführt wird, kann auf die übrigen Steuerungs- und/oder Regelschritte einer übergeordneten Anlagensteuerung aufmoduliert werden.

[0108] Das übrige Steuer- und/oder Regelverhalten des individuellen Füllventils 12 - beispielsweise zum Erreichen einer vorgegebenen Fließkurve zur Befüllung des zu befüllenden Behälters nach einem dem Füllprodukt und dem Behälter angemessenen Volumenstromprofil - wird dadurch nicht verändert. Es wird vielmehr durch die Kompensation über den basierend auf dem aktuell gemessenen Differenzdruck Δp_v berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_v)$ eine genauere Einhaltung des geforderten Volumenstromprofils unabhängig von der Anzahl der gleichzeitig geöffneten Füllventile 12 erreicht.

[0109] Das Verfahren zur Kompensation kann zu Beginn des und zum Abschluss des jeweiligen Füllbetriebs angewendet werden, bis sich jeweils im Vollbetrieb ein eingeschwungenes Gleichgewicht der Anzahl der parallel zueinander geöffneten Füllventile 12 ergeben hat.

[0110] Das Verfahren kann aber auch während des gesamten Füllbetriebs zur Kompensation der Öffnungsposition aller Füllventile 12 unter Berücksichtigung des Differenzdrucks Δp_v dauernd kompensiert werden.

[0111] Damit kann das Regelverfahren beispielsweise auch so durchgeführt werden:

- Füllventil n ist offen, und der Volumenstrom durch das Füllventil n ist konstant eingeschwungen
- Das Füllventil n+1 wird geöffnet. Dadurch ändert sich der Differenzdruck Δp_v über der Parallelschaltung der Füllventile
- Dies wird durch die entsprechenden Drucksensoren erkannt und auf dieser Grundlage der Volumenstrom berechnet, der entsprechend sinkt
- Der berechnete Volumenstrom wird an die Regelung als Regelgröße übergeben
- Die Regelung erhöht am Füllventil n den Öffnungshub so, dass der gewünschte Soll-Volumenstrom (Führungsgröße) gehalten wird

[0112] Dieses Vorgehen funktioniert auch daher gut, weil der Differenzdruck Δp_v in einem kurzen Zyklus von beispielsweise 5ms abgetastet und gemessen werden kann und weil das Füllventil n+1 eine Veränderung des Differenzdrucks Δp_v relativ langsam mit dem (trägen) Öffnungshub auslöst.

[0113] In Figur 10 ist eine alternative Ausbildung der Schaltung vorgesehen. In der Füllproduktzuleitung 18 ist ein Regelventil 180 vorgesehen, mittels dessen der gemeinsame Zustrom zu den separaten einzelnen Füllventilen 12 geregelt werden kann. Die Füllventile 12 sind in dem gezeigten Ausführungsbeispiel nicht als Regelventile ausgebildet, sondern als einfache Schaltventile (Auf/Zu).

[0114] Entsprechend kann das Regelverhalten der Füllventile 12, das in den oben beschriebenen Ausführungsformen über die als Regelventile ausgebildeten Füllventile erreicht wird, in dieser Ausführungsform durch das eine, in der Füllproduktzuleitung 18 angeordnete Regelventil 180 übernommen werden.

[0115] Damit ist es möglich, die Füllventile 12 anhand standardisierter Regelvorgaben zu regeln, ohne ein durch die Anzahl der offenen Füllventile 12 gesteuertes Vorsteuerverhalten aufprägen zu müssen.

[0116] Damit zeigt das Regelventil 180 in dem Zulauf 18 ein Verhalten, bei dem es zu Beginn der Produktion zunächst bei einem geringeren Leitwert K_V eingeregelt ist und dann das erste Füllventil 12 geöffnet wird. Nach und nach wird dann synchron mit dem Ansteigen der Anzahl der geöffneten Füllventile 12 der Leitwert K_V des Regelventils 180 erhöht, so dass jedes individuelle Füllventil 12 im Prinzip den gleichen Differenzdruck sieht.

[0117] Mit anderen Worten wird mittels des Regelventils 180 im Zulauf der Druckabfall Δp_{Zulauf} variiert, damit Δp_{Ventil} konstant gehalten werden kann.

