



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 058 211 A1** 2009.06.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 058 211.2**

(22) Anmeldetag: **04.12.2007**

(43) Offenlegungstag: **10.06.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F15B 21/00** (2006.01)  
**G05D 7/06** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Schröder, Dierk, 24238 Selent, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

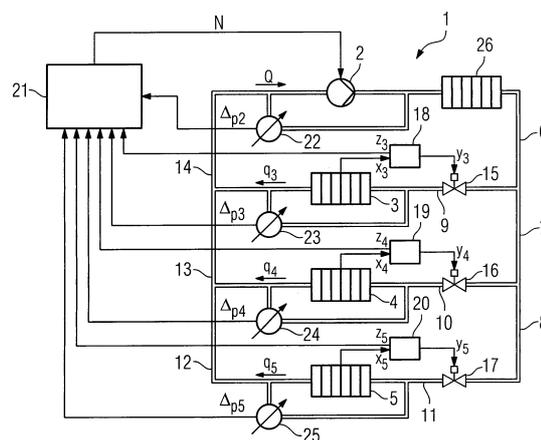
**DE 199 12 588 A1**  
**DE 37 87 266 T2**  
**EP 12 86 240 A1**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb eines strömungstechnischen Leitungssystems**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines strömungstechnischen Leitungssystems mit einer aktiven Komponente, die in dem System einen Volumenstrom eines Mediums erzeugt, und mehreren zueinander parallel geschalteten Strömungskanälen, die von der aktiven Komponente gemeinsam mit dem Volumenstrom des Mediums versorgt werden, wobei jeder Strömungskanal einen individuellen Volumenstrombedarf des Mediums hat, der bei zumindest einem Teil der Strömungskanäle zeitlich variabel ist. In jedem Strömungskanal (3 bis 5) mit zeitlich variablem Volumenstrombedarf wird der jeweilige Volumenstrom ( $q_3$  bis  $q_5$ ) in Abhängigkeit von einer dem Strömungskanal (3 bis 5) zugeordneten Regelgröße ( $x_3$  bis  $x_5$ ) individuell gedrosselt. Zusätzlich wird der von der aktiven Komponente (2) erzeugte Volumenstrom ( $Q$ ) insgesamt so geregelt, dass in zumindest einem der Strömungskanäle (3 bis 5) keine individuelle Drosselung des dortigen Volumenstromes ( $q_3$  bis  $q_5$ ) erforderlich ist.



**Beschreibung**

**[0001]** In größeren strömungstechnischen Leitungssystemen, insbesondere Rohrleitungssystemen an Bord von Schiffen, werden gewöhnlich mehrere Verbraucher mit unterschiedlichen Medien versorgt. Bei einem Verbraucher kann es sich beispielsweise um einen Wärmetauscher, einen Hydraulikantrieb oder ein System mit Bedarf an kontinuierlicher Schmierstoffzufuhr, z. B. in einem Antrieb, handeln. Hydrodynamisch gesehen ist ein Verbraucher im Sinne dieser Erfindung ein Strömungskanal mit einem jeweils individuellen, ggf. veränderlichen Strömungswiderstand und einem individuellen Volumenstrombedarf eines Mediums. Ferner hat der Rohrstrang, über den ein Verbraucher an das Gesamtsystem angeschlossen ist, einen sich aus den räumlichen Gegebenheiten und dem transportierten Volumenstrom ergebenden Rohrleitungswiderstand. Beim Entwurf eines solchen Systems besteht die Aufgabe, die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Verbraucher mittels geeigneter Maßnahmen, z. B. Blenden in den Rohrsträngen, so zu erfüllen, dass jeder Verbraucher zu jeder Zeit den von ihm benötigten Volumenstrom erhält. Die aktive Komponente des Systems (z. B. Pumpe, Verdichter) wird dabei mit fester, nicht variabler Drehzahl betrieben. Für das statische Verhalten eines solchen Systems ist diese Aufgabe heute hinreichend gut lösbar.

