

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 898 112 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**05.11.2003 Patentblatt 2003/45**

(51) Int Cl.7: **F17D 1/04**, F17D 3/18

(21) Anmeldenummer: **97810570.8**

(22) Anmeldetag: **15.08.1997**

(54) **Rohrleitungssystem zur gesteuerten Verteilung eines strömenden Mediums sowie Verfahren zum Betrieb eines solchen Rohrleitungssystems**

Pipeline system for the controlled distribution of a fluid and method for the operation of such a system

Système de conduites pour la distribution réglée d'un fluide et procédé pour faire fonctionner un tel système

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE GB**

(72) Erfinder: **Hepner, Stephan, Dr.**  
**5628 Althäusern (CH)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**24.02.1999 Patentblatt 1999/08**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A- 0 576 819**

**EP-A- 0 669 287**

**US-A- 4 662 798**

**US-A- 4 839 571**

**US-A- 5 583 302**

(73) Patentinhaber: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**  
**5401 Baden (CH)**

**EP 0 898 112 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rohrleitungssystem zur Verteilung eines strömenden Mediums, umfassend eine Hauptleitung, welche sich an einem Verzweigungspunkt in eine Mehrzahl von Zweigleitungen verzweigt, in jeder der Zweigleitungen eine veränderbare Drosselstelle, mit welcher der Massenstrom in jeder der Zweigleitungen einstellbar ist, sowie zu jeder Drosselstelle eine erste Druckmesseinrichtung, mit welcher der Druckabfall des strömenden Mediums an der jeweiligen Drosselstelle gemessen wird.

**[0002]** Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Rohrleitungssystems.

**STAND DER TECHNIK**

**[0003]** In der Kraftwerkstechnik oder auch anderen Anwendungsgebieten besteht häufig die Aufgabe, eine Vielzahl von Verbrauchern mit einem Massenstrom eines kompressiblen oder inkompressiblen Mediums (z.B. Kühlwasser, Dampf, Öl oder dgl.) zu versorgen. Das dazu verwendete Versorgungssystem besteht typischerweise aus einem Netz von Rohrleitungen, welches sich durch Verzweigungspunkte (Knotenpunkte) auszeichnet, an denen sich eine Hauptleitung (ein Hauptstrom des Mediums) in zwei oder mehr Zweigleitungen (Zweigströme) verzweigt, welche zu den einzelnen Verbrauchern oder Gruppen von Verbrauchern führen. In vielen Fällen ist es dabei notwendig, dass der Massenstrom in jeder einzelnen Zweigleitung gemäss den Anforderungen des oder der Verbraucher(s) gesteuert wird. Dazu kann beispielsweise in der Zweigleitung ein Steuerventil angeordnet sein, dessen Hub so eingestellt ist, dass der gewünschte Massenstrom durch das Ventil hindurchströmt.

**[0004]** Eine einfacher Art und Weise, den Massenstrom des Mediums durch ein Steuerventil zu steuern, besteht darin, den Ventilhub zu berechnen, der zur Verwirklichung des vorgegebenen Massenstroms benötigt wird. Die Berechnung des Ventilhubes basiert typischerweise auf dem am Steuerventil gemessenen Druckverlust (Druckabfall), der Charakteristik des Ventils und den Eigenschaften des Mediums. Im einfachsten Fall ergibt sich dann (z.B. für das Brennstoffversorgungssystem einer industriellen Gasturbine) ein Rohrleitungssystem, wie es in Fig. 1 wiedergegeben ist. Im Rohrleitungssystem 10 der Fig. 1 verzweigt sich eine Hauptleitung 11 an einem Verzweigungspunkt 12 in (beispielsweise) drei Zweigleitungen 13, 14 und 15. In jeder der Zweigleitungen 13, 14, 15 ist ein Ventil V1 bzw. V2 bzw. V3 vorgesehen, mittels dessen der Massenfluss durch die jeweilige Zweigleitung eingestellt (gesteuert) werden kann. Parallel zum Ventil V1, V2, V3 ist jeweils eine Druckmesseinrichtung PM1 bzw. PM2 bzw. PM3 angeordnet, die den Druckabfall am Ventil misst.