Bezugszeichenliste

[0118]

- 1 Füllproduktabfüllanlage
- 10 Füllerkarussell
- 11 Ringleitung
- 12 Füllventil
- 14 Füllventilauslauf
- 16 Füllproduktreservoir
- 17 Verteilerleitung
- 18 Füllproduktzuleitung
- 180 Regelventil
- 19 Drehverteiler

Patentansprüche

1. Verfahren zum Befüllen eines Behälters mit einem Füllprodukt in einer mindestens zwei parallel zueinander geschaltete Füllventile (12) als Regelventile aufweisenden Füllproduktabfüllanlage, mit den Schritten:

- Ermitteln einer Funktion des Volumenstroms $q(t, \Delta p_V)$ für mindestens zwei der parallel geschalteten Füllventile (12) in Abhängigkeit von einem über die parallel geschalteten Füllventile (12) abfallenden Differenzdruck Δp_V ;
- Ermitteln des Differenzdrucks Δp_V über alle parallel geschalteten Füllventile (12);
- Berechnen des Volumenstroms $q(t, \Delta p_V)$ durch mindestens eines der parallel geschalteten Füllventile (12) auf Basis des ermittelten Differenzdrucks Δp_V ; und
- Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils (12) in Abhängigkeit von dem berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_V)$, wobei das Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils (12) eine Kompensation der Öffnungsstellung des Füllventils (12) bei sich änderndem Differenzdruck Δp_V anhand des berechneten aktuellen Volumenstroms $q(t, \Delta p_V)$ umfasst.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regeln und/oder Steuern des Füllventils (12) das Ansteuern einer Öffnungsstellung des Füllventils (12) anhand des aktuellen Volumenstroms $q(t, \Delta p_V)$ umfasst.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils (12) unter Berücksichtigung eines vorgegeben Volumenstromprofils zur Befüllung des zu befüllenden Behälters mit dem Füllprodukt durchgeführt wird.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils (12) in Abhängigkeit von dem berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_V)$ nur zu Beginn und/ oder am Ende des jeweiligen Abfüllbetriebs durchgeführt wird, bevorzugt bis ein eingeschwungenes Gleichgewicht an gleichzeitig geöffneten Füllventilen (12) erreicht wird.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regeln und/oder Steuern des mindestens einen Füllventils (12) in Abhängigkeit von dem berechneten Volumenstrom $q(t, \Delta p_V)$ nur durchgeführt wird, wenn die resultierende Regelung und/oder Steuerung eine vorgegebene Schwelle überschreitet.

6. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funktion des Volumenstroms $q(t, \Delta p_v)$ in Abhängigkeit von dem Differenzdruck Δp_v durch

$$q(t, \Delta p_v) = \begin{cases} q_\infty \cdot \tanh\left(\frac{\Delta p_v}{q_\infty \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arctanh}\left(\frac{q_0}{q_\infty}\right)\right), & \text{falls } q_0 < q_\infty \\ q_\infty \cdot \coth\left(\frac{\Delta p_v}{q_\infty \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arccoth}\left(\frac{q_0}{q_\infty}\right)\right), & \text{falls } q_0 > q_\infty \\ q_0, & \text{falls } q_0 = q_\infty \end{cases}$$

gegeben ist, wobei

$$q_\infty = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\rho}}$$

der Volumenstrom durch das Füllventil (12) im eingeschwungenen Zustand ist.

Claims

1. Method for filling a container with a filling product in a filling-product filling system having at least two filling valves (12) connected in parallel with one another as control valves, the method having the steps of:
 - determining a function of the volume flow $q(t, \Delta p_v)$ for at least two of the filling valves (12) connected in parallel depending on a differential pressure Δp_v decreasing across the filling valves (12) connected in parallel;
 - determining the differential pressure Δp_v decreasing across all filling valves (12) connected in parallel;
 - calculating the volume flow $q(t, \Delta p_v)$ through at least one of the filling valves (12) connected in parallel on the basis of the differential pressure Δp_v determined; and
 - regulation and/or control of the at least one filling valve (12) depending on the calculated volume flow $q(t, \Delta p_v)$, wherein the the regulation and/or control of the at least one filling valve (12) comprises compensation of the opening position of the filling valve (12) in the event of varying differential pressure Δp_v based on the calculated current volume flow $q(t, \Delta p_v)$.
2. Method according to claim 1, **characterised in that** the the regulation and/or control of the filling valve (12) comprises the adjustment of an opening position of the filling valve (12) based on the current volume flow $q(t, \Delta p_v)$.
3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the the regulation and/or control of the at least one filling valve (12) is carried out taking into account a predetermined volume-flow profile for filling the container to be filled with the filling product.
4. Method according to any of claims 1 to 3, **characterised in that** the the regulation and/or control of the at least one filling valve (12) is carried out depending on the calculated volume flow $q(t, \Delta p_v)$ only at the start and/or end of the respective filling operation, preferably until a steady-state equilibrium is reached at simultaneously opened filling valves (12).
5. Method according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the the regulation and/or control of the at least one filling valve (12) is carried out depending on the calculated volume flow $q(t, \Delta p_v)$ only when the resulting regulation and/or control exceeds a predetermined threshold.
6. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the function of the volume flow $q(t, \Delta p_v)$ is given depending on the differential pressure Δp_v by