**[0002]** Für das dynamische Verhalten eines solchen Systems wird heutzutage im Schiffbau allgemein folgende Vorgehensweise angewandt: Ein Verbraucher wird mit einem Bypass und einem Regelorgan (z. B. Drei-Wege-Ventil) versehen. Der Bypass erhält nötigenfalls mittels einer Blende einen hydrodynamischen Widerstand, der demjenigen des Verbrauchers über einen weiten Bereich verschiedener Volumenströme möglichst ähnlich ist. Das Regelorgan steuert je nach Anforderung des Verbrauchers einen variablen Anteil des Volumenstromes, von 0% bis nötigenfalls bis zu 100%, über den Bypass ab. Durch den im Verbraucher und im Bypass nahezu gleichen hydrodynamischen Widerstand wird durch den Regelvorgang das Gesamtsystem und damit die parallel oder in Reihe geschalteten weiteren Verbraucher nicht beeinflusst und bleibt quasistatisch. Dies erleichtert die Regelung und begrenzt den Aufwand.

**[0003]** Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, den Energieverbrauch eines strömungstechnischen Leitungssystems der vorausgehend beschriebenen Art zu minimieren.

**[0004]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren nach Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhaftere Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch das herkömmliche Absteuern des Volumenstromes einzelner Verbraucher über einen jeweiligen Bypass Leistungsverluste entstehen, die teilweise unnötig sind. Diese Verluste lassen sich minimieren, wenn man den Volumenstrom im Gesamtsystem minimiert, anstatt Medien in unnötig großen Mengen durch das System zu treiben.

**[0006]** Die Erfindung sieht vor, die Förderleistung der aktiven Komponente unter Berücksichtigung der von den einzelnen Verbrauchern angeforderten Volumenströme soweit zu reduzieren, dass bei mindestens einem Verbraucher keine individuelle Drosselung des Volumenstromes mehr nötig ist. Die Volumenströme der übrigen Verbraucher werden individuell auf das jeweils benötigte Maß gedrosselt. Auf diese Weise wird die Summe der Volumenströme aller Verbraucher minimiert.

**[0007]** Dies minimiert den Gesamtwiderstand des Systems, denn der Rohrleitungswiderstand steigt bei einem gegebenen System bekanntlich mit dem Quadrat des Volumenstroms, welcher durch den gegebenen Rohrquerschnitt transportiert wird. Da die Förderleistung der aktiven Komponente des Systems (z. B. Pumpe, Verdichter) dem Produkt aus Volumenstrom und aufzubringender Druckdifferenz entspricht, wird hierdurch die Förderleistung und folglich auch die von der aktiven Komponente benötigte Antriebsleistung minimiert.

**[0008]** Dies kann zwar zur Folge haben, dass die aktive Komponente abhängig von der Auslegung des Gesamtsystems und der Streuung der möglichen Betriebspunkte mit einem Wirkungsgrad betrieben wird, der ggf. auch signifikant vom möglichen Optimalwert abweicht, doch ist dies nicht entscheidend. Vielmehr kommt es vor allem darauf an, welche Leistung absolut für die Erfüllung der Systemfunktion aufgebracht werden muss. Diese ist bei der Erfindung niedriger als bei der zuvor beschriebenen herkömmlichen Betriebsweise.

**[0009]** Wenn der Gesamtvolumenstrom des Systems durch die Regelung der aktiven Komponente verringert wird, ergibt sich eine zusätzliche Reduktion der gesamten Verlustleistung dadurch, dass der Gesamtwiderstand in einem Leitungssystem mit dem Quadrat des sich verringernenden Volumenstromes in den gegebenen Leitungen sinkt. Hierin liegt ein weiterer Vorteil der Erfindung.

**[0010]** Da es bei der Systemausführung gemäß dieser Erfindung nicht notwendig ist, einen annähernd konstanten Strömungswiderstand jedes einzelnen Verbrauchers gegenüber dem restlichen System zu gewährleisten, kann eine Installation von Bypässen um die Verbraucher entfallen. Hierdurch vereinfacht sich der apparative Aufbau des Systems.

**[0011]** Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen beschrieben. In diesen zeigt

**[0012]** [Fig. 1](#) den grundsätzlichen Aufbau eines erfindungsgemäßen strömungstechnischen Leitungssystems,

**[0013]** [Fig. 2](#) den grundsätzlichen Verlauf der Kennlinien der aktiven Komponente und des passiven Teils eines strömungstechnischen Leitungssystems,

**[0014]** [Fig. 3](#) den Ablauf der erfindungsgemäßen Systeminitialisierung als Flussdiagramm und

**[0015]** [Fig. 4](#) den Ablauf der erfindungsgemäßen Regelung der aktiven Komponente eines strömungstechnischen Leitungssystems als Flussdiagramm.