**[0005]** Wird der Ventilhub der Ventile V1,...,V3 mit  $h$  bezeichnet, so ist  $h$  eine Funktion der Ventilcharakteristik  $K_V$ , nämlich

$$(1) \quad h = h(K_V).$$

**[0006]** Für ein kompressibles Medium (z.B. das Brenngas für die Gasturbine) ergibt sich die Grösse  $K_V$  für unterkritische Strömungsverhältnisse zu

$$(2) \quad K_V = \alpha (dm/dt) [T_M / (p_M - \Delta p)]^{1/2} [1/\Delta p]^{1/2},$$

mit der Konstante  $\alpha$ , dem Massenstrom  $dm/dt$ , dem Druck  $p_M$  und der Temperatur  $T_M$  am Verzweigungspunkt 12 bzw. in der Hauptleitung 11, und dem Druckabfall  $\Delta p$  am Ventil. Für einen vorgegebenen Massenstrom  $dm/dt$  lässt sich die Grösse  $K_V$  aufgrund der gemessenen Grössen  $T_M$ ,  $p_M$  und  $\Delta p$  nach Gleichung (2) bestimmen. Aus der vorgegebenen Ventilcharakteristik  $K_V(h)$  kann daraus der Ventilhub berechnet werden. Eine vergleichbare Bestimmung kann auch für inkompressible Medien durchgeführt werden.

**[0007]** Die wichtigste Grösse für die Berechnung des Ventilhubes ist der an den Ventilen V1,...,V3 gemessene Druckabfall. Wenn diese Messung fehlerhaft wird, führt dies zu einem nicht akzeptierbaren Ausfall des Versorgungssystems (und im Fall einer Gasturbine zu einer Schnellabschaltung) oder sogar (z.B. im Fall eines Kühlwassersystems) zu einem Sicherheitsrisiko. Es ist daher in vielen Fällen wünschenswert, die Messung des Druckabfalls an den Ventilen V1,...,V3 redundant auszuführen, so dass ein Fehler bei einer einzelnen Messung des Druckabfalls  $\Delta p$  den fortlaufenden, sicheren Betrieb der Anlage nicht berührt oder beeinträchtigt (Verfügbarkeits-Erfordernis bzw. Availability Requirement AR).

**[0008]** Der Zweck eines Redundanz-Konzeptes ist ein zweifacher: (1) Das Auftreten eines Messfehlers soll erkannt und die fehlerhafte Messeinrichtung bzw. der fehlerhafte Messkanal sollen identifiziert werden. (2) Die (nicht) brauchbaren Messwerte sollen durch redundant ermittelte Messwerte ersetzt werden.

**[0009]** Es sind dabei zwei grundsätzliche Fehlerarten zu berücksichtigen:

**[0010]** Gemeldete Fehler (Notified Failure NF): Diese Fehlerart umfasst alle Fehler, die vom Sender oder einer anderen I/O-Einrichtung durch ein Bad-Data-Quality(BDQ)-Signal an das Steuerungssystem gemeldet werden. Aufgrund des BDQ-Signals weiss das Steuerungssystem, welche  $\Delta p$ -Messung fehlerhaft ist. Dies passiert typischerweise, wenn eine Messleitung unterbrochen ist oder ein Fehler in einer Komponente in der Messkette auftritt.

**[0011]** Drift in der Messung: Diese Fehlerart beschreibt die schleichende Verschlechterung des Messsignals, so dass die übertragene Information nicht länger eine gültige Messung des Druckabfalls ist. Sie kann nicht detektiert werden und wird dementsprechend auch nicht an das Steuerungssystem gemeldet. Es müssen daher andere Wege beschritten werden, um diese Fehlerart zu handhaben.

**[0012]** Die redundante Messung des Druckabfalls kann gemäss Fig. 2 mit einer zweifachen Redundanz durchgeführt werden. Im Fall der zweifachen Redundanz ist pro Ventil neben der bereits vorhandenen Druckmesseinrichtung PM1,..., PM3 jeweils eine zweite Druckmesseinrichtung PM4,...,PM6 parallel angeordnet. Ist eine der beiden Druckmessungen (pro Ventil) fehlerhaft, kann auf die andere Druckmessung umgeschaltet werden. Dies ist jedoch nur möglich für gemeldete Fehler, bei denen die fehlerhafte Messung durch das BDQ-Signal detektiert werden kann. Eine Drift der Messung dagegen kann durch die zweifache Redundanz nicht beherrscht werden, weil bei nur zwei unabhängigen Messungen pro Ventil nicht entschieden werden kann, welche der beiden Messungen gestört ist (bzw. driftet).

**[0013]** Zur Ueberwindung dieses Problems kann die redundante Messung des Druckabfalls gemäss Fig. 3 mit einer dreifachen Redundanz durchgeführt werden. Im Fall der dreifachen Redundanz ist pro Ventil neben der bereits vorhandenen Druckmesseinrichtung PM1,...,PM3 jeweils eine zweite Druckmesseinrichtung PM4,...,PM6 und eine dritte Druckmesseinrichtung PM7,...,PM9 parallel angeordnet. Zur Bestimmung der fehlerhaften Messung bei einer Drift wird das 2-aus-3-Wahl-Prinzip angewendet. Beim 2-aus-3-Wahl-Prinzip wird angenommen, dass, wenn 2 von 3 Messkanälen dieselben Messwerte liefern, diese Messkanäle fehlerfrei arbeiten, während der dritte Messkanal fehlerbehaftet ist.