$$q(t, \Delta p_v) = \begin{cases} q_{\infty} \cdot \tanh\left(\frac{\Delta p_v}{q_{\infty} \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arctanh}\left(\frac{q_0}{q_{\infty}}\right)\right), & \text{if } q_0 < q_{\infty} \\ q_{\infty} \cdot \coth\left(\frac{\Delta p_v}{q_{\infty} \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arccoth}\left(\frac{q_0}{q_{\infty}}\right)\right), & \text{if } q_0 > q_{\infty} \\ q_0, & \text{if } q_0 = q_{\infty} \end{cases}$$

wherein

$$q_{\infty} = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\rho}}$$

is the volume flow through the filling valve (12) in a steady state.

Revendications

1. Procédé de remplissage d'un récipient avec un produit de remplissage dans une installation de remplissage de produit de remplissage présentant au moins deux soupapes de remplissage (12) montées parallèlement l'une à l'autre comme soupapes de régulation, avec les étapes :

- le calcul d'une fonction du courant volumique $q(t, \Delta p_v)$ pour au moins deux des soupapes de remplissage (12) montées parallèlement en fonction d'une pression différentielle Δp_v diminuant par le biais des soupapes de remplissage (12) montées parallèlement ;
- le calcul de la pression différentielle Δp_v par le biais de toutes les soupapes de remplissage (12) montées parallèlement ;
- le calcul du courant volumique $q(t, \Delta p_v)$ à travers au moins une des soupapes de remplissage (12) montées parallèlement sur la base de la pression différentielle calculée Δp_v ; et
- la régulation et/ou la commande d'au moins une soupape de remplissage (12) en fonction du courant volumique calculé $q(t, \Delta p_v)$, dans lequel la régulation et/ou la commande d'au moins une soupape de remplissage (12) comporte une compensation de la position d'ouverture de la soupape de remplissage (12) en cas de pression différentielle Δp_v se modifiant à l'aide du courant volumique actuel calculé $q(t, \Delta p_v)$.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la régulation et/ou la commande de la soupape de remplissage (12) comporte la commande d'une position d'ouverture de la soupape de remplissage (12) à l'aide du courant volumique actuel $q(t, \Delta p_v)$.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la régulation et/ou la commande d'au moins une soupape de remplissage (12) est réalisée en tenant compte d'un profil de courant volumique prédéfini pour le remplissage du récipient à remplir avec le produit de remplissage.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la régulation et/ou la commande d'au moins une soupape de remplissage (12) est réalisée en fonction du courant volumique calculé $q(t, \Delta p_v)$ seulement au début et/ou à la fin du mode de remplissage respectif, de préférence jusqu'à ce qu'un équilibre stabilisé soit atteint au niveau des soupapes de remplissage (12) ouvertes simultanément.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la régulation et/ou la commande d'au moins une soupape de remplissage (12) est réalisée en fonction du courant volumique $q(t, \Delta p_v)$ calculé seulement si la régulation et/ou la commande résultante dépasse un seuil prédéfini.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la fonction du courant volumique $q(t, \Delta p_v)$ est donnée en fonction de la pression différentielle Δp_v .

$$q(t, \Delta p_v) = \begin{cases} q_{\infty} \cdot \tanh\left(\frac{\Delta p_v}{q_{\infty} \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arctanh}\left(\frac{q_0}{q_{\infty}}\right)\right), & \text{si } q_0 < q_{\infty} \\ q_{\infty} \cdot \coth\left(\frac{\Delta p_v}{q_{\infty} \cdot L_h} \cdot t + \operatorname{arccoth}\left(\frac{q_0}{q_{\infty}}\right)\right), & \text{si } q_0 > q_{\infty} \\ q_0, & \text{si } q_0 = q_{\infty} \end{cases}$$

, dans lequel

$$q_{\infty} = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\rho}}$$

est le courant volumique par la soupape de remplissage (12) dans l'état stabilisé.