**[0016]** Einen schematischen Überblick über den Aufbau eines erfindungsgemäßen strömungstechnischen Leitungssystems **1** gibt [Fig. 1](#). Dieses System **1** umfasst beispielhaft eine aktive Komponente in Form einer Pumpe **2**, eine Vielzahl von zueinander parallel geschalteten Strömungskanälen bestimmter Funktion, die hier Verbraucher **3** bis **5** genannt werden, sowie eine Vielzahl von Rohrleitungen **6** bis **14**, welche die einzelnen Verbraucher **3** bis **5** mit der Pumpe **2** verbinden. üblicherweise weist ein reales System mehrere Pumpen z. B. in einer Pumpenstation auf, doch wird der Einfachheit halber in der Folge nur von einer Pumpe gesprochen.

**[0017]** Bei den Verbrauchern **3** bis **5** kann es sich beispielsweise um Kühler handeln. Die dargestellte Anzahl von drei Verbrauchern ist rein beispielhaft gemeint und nach oben hin nicht begrenzt. Die Rohrleitungen **9**, **10** und **11** umfassen jeweils den gesamten allein dem jeweiligen Verbraucher **3**, **4** oder **5** zugeordneten Teil des Leitungssystems und nicht nur den unmittelbar mit den jeweiligen Bezugszeichen **9**, **10** und **11** gekennzeichneten Abschnitt.

**[0018]** Vor oder hinter jedem Verbraucher **3** bis **5** ist in jede Rohrleitung **9** bis **11** jeweils ein Drosselventil **15** bis **17** geschaltet, welches von einem jeweiligen Regler **18** bis **20** angesteuert wird. Die Regler **18** bis **20** erfassen an den Verbrauchern **3** bis **5** jeweilige Regelgrößen  $x_3$  bis  $x_5$  und geben an die Drosselventile **15** bis **17** darauf basierende Stellsignale  $y_3$  bis  $y_5$  aus. Dabei hängt die Art der Regelgrößen  $x_3$  bis  $x_5$  von der Funktion der Verbraucher **3** bis **5** ab. Falls es sich bei den Verbrauchern beispielsweise um Kühler handelt, sind die Regelgrößen  $x_3$  bis  $x_5$  Temperaturen. Gleichzeitig geben die Regler **18** bis **20** auch an einen Zentralregler **21** Meldesignale  $z_3$  bis  $z_5$  aus, in welche die Stellungen der Drosselventile **15** bis **17** sowie die Regelgrößen  $x_3$  bis  $x_5$  eingehen.

**[0019]** Die Pumpe **2** ist mit einem regelbaren An-

trieb ausgestattet. Im Fall eines Elektromotors bedeutet dies eine Ansteuerung durch einen Frequenzumrichter mit variabler statt mit fester Frequenz. Hierdurch kann die Drehzahl der Pumpe **2** und damit der Volumenstrom des Gesamtsystems **1** durch die Pumpe **2** variiert werden. Der Antrieb der Pumpe **2** wird von dem Zentralregler **21** geregelt, der hierzu ein Stellsignal  $N$  für die Drehzahl der Pumpe **2** ausgibt.

**[0020]** Ferner sind sowohl die Pumpe **2**, als auch die Verbraucher **3** bis **5** jeweils mit einer Messeinrichtung **22** bzw. **23** bis **25** ausgestattet, welche die jeweiligen Druckdifferenzen über der Pumpe bzw. über den einzelnen Verbrauchern **3** bis **5** messen und entsprechende Messsignale  $\Delta p_2$  bzw.  $\Delta p_3$  bis  $\Delta p_5$  an den Zentralregler **21** abgeben.

**[0021]** Ferner enthält das Leitungssystem **1** in einer von dem Gesamtvolumenstrom  $Q$  durchströmten Rohrleitung **6** ein Ausgleichselement **26**, welches die Wirkung der Verbraucher **3** bis **5** in Bezug auf den Transport von Energie und/oder Materie ausgleicht. Wenn es sich beispielsweise bei den Verbrauchern **3** bis **5** um Wärmetauscher handelt, durch welche das in dem Leitungssystem **1** strömende Medium Wärmeleistung aufnimmt, dann stellt das Ausgleichselement **26** einen Wärmetauscher dar, durch welchen das in dem Leitungssystem **1** strömende Medium Wärmeleistung an die Umgebung abgibt, so dass die Temperatur des Mediums stets innerhalb eines vorbestimmten Bereichs bleibt. Wenn das in dem Leitungssystem **1** strömende Medium in den Verbrauchern **3** bis **5** zum Teil materiell verbraucht wird, dann handelt es sich bei dem Ausgleichselement um ein Reservoir, aus dem eine entsprechende Menge des Mediums zugeführt wird, um die in dem Leitungssystem **1** vorhandene Menge stets annähernd konstant zu halten.