**[0014]** Sowohl bei der in Fig. 2 dargestellten zweifachen Redundanz als auch insbesondere bei der in Fig. 3 dargestellten dreifachen Redundanz ergibt sich der Nachteil, dass sehr viele unabhängige Druckmesseinrichtungen PM1,..., PM6 bzw. PM1,...,PM9 eingesetzt werden müssen, was insbesondere bei der dreifachen Redundanz mit 3 Druckmesseinrichtungen pro Zweigleitung zu einem erheblichen Aufwand führt.

#### DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Rohrleitungssystem der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass eine erhöhte Fehlertoleranz bei vergleichsweise geringem Zusatzaufwand bei der Messwerterfassung erreicht wird.

**[0016]** Die Aufgabe wird bei einem Rohrleitungssystem der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass zum Erreichen einer Redundanz in der Druckmessung zumindest zwischen zwei der Zweigleitungen in Strömungsrichtung hinter den Drosselstellen eine zweite Druckmesseinrichtung zur Messung des Differenzdruckes zwischen den jeweiligen Zweigleitungen angeordnet ist. Durch das Hinzufügen der zweiten Druckmesseinrichtung in der angegebenen Weise wird für die Messung des Druckabfalls an den Drosselstellen der beiden betroffenen Zweigleitungen eine zweifache Redundanz erreicht. Die drei Druckmesseinrichtungen messen die Differenzen zwischen insgesamt drei Drücken (dem Druck in der Hauptleitung und den Drücken in den beiden Zweigleitungen hinter den Drosselstellen), wobei jeder der drei Drücke jeweils von zwei Druckmesseinrichtungen als Referenzwert genommen wird. Bei einer fehlerfreien Messung sind daher die drei Messwerte der drei Druckmesseinrichtungen linear abhängig: die Summe der Messwerte muss (bei richtiger Wahl der Vorzeichen) gleich Null sein. Jeder Druckmesswert für eine Zweigleitung lässt sich daher auf zwei verschiedene Weisen (zweifach redundant) ermitteln: Einmal als direkter Messwert der zugehörigen ersten Druckmesseinrichtung, und zum anderen aus der Summe der Messwerte der beiden anderen Druckmesseinrichtungen. Durch die Erfindung lässt sich so mit drei Druckmesseinrichtungen für zwei Zweigleitungen eine zweifache Redundanz verwirklichen, während bei Anwendung des Schemas aus Fig. 2 vier Druckmesseinrichtungen nötig wären.

**[0017]** Soll die zweifache Redundanz für alle Zweigleitungen verwirklicht werden, ist gemäss einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zwischen jeder Zweigleitung und je einer anderen Zweigleitung eine zweite Druckmesseinrichtung zur Messung des Differenzdruckes zwischen den jeweiligen Zweigleitungen angeordnet. Bei n Zweigleitungen werden so n-1 Druckmesseinrichtungen benötigt.

**[0018]** Noch deutlicher wird die Einsparung, wenn mit dem Prinzip der Erfindung die dreifache Redundanz erzielt werden soll. Gemäss einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird dies dadurch erreicht, dass zwischen jeder Zweigleitung und je zwei weiteren Zweigleitungen jeweils eine zweite Druckmesseinrichtung zur Messung des Differenzdruckes zwischen den jeweiligen Zweigleitungen angeordnet ist.

**[0019]** Das erfindungsgemässe Verfahren zum Betrieb des Rohrleitungssystems zeichnet sich dadurch aus, dass für jedes Paar von Zweigleitungen die zugehörigen ersten Druckmesseinrichtungen und die zwischen dem Paar von Zweigleitungen angeordnete zweite Druckmesseinrichtung jeweils zu einer Gruppe zusammengefasst werden, wobei bei ordnungsgemässer Funktion der Druckmesseinrichtungen für jede Gruppe von Druckmesseinrichtungen die Sum-

me der Druckmesswerte gleich Null ist, und dass, wenn innerhalb einer Gruppe eine der ersten Druckmesseinrichtungen ausfällt, der zugehörige Druckmesswert aus den Druckmesswerten der beiden anderen Druckmesseinrichtungen der Gruppe bestimmt wird.

**[0020]** Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass jede erste Druckmesseinrichtung jeweils in zwei Gruppen von Druckmesseinrichtungen vertreten ist, und dass die Druckmesswerte aus der ersten Druckmesseinrichtung als fehlerhaft behandelt werden, wenn die aus den beiden anderen Druckmesseinrichtungen jeder der beiden Gruppen bestimmten zugehörigen Druckmesswerte untereinander, jedoch nicht mit den von der ersten Druckmesseinrichtung abgegebenen Druckmesswerten übereinstimmen.