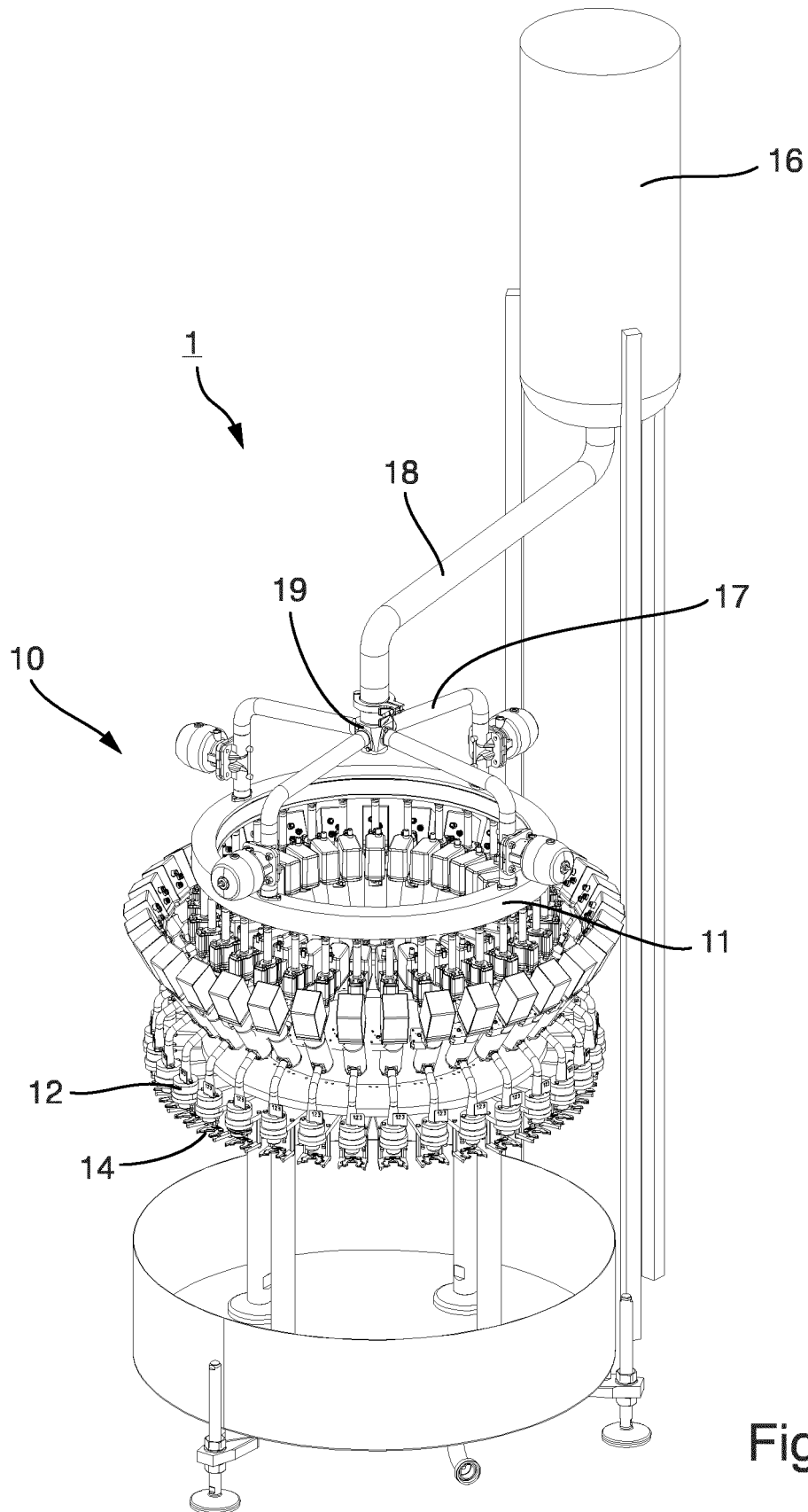


Fig. 1

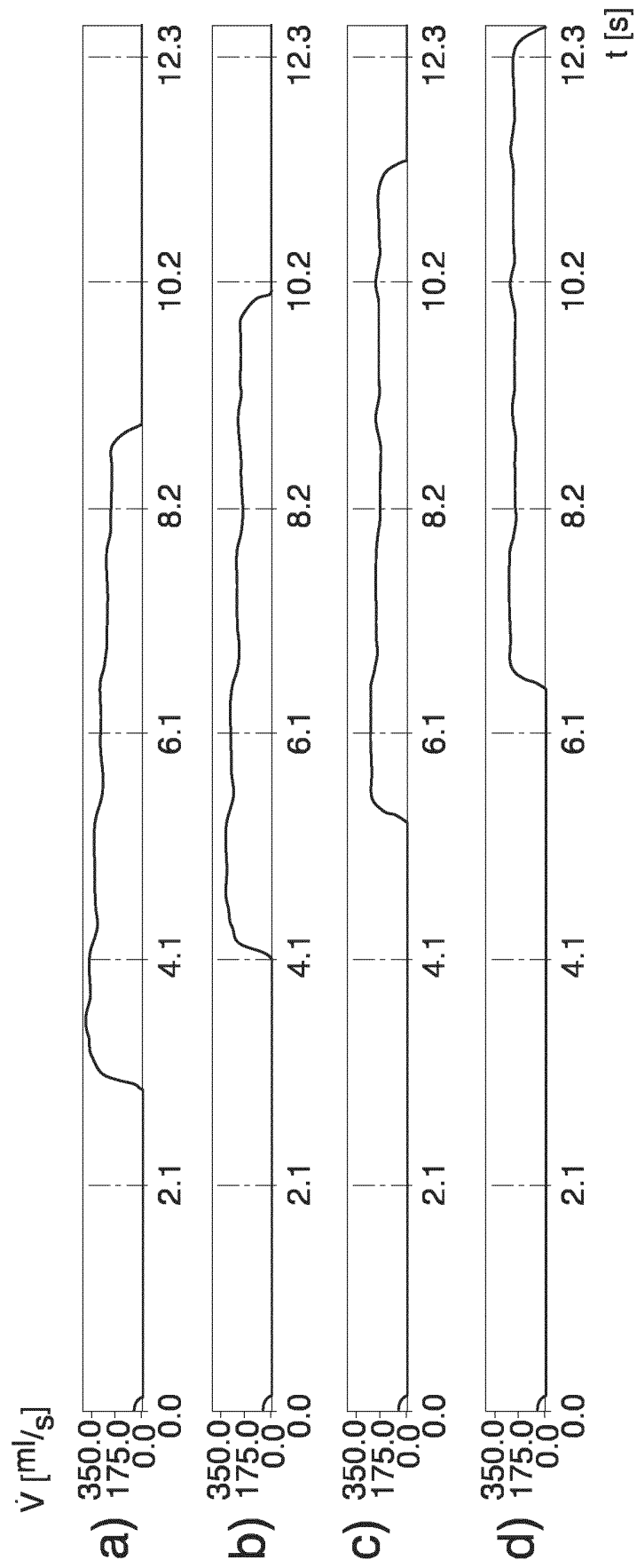


Fig. 2

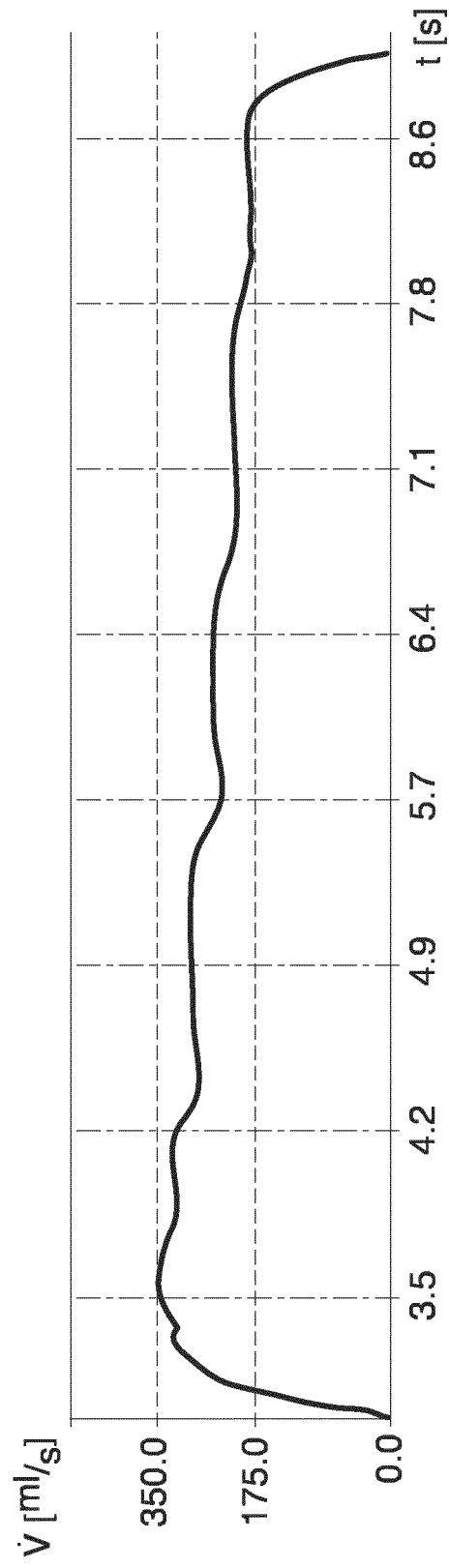