**[0022]** Zum Verständnis der Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun anhand von [Fig. 2](#) kurz auf die Kennlinien eines strömungstechnischen Leitungssystems **1** der hier betrachteten Art eingegangen. In [Fig. 2](#) ist der Druck, auch als Förderhöhe  $H$  bezeichnet, über den gesamten Volumenstrom  $Q$  des Systems **1** dargestellt, wobei jeweils eine Kennlinienschar (die Drosselkurven der Pumpe) für das Verhalten der Pumpe **2** und eine Kennlinienschar (die Anlagenkennlinien) für das Verhalten des Leitungssystems **3** bis **17** dargestellt ist. Die Darstellung von [Fig. 2](#) hat rein qualitativen Charakter.

**[0023]** Die drei von links nach rechts zunächst leicht ansteigenden und dann bis auf Null abfallenden Kennlinien (Drosselkurven) sind Pumpenkennlinien für verschiedene Drehzahlen, d. h. verschiedene Antriebsleistungen einer Pumpe **2**, wobei die Pumpenkennlinien mit zunehmender Drehzahl hin zu größerer Förderhöhe (mit dem Quadrat der Drehzahländerung  $H_1/H = (n_1/n)^2$ ) und Volumenstrom (mit der Dreh-

zahländerung  $Q_1/Q = n_1/n$ ) verschoben sind. Die Leistungsaufnahme der Pumpe steigt (ohne Betrachtung von Lager- und Dichtungsverlusten) mit dem Kubik der Drehzahländerung ( $P_1/P = (n_1/n)^3$ ).

**[0024]** Die drei links bei Null beginnenden und progressiv ansteigenden Kennlinien (Anlagenkennlinien) sind Kennlinien eines an die Pumpe **2** angeschlossenen Leitungssystems **3** bis **17** für verschiedene Zustände desselben, d. h. für verschiedene Stellungen der Drosselventile **15** bis **17**. Je stärker die Drosselwirkung, also der gesamte Strömungswiderstand des Leitungssystems **3** bis **17**, umso mehr Förderhöhe  $H$  wird zur Erzielung eines bestimmten Volumenstromes  $Q$  benötigt und umso mehr Antriebsleistung ist folglich an der Pumpe **2** aufzuwenden.

**[0025]** Da der gesamte Volumenstrom  $Q$  sowohl die Pumpe **2**, als auch das Leitungssystem **3** bis **17** durchströmt, ergibt sich der Arbeitspunkt des Gesamtsystems **1** als Schnittpunkt der jeweils gültigen Kennlinie der Pumpe **2** mit der jeweils gültigen Kennlinie des gesamten Leitungssystems **3** bis **17** und kann bei ausreichender Kenntnis aller Systemparameter numerisch berechnet werden. Herkömmlich wird sowohl mit konstanter Pumpenleistung, als auch mit möglichst konstantem Strömungswiderstand gearbeitet, also in einem einzigen möglichst konstanten Arbeitspunkt des Gesamtsystems **1**.

**[0026]** Die vorliegende Erfindung verfolgt demgegenüber das Ziel, stets einen Arbeitspunkt des Gesamtsystems **1** mit möglichst geringem Strömungswiderstand des Leitungssystems **3** bis **17** zu wählen, damit ein insgesamt von den Verbrauchern **3**, **4** und **5** benötigter Volumenstrom  $Q$  gegebener Größe mit möglichst geringer Pumpenleistung erzielt wird. Hierzu wird bei zeitlicher Variabilität des benötigten Volumenstromes  $Q$  einzelner Verbraucher eine zeitliche Variabilität sowohl des Strömungswiderstandes, als auch der Pumpenleistung zugelassen, so dass sich die jeweils gültigen Kennlinien der Pumpe **2** und des Leitungssystems **3** bis **17** laufend ändern und folglich der sich als Schnittpunkt der beiden Kennlinien ergebende Arbeitspunkt laufend verschiebt.