**[0021]** Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

#### KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

**[0022]** Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden.

Es zeigen

Fig. 1 ein Rohrleitungssystem mit drei Zweigleitungen nach dem Stand der Technik mit einer Druckmesseinrichtung pro Drosselstelle (Ventil);

Fig. 2 das System aus Fig. 1 mit zwei Druckmesseinrichtungen pro Drosselstelle (Ventil) zum Erreichen einer zweifachen Redundanz;

Fig. 3 das System aus Fig. 1 mit drei Druckmesseinrichtungen pro Drosselstelle (Ventil) zum Erreichen einer dreifachen Redundanz; und

Fig. 4 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung, welches ein Rohrleitungssystem gemäss Fig. 1 zugrunde legt und im Unterschied zu Fig. 3 die dreifache Redundanz durch (wenige) zusätzliche Druckmesseinrichtungen zwischen den Zweigleitungen erreicht.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

**[0023]** In Fig. 4 ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Rohrleitungssystems wiedergegeben, welches bei einer Hauptleitung und drei Zweigleitungen die dreifache Redundanz mit nur drei zusätzlichen Druckmesseinrichtungen ermöglicht. Das Rohrleitungssystem 10 umfasst eine Hauptleitung 11, welche sich am Verzweigungspunkt 12 in die drei Zweigleitungen 13, 14 und 15 verzweigt. In jeder der Zweigleitungen ist als steuerbare Drosselstelle ein Ventil V1, V2 und V3 eingebaut. Der Druckabfall (Druckverlust) an den Ventilen V1, V2, V3 wird zunächst direkt durch eine parallel zum Ventil angeordnete erste Druckmesseinrichtung PM1 bzw. PM2 bzw. PM3 gemessen. Dazu können - wie in den Figuren gezeigt - auf beiden Seiten des Ventils von der Zweigleitung Rohrleitungen zu den Druckmesseinrichtungen geführt werden. Es ist aber auch genauso gut denkbar, Druckaufnehmer direkt an den Zweigleitungen vor und hinter dem Ventil anzuordnen und Signalleitungen von den Druckaufnehmern zu der eigentlichen Druckmesseinrichtung zu führen. Insoweit ist das System aus Fig. 4 direkt vergleichbar mit dem System aus Fig. 1.

**[0024]** Im Unterschied zu Fig. 1 (und auch Fig. 3) sind im Beispiel der Fig. 4 drei zweite Druckmesseinrichtungen PM10, PM11 und PM12 vorhanden, die jeweils hinter den Ventilen V1, V2 und V3 zwischen den Zweigleitungen angeordnet sind und die Druckdifferenz zwischen jeweils zwei der Zweigleitungen 13, 14 und 15 messen. Die Druckmesseinrichtungen PM1, PM2 und PM3 messen also den Druckabfall  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  und  $\Delta p_3$  an den Ventilen V1, V2 und V3. Die Druckmesseinrichtungen PM10, PM11 und PM12 messen die Differenzdrücke  $\Delta p_{10}$ ,  $\Delta p_{11}$  und  $\Delta p_{12}$  zwischen den Zweigleitungspaaren 13/14, 13/15 und 14/15. Da der Druck vor den Ventilen V1, V2 und V3 in allen Zweigleitungen gleich sein muss, sind die Differenzdrücke nicht linear unabhängig, sondern müssen (entsprechend der Maschen- und Knotenregel bei elektrischen Netzwerken) den folgenden Gleichungen genügen:

$$(3) \quad c_1 = \Delta p_1 + \Delta p_{10} - \Delta p_2 = 0$$

$$(4) \quad c_2 = \Delta p_2 + \Delta p_{12} - \Delta p_3 = 0$$

$$(5) \quad c3 = \Delta p3 - \Delta p11 - \Delta p1 = 0$$

$$(6) \quad c4 = \Delta p11 - \Delta p10 - \Delta p12 = 0$$

**[0025]** Diese Gleichungen definieren Bedingungen (constraints c1 bis c4), aus denen die redundanten Druckinformationen abgeleitet werden können. So kann z.B. die Druckdifferenz (der Druckabfall)  $\Delta p1$  am Ventil V1 in der Zweigleitung 13 auf drei verschiedene Weisen unabhängig voneinander bestimmt werden, nämlich (i) direkt durch die Druckmesseinrichtung PM1, (ii) indirekt durch die Druckmesseinrichtungen PM2 und PM10 mit Hilfe der Gleichung (3), und (iii) indirekt durch die Druckmesseinrichtungen PM3 und PM11 mit Hilfe der Gleichung (5). Entsprechendes gilt für die Druckabfälle an den anderen Ventilen V2 und V3.