Fig. 3

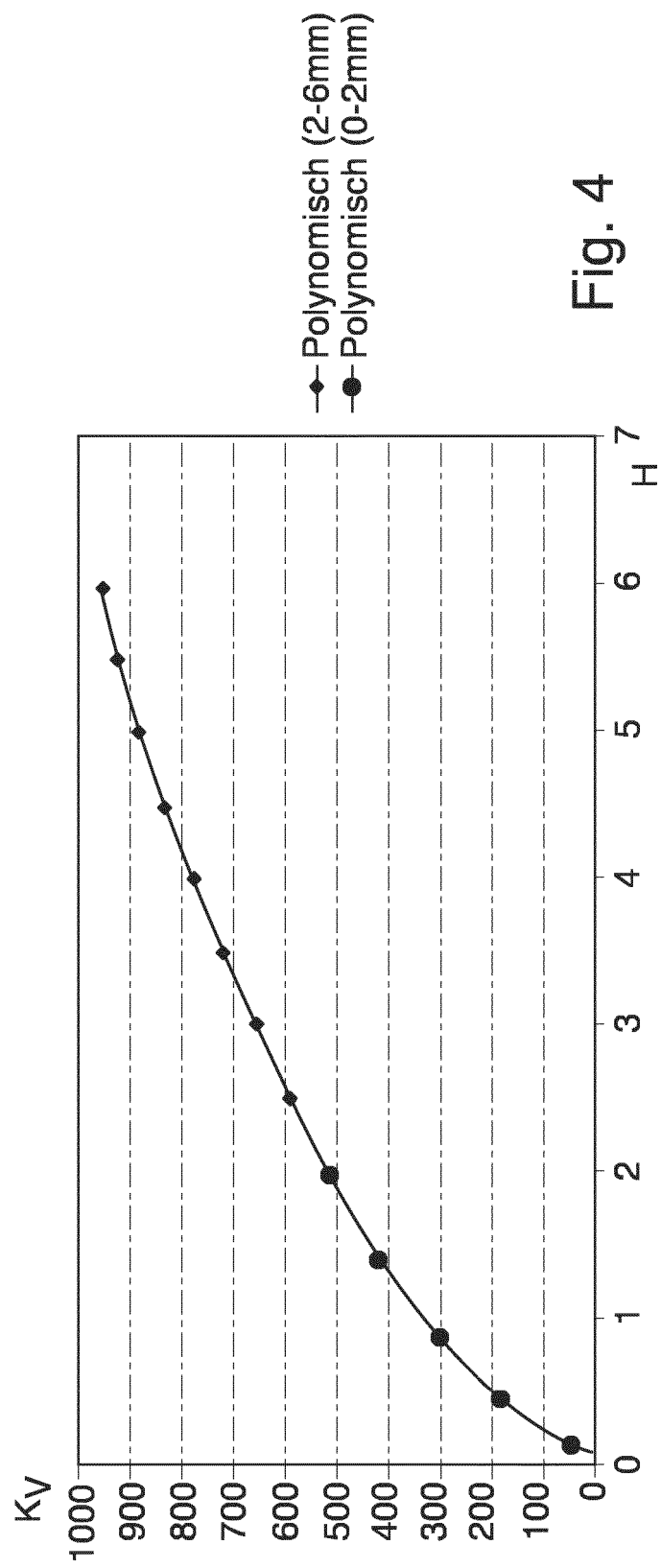


Fig. 4

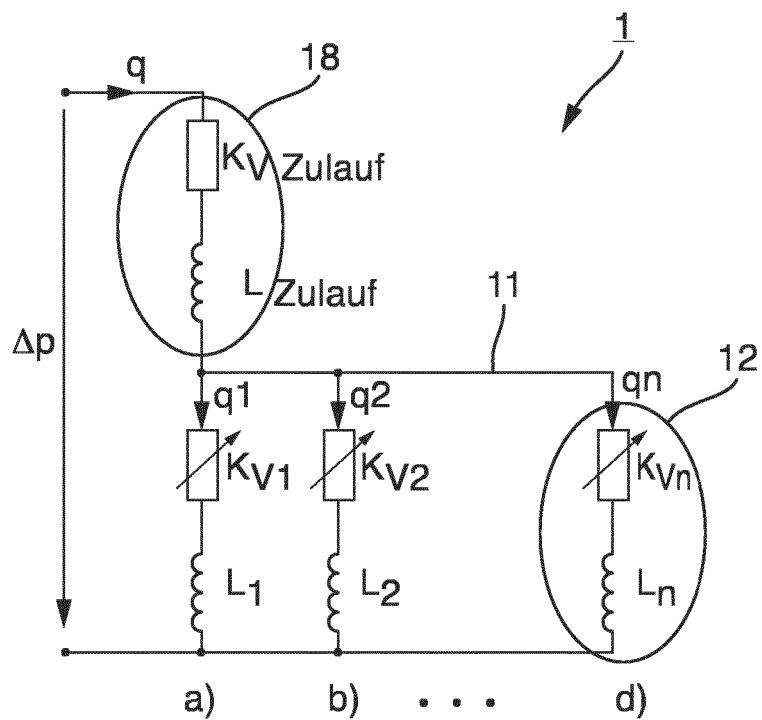