**[0026]** Solange die Druckmesseinrichtungen und die zugehörigen Kanäle ordnungsgemäss arbeiten, sind die Gleichungen (3) bis (6) und die damit verbundenen Bedingungen erfüllt, d.h.,  $c1=c2=c3=c4=0$ . Sobald eine Druckmessung fehlerhaft ist, sind ein oder mehrere der constraints c1 bis c4  $\neq 0$  und die damit verbundenen Bedingungen verletzt. Ist beispielsweise die Druckmessung von  $\Delta p1$  fehlerhaft, gilt  $c1 \neq 0$  und  $c3 \neq 0$ . Man kann für die verschiedenen Fälle, in denen eine fehlerhafte Druckmessungen zur Verletzung bestimmter Bedingungen führt, die folgende systematische logische Tabelle aufstellen:

Tabelle

| Bedingung                                       | $\Delta p1$ | $\Delta p2$ | $\Delta p3$ | $\Delta p10$ | $\Delta p11$ | $\Delta p12$ |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| $c1 = \Delta p1 + \Delta p10 - \Delta p2 = 0$   | 1           | 1           | 0           | 1            | 0            | 0            |
| $c2 = \Delta p2 + \Delta p12 - \Delta p3 = 0$   | 0           | 1           | 1           | 0            | 0            | 1            |
| $c3 = \Delta p3 - \Delta p11 - \Delta p1 = 0$   | 1           | 0           | 1           | 0            | 1            | 0            |
| $c4 = \Delta p11 - \Delta p10 - \Delta p12 = 0$ | 0           | 0           | 0           | 1            | 1            | 1            |

**[0027]** Jede der Bedingungen  $c_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$  definiert eine Zeile einer Matrix und jede Druckmessung  $\Delta p_j$ ,  $j = 1, \dots, 3, 10, \dots, 12$  definiert eine Spalte der Matrix. Für eine fehlerhafte Druckmessung  $\Delta p_j$  ist die Verletzung der Bedingung  $c_i$  durch ein Matrixelement "1" in der j-ten Spalte und der i-ten Zeile angezeigt. Nicht verletzte Bedingungen werden entsprechend durch ein Matrixelement "0" angezeigt. Ist wie im o.g. Beispiel die Messung von  $\Delta p1$  fehlerhaft, werden nach der Tabelle die Bedingungen c1 und c3 verletzt (Matrixelemente sind "1"). Die Bedingungen c2 und c4 sind von diesem Fehler nicht betroffen (Matrixelemente sind "0").

**[0028]** Die angegebene Tabelle erlaubt es umgekehrt, aus den verletzten Bedingungen auf die fehlerhafte Druckmessung zu schliessen. Die fehlerhafte Messung kann dann durch Auflösung der betroffenen Gleichungen aus den anderen Druckmessungen abgeleitet werden.

Beispiel:

**[0029]** Bei den Messungen stellt sich heraus, dass die Bedingungen c2 und c3 nicht erfüllt sind ( $c2 \neq 0$ ;  $c3 \neq 0$ ). Aus der obigen Tabelle kann abgeleitet werden, dass die Druckmessung von  $\Delta p3$  fehlerhaft ist (Matrixwert "1" in der zu  $\Delta p3$  gehörenden Spalte). Der fehlende Messwert für  $\Delta p3$  kann nun über Gleichung (4) aus den Messungen von  $\Delta p2$  und  $\Delta p12$ , oder über Gleichung (5) aus den Messungen von  $\Delta p1$  und  $\Delta p11$  abgeleitet werden.

**[0030]** Die erläuterte Vorgehensweise ist dann anwendbar, wenn nur eine der Druckmessungen fehlerhaft ist. Anders liegt der Fall, wenn mehrere (zwei oder mehr) Druckmessungen gleichzeitig fehlerhaft sind. Die Zuordnung - wie sie oben in Form der Tabelle aufgestellt worden ist - ist dann nicht länger eindeutig. Es kann zwar (aufgrund einer Verletzung der Bedingungen c1 bis c4) festgestellt werden, dass fehlerhafte Druckmessungen vorliegen, es ist jedoch nicht eindeutig bestimmbar, welche der Druckmessungen fehlerhaft sind.

Beispiel:

**[0031]** Wenn die Bedingungen c1, c2 und c3 verletzt sind ( $c1 \neq 0$ ;  $c2 \neq 0$ ;  $c3 \neq 0$ ), können die Messungen von  $\Delta p1$  und  $\Delta p2$ , oder die Messungen von  $\Delta p2$  und  $\Delta p3$ , oder die Messungen von  $\Delta p1$  und  $\Delta p3$ , oder die Messungen von  $\Delta p1$ ,  $\Delta p2$  und  $\Delta p3$  fehlerhaft sein. Sind nur zwei Messungen fehlerhaft und können beispielsweise die Messungen für  $\Delta p1$  und  $\Delta p3$  durch ein entsprechendes BDQ-Signal als fehlerhaft identifiziert werden, kann  $\Delta p1$  durch Auflösung von Gleichung (3) aus  $\Delta p10$  und  $\Delta p2$ , bzw.  $\Delta p3$  durch Auflösung von Gleichung (4) aus  $\Delta p2$  und  $\Delta p12$  berechnet werden.

**[0032]** Sind gleichzeitig 3 Messungen fehlerhaft, können die fehlerhaften Messungen an den Ventilen V1, V2 und V3 nur dann rekonstruiert werden, wenn wenigstens eine der Messungen  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  und  $\Delta p_3$  fehlerfrei ist.

Beispiel:

**[0033]** Sind die Druckmessungen von  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  und  $\Delta p_{10}$  fehlerhaft, können  $\Delta p_1$  unter Verwendung der Gleichung (5) aus  $\Delta p_3$  und  $\Delta p_{11}$ , und  $\Delta p_2$  unter Verwendung von Gleichung (4) aus  $\Delta p_3$  und  $\Delta p_{12}$  berechnet werden.

**[0034]** Nur wenn  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  und  $\Delta p_3$  gleichzeitig fehlerhaft sind, können diese Werte nicht aus den anderen Messwerten berechnet werden, weil das Gleichungssystem (3) bis (6) in diesem Fall singular ist. Dies entspricht dem (physikalischen) Umstand, dass die Differenzdrücke zwischen den Zweigleitungen 13, 14, 15 für sich genommen keinerlei Informationen über die Druckabfälle an den Ventilen V1, V2 und V3 enthalten.

**[0035]** Insgesamt ermöglicht ein System nach Fig. 4 folgende Korrekturen:

(a) die Detektion und Identifizierung der fehlerhaften Druckmessung und die Ableitung des richtigen Messwertes, wenn eine einzelne Druckmessung durch eine Drift fehlerhaft wird;

(b) die Detektion der fehlerhaften Druckmessungen und die Ableitung der richtigen Messwerte nach einer Identifikation der fehlerhaften Messungen z.B. durch ein BDQ-Signal, wenn zwei beliebige Messungen gleichzeitig fehlerhaft sind; und

(c) die Detektion der fehlerhaften Druckmessungen und die Ableitung der richtigen Messwerte nach einer Identifikation der fehlerhaften Messungen z.B. durch ein BDQ-Signal, wenn drei beliebige Messungen gleichzeitig fehlerhaft sind; ausgeschlossen ist dabei der Sonderfall, dass alle drei Druckmessungen an den Ventilen gleichzeitig fehlerhaft sind.

**[0036]** Im oben besprochenen Beispiel der drei Zweigleitungen reichen 3 zusätzliche Druckmesseinrichtungen PM10, PM11 und PM12 aus, um weitgehend dieselbe Redundanz zu erhalten wie bei einem System gemäß Fig. 3. Kommen weitere Zweigleitungen hinzu, werden pro zusätzlicher Zweigleitung zwei zusätzliche Druckmesseinrichtungen benötigt, die zwischen der zusätzlichen Zweigleitung und zwei beliebigen anderen Zweigleitungen angeordnet werden. Die maximale Einsparung an Druckmesseinrichtungen gegenüber der Anordnung aus Fig. 3 ergibt sich dabei im Falle von drei Zweigleitungen.

## BEZEICHNUNGSLISTE

**[0037]**

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| 10           | Rohrleitungssystem   |
| 11           | Hauptleitung         |
| 12           | Verzweigungspunkt    |
| 13,14,15     | Zweigleitung         |
| PM1,...,PM12 | Druckmesseinrichtung |
| V1,V2,V3     | Ventil               |

## Patentansprüche

1. Rohrleitungssystem (10) zur gesteuerten Verteilung eines strömenden Mediums, umfassend eine Hauptleitung (11), welche sich an einem Verzweigungspunkt (12) in eine Mehrzahl von Zweigleitungen (13, 14, 15) verzweigt, in jeder der Zweigleitungen eine veränderbare Drosselstelle (V1, V2, V3), mit welcher der Massenstrom in jeder der Zweigleitungen (13, 14, 15) einstellbar ist, sowie zu jeder Drosselstelle (V1, V2, V3) eine erste Druckmesseinrichtung (PM1, PM2, PM3), mit welcher der Druckabfall des strömenden Mediums an der jeweiligen Drosselstelle (V1, V2, V3) gemessen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Erreichen einer Redundanz in der Druckmessung zumindest zwischen zwei der Zweigleitungen (13, 14 bzw. 13, 15 bzw. 14, 15) in Strömungsrichtung hinter den Drosselstellen (V1, V2 bzw. V1, V3 bzw. V2, V3) eine zweite Druckmesseinrichtung (PM10 bzw. PM11 bzw. PM12) zur Messung des Differenzdruckes zwischen den jeweiligen Zweigleitungen (13, 14 bzw. 13, 15 bzw. 14, 15) angeordnet ist.

2. Rohrleitungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen jeder Zweigleitung (13, 14, 15) und je einer anderen Zweigleitung (14 bzw. 13 bzw. 14) eine zweite Druckmesseinrichtung (PM10 bzw. PM12) zur Messung des Differenzdruckes zwischen den jeweiligen Zweigleitungen (13, 14 bzw. 14, 13 bzw. 15, 14) ange-

ordnet ist.

3. Rohrleitungssystem nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen jeder Zweigleitung (13, 14, 15) und je zwei weiteren Zweigleitungen (14, 15 bzw. 13, 15 bzw. 13, 14) jeweils eine zweite Druckmesseinrichtung (PM10, PM11 bzw. PM10, PM12 bzw. PM11, PM12) zur Messung des Differenzdruckes zwischen den jeweiligen Zweigleitungen (13, 14, 15) angeordnet ist.
4. Rohrleitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drosselstellen als Ventile (V1, V2, V3) ausgebildet sind.
5. Rohrleitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** drei Zweigleitungen (13, 14, 15) verwendet werden.
6. Verfahren zum Betrieb eines Rohrleitungssystems nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jedes Paar von Zweigleitungen (13, 14 bzw. 14, 15 bzw. 13, 15) die zugehörigen ersten Druckmesseinrichtungen (PM1, PM2 bzw. PM2, PM3 bzw. PM1, PM3) und die zwischen dem Paar von Zweigleitungen angeordnete zweite Druckmesseinrichtung (PM10 bzw. PM12 bzw. PM11) jeweils zu einer Gruppe zusammengefasst werden, wobei bei ordnungsgemäßer Funktion der Druckmesseinrichtungen für jede Gruppe von Druckmesseinrichtungen die Summe der Druckmesswerte gleich Null ist, und dass, wenn innerhalb einer Gruppe eine der ersten Druckmesseinrichtungen (PM1 oder PM2 bzw. PM2 oder PM3 bzw. PM1 oder PM3) ausfällt, der zugehörige Druckmesswert aus den Druckmesswerten der beiden anderen Druckmesseinrichtungen der Gruppe bestimmt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede erste Druckmesseinrichtung (PM1, PM2, PM3) jeweils in zwei Gruppen von Druckmesseinrichtungen vertreten ist, und dass die Druckmesswerte aus der ersten Druckmesseinrichtung als fehlerhaft behandelt werden, wenn die aus den beiden anderen Druckmesseinrichtungen jeder der beiden Gruppen bestimmten zugehörigen Druckmesswerte untereinander, jedoch nicht mit den von der ersten Druckmesseinrichtung abgegebenen Druckmesswerten übereinstimmen.

## Claims

1. Pipeline system (10) for the controlled distribution of a flowing medium, comprising a main line (11) which branches at a branching point (12) into a plurality of branch lines (13,14,15), in each of the branch lines a variable restrictor (V1,V2,V3), by means of which the mass flow in each of the branch lines (13,14,15) can be adjusted, and, belonging to each restrictor (V1,V2,V3), a first pressure measuring device (PM1,PM2,PM3), by means of which the pressure drop of the flowing medium at the respective restrictor (V1,V2,V3) is measured, **characterized in that**, in order to obtain redundancy in the pressure measurement, at least between two of the branch lines (13,14 or 13,15 or 14,15) a second pressure measuring device (PM10 or PM11 or PM12) for measuring the differential pressure between the respective branch lines (13,14 or 13,15 or 14,15) is arranged downstream of the restrictors (V1,V2 or V1,V3 or V2,V3) in the direction of flow.
2. Pipeline system according to Claim 1, **characterized in that** between each branch line (13,14,15) and, in each case, another branch line (14 or 13 or 14) a second pressure measuring device (PM10 or PM12) for measuring the differential pressure between the respective branch lines (13,14 or 14,13 or 15,14) is arranged.
3. Pipeline system according to one of Claims 1 and 2, **characterized in that** between each branch line (13,14,15) and, in each case, two further branch lines (14,15 or 13,15 or 13,14) a second pressure measuring device (PM10,PM11 or PM10,PM12 or PM11,PM12) for measuring the differential pressure between the respective branch lines (13,14,15) is arranged in each case.
4. Pipeline system according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the restrictors are designed as valves (V1,V2/V3).
5. Pipeline system according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** three branch lines (13,14,15) are used.
6. Method for operating a pipeline system according to Claim 1, **characterized in that**, for each pair of branch lines (13,14 or 14,15 or 13,15), the associated first pressure measuring devices (PM1,PM2 or PM2,PM3 or PM1,PM3)

and the second pressure measuring device (PM10 or PM12 or PM11) which is arranged between the pair of branch lines are in each case combined to form a group, the sum of the measured pressure values being equal to zero for each group of pressure measuring devices when the pressure measuring devices are functioning properly, and **in that**, when one of the first pressure measuring devices (PM1 or PM2, PM2 or PM3, PM1 or PM3) fails within a group, the associated measured pressure value is determined from the measured pressure values of the other two pressure measuring devices of the group.