Fig. 5

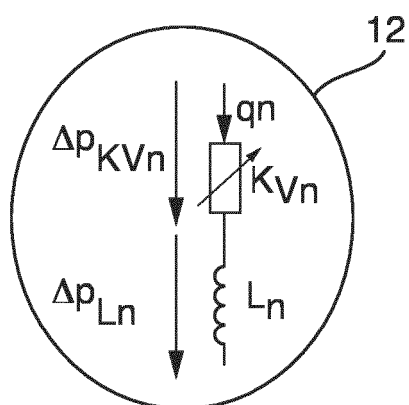


Fig. 6

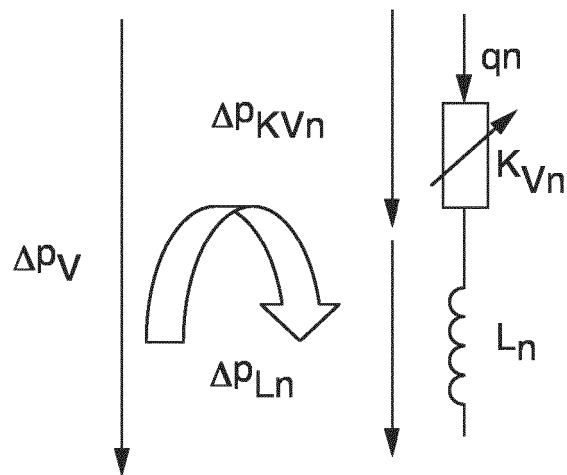


Fig. 7