7. Method according to Claim 6, **characterized in that** each first pressure measuring device (PM1, PM2, PM3) is represented in each case in two groups of pressure measuring devices, and **in that** the measured pressure values from the first pressure measuring device are treated as faulty when the associated measured pressure values determined from the other two pressure measuring devices of each of the two groups are identical to one another, but not to the measured pressure values emitted by the first pressure measuring device.

## Revendications

1. Système de conduites tubulaires (10) pour la distribution régulée d'un fluide, comprenant une conduite principale (11) qui se divise en un point de ramification (12) en une pluralité de conduites de ramification (13, 14, 15), dans chacune des conduites de ramification, une zone d'étranglement variable (V1, V2, V3) permettant d'ajuster le débit massique dans chacune des conduites de ramification (13, 14, 15), ainsi qu'à chaque zone d'étranglement (V1, V2, V3), un premier dispositif de mesure de pression (PM1, PM2, PM3) permettant de mesurer la chute de pression du fluide au niveau de la zone d'étranglement respective (V1, V2, V3), **caractérisé en ce que** pour l'obtention d'une redondance dans la mesure de pression, on dispose au moins entre deux des conduites de ramification (13, 14, ou 13, 15, ou 14, 15) dans le sens de l'écoulement derrière les zones d'étranglement (V1, V2, ou V1, V3, ou V2, V3) un deuxième dispositif de mesure de pression (PM10 ou PM11 ou PM12) pour mesurer la différence de pression entre les conduites de ramification respectives (13, 14 ou 13, 15 ou 14, 15).
2. Système de conduites tubulaires selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on dispose, entre chaque conduite de ramification (13, 14, 15) et chaque autre conduite de ramification (14 ou 13 ou 14) un deuxième dispositif de mesure de pression (PM10 ou PM12) pour mesurer la différence de pression entre les conduites de ramification respectives (13, 14 ou 14, 13 ou 15, 14).
3. Système de conduites tubulaires selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** l'on dispose entre chaque conduite de ramification (13, 14, 15) et à chaque fois deux autres conduites de ramification (14, 15 ou 13, 15 ou 13, 14) à chaque fois un deuxième dispositif de mesure de pression (PM10, PM11 ou PM10, PM12 ou PM11, PM12) pour mesurer la différence de pression entre les conduites de ramification respectives (13, 14, 15).
4. Système de conduites tubulaires selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les zones d'étranglement sont réalisées sous la forme de soupapes (V1, V2, V3).
5. Système de conduites tubulaires selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'on utilise trois conduites de ramification (13, 14, 15).
6. Procédé pour le fonctionnement d'un système de conduites tubulaires selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pour chaque paire de conduites de ramification (13, 14 ou 14, 15 ou 13, 15), on rassemble en un groupe les premiers dispositifs de mesure de pression associés (PM1, PM2 ou PM2, PM3 ou PM1, PM3) et le deuxième dispositif de mesure de pression (PM10 ou PM12 ou PM11) disposé entre la paire de conduites de ramification, où, pour un fonctionnement correcte des dispositifs de mesure de pression, pour chaque groupe de dispositifs de mesure de pression la somme des valeurs de mesure de pression est égale à zéro, et **en ce que**, si à l'intérieur d'un groupe l'un des premiers dispositifs de mesure de pression (PM1 ou PM2, respectivement PM2 ou PM3, respectivement PM1 ou PM3) tombe en panne, la valeur de mesure de pression associée est déterminée à partir des valeurs de mesure de pression des deux autres dispositifs de mesure de pression du groupe.
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** chaque premier dispositif de mesure de pression (PM1, PM2, PM3) est représenté à chaque fois dans deux groupes de dispositifs de mesure de pression, et **en ce que** les valeurs de mesure de pression sortant du premier dispositif de mesure de pression sont traitées comme erronées lorsque les valeurs de mesure de pression déterminées associées provenant des deux autres dispositifs de



## EP 0 898 112 B1

mesure de pression de chacun des deux groupes coïncident mutuellement mais pas avec les valeurs de mesure de pression du premier dispositif de mesure de pression.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