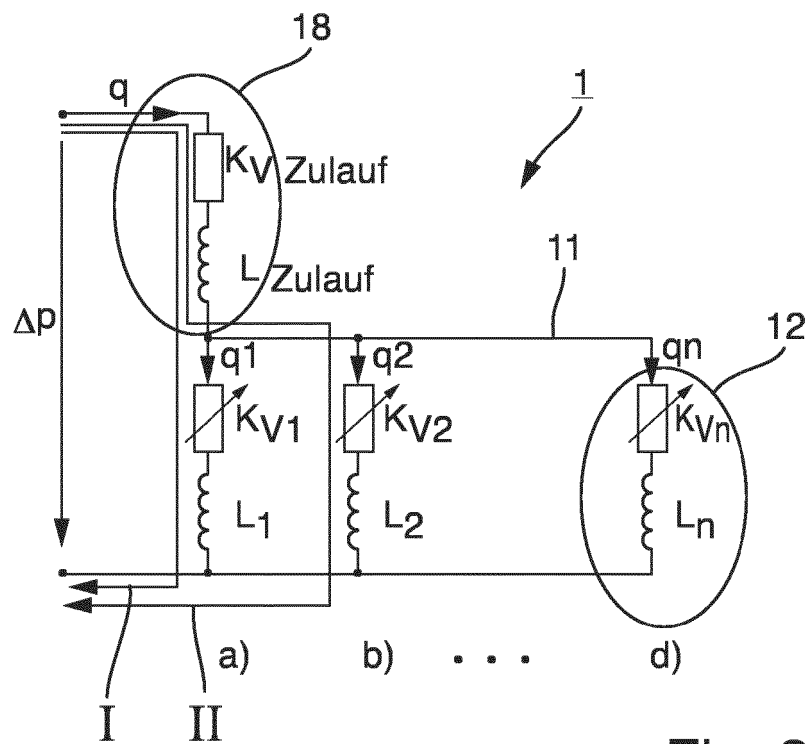


Fig. 8

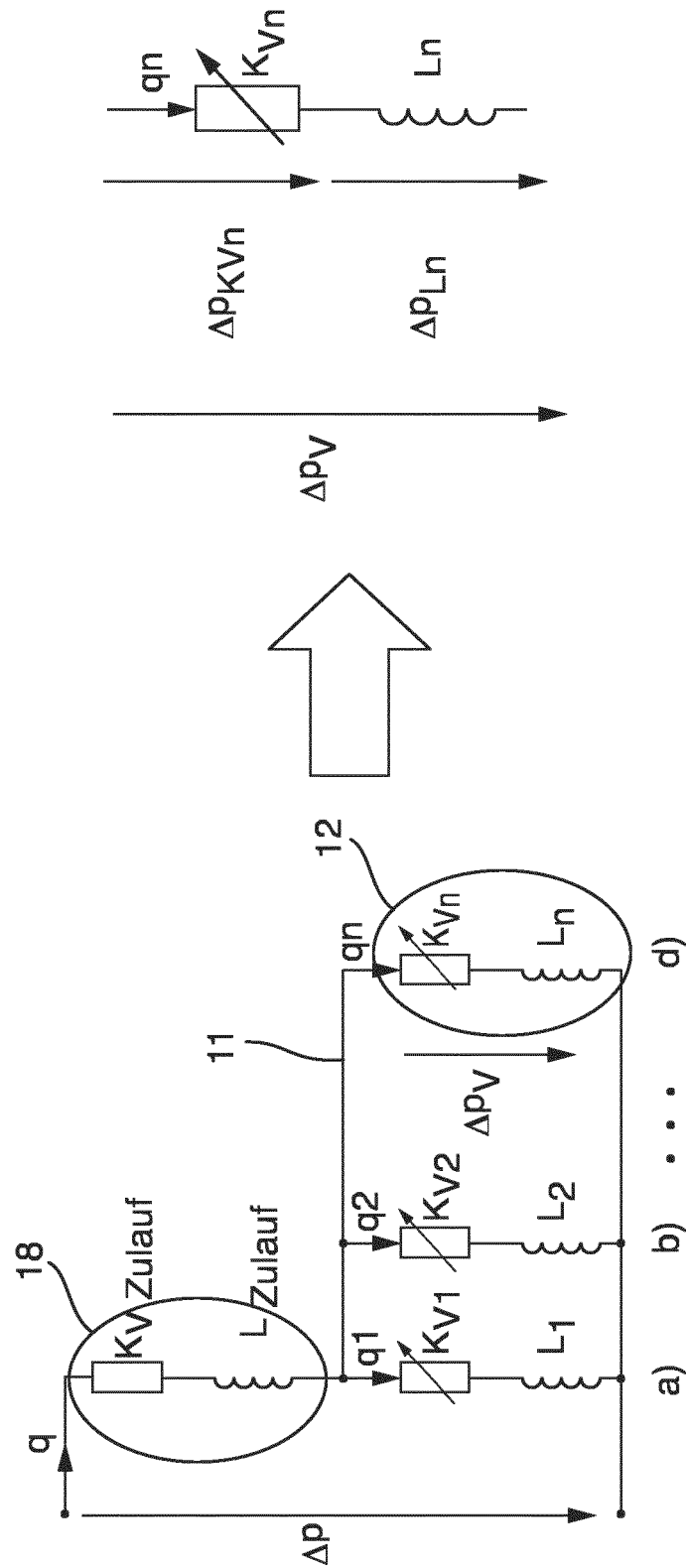


Fig. 9

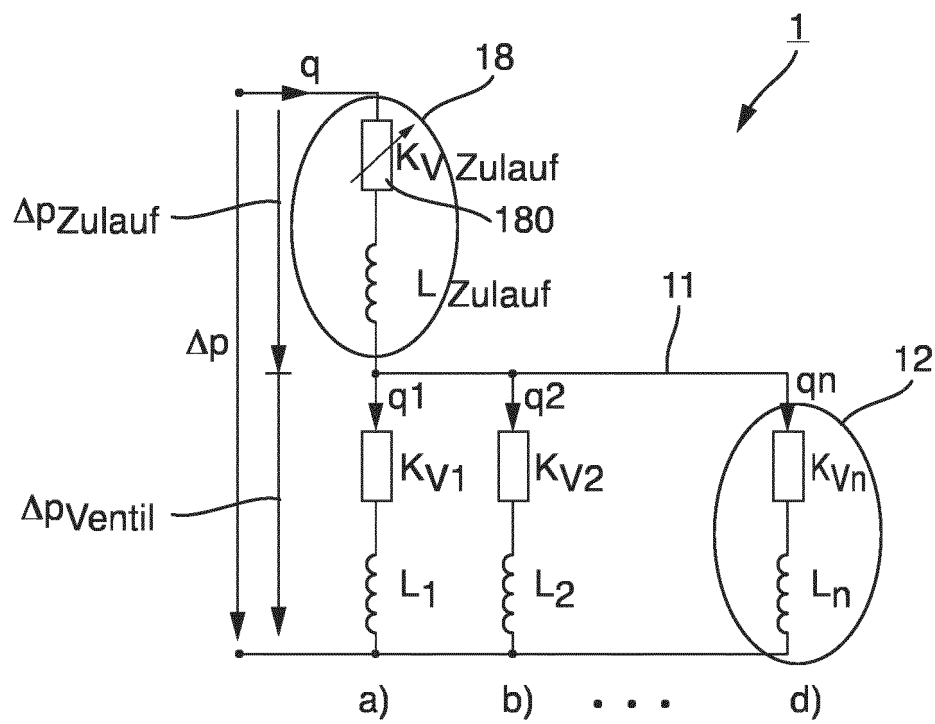


Fig. 10

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2695846 A1 [0010]
- WO 9700224 A1 [0011]
- EP 1127835 A1 [0011]