**[0027]** Bei Inbetriebnahme des strömungstechnischen Leitungssystems **1** nach [Fig. 1](#) sind bestimmte Daten bekannt:

- Kennlinienfeld der Pumpe entsprechend [Fig. 2](#)
- Leistungsaufnahme der Pumpe an spezifischen Punkten des Kennlinienfeldes
- Strömungswiderstand der Drosselventile **15** bis **17**
- Anzahl und Art der Verbraucher **3** bis **5**
- Auslegung des Rohrleitungsnetzes **3** bis **17**

**[0028]** Zur erfindungsgemäßen Regelung des Systems **1** ist die Kenntnis der Volumenströme  $q_3$  bis  $q_5$

durch die einzelnen Verbraucher erforderlich. Um die Messung dieser Volumenströme  $q_3$  bis  $q_5$  über die Druckdifferenzen  $\Delta p_3$  bis  $\Delta p_5$  zu ermöglichen, wird vor der Inbetriebnahme des Systems **1** ein ggf. automatisiertes Initialisierungsverfahren durchgeführt, das nachfolgend anhand des Flussdiagramms von [Fig. 3](#) erläutert wird.

**[0029]** Zunächst werden in Schritt **30** die Drosselventile **15** bis **17** aller Verbraucher **3** bis **5** vollständig geöffnet. Die Pumpe **2** wird dann auf Nennleistung gebracht und es wird die Druckdifferenz  $\Delta p_2$  über der Pumpe **2** gemessen. Aus dem bekannten Kennlinienfeld der Pumpe **2** ergibt sich hieraus der minimale Strömungswiderstand des gesamten Leitungssystems **3** bis **17**.

**[0030]** Dann wird im Schritt **31** ein neuer, d. h. bisher noch nicht bearbeiteter Verbraucher  $n$  ausgewählt und das diesem Verbraucher zugeordnete Drosselventil wird vollständig geöffnet. Bei der ersten Ausführung des Schrittes **31** nach dem schritt **30** ist dieses bereits geöffnet, bei späteren Ausführungen des Schrittes **31** jedoch nicht mehr.

**[0031]** Dann werden in Schritt **32** die Drosselventile aller anderen Verbraucher vollständig geschlossen. Wird beispielsweise der Verbraucher **3** ausgewählt und sein Drosselventil **15** in Schritt **31** geöffnet, dann werden in Schritt **32** die Drosselventile **16** und **17** der beiden anderen Verbraucher **4** und **5** geschlossen. Dadurch wird erreicht, dass der gesamte Volumenstrom  $Q$  des Systems **1** mit dem individuellen Volumenstrom  $q_n$  des jeweils ausgewählten Verbrauchers  $n$  identisch ist.

**[0032]** Das Drosselventil des ausgewählten Verbrauchers  $n$  wird nun in Schritt **33** in verschiedene Stellungen gefahren, also das Stellsignal  $y_n$  variiert, und es wird in jeder Stellung die Druckdifferenz  $\Delta p_n$  über dem ausgewählten Verbraucher und die Druckdifferenz  $\Delta p_2$  über der Pumpe **2** gemessen. Auf diese Weise wird eine Kennlinie von  $\Delta p_2$  als Funktion von  $\Delta p_n$  ermittelt. Dabei ist die Anzahl der Messpunkte je nach angestrebter Regelgenauigkeit festzulegen, da bei der späteren Weiterverwendung der aufgenommenen Kennlinie zwischen den Messpunkten interpoliert werden muss.

**[0033]** Weil jedem Wert der Druckdifferenz  $\Delta p_2$  über das bekannte Kennlinienfeld der Pumpe **2** bei gegebener Antriebsleistung ein Volumenstrom  $Q$  durch die Pumpe **2** eindeutig zugeordnet ist, kann die in Schritt **33** ermittelte Kennlinie in Schritt **34** ohne weiteres in eine Kennlinie des gesamten Volumenstromes  $Q$  als Funktion der Druckdifferenz  $\Delta p_n$  über dem ausgewählten Verbraucher  $n$  umgerechnet werden. Wegen der erzwungenen Identität des gesamten Volumenstromes  $Q$  mit dem individuellen Volumenstrom  $q_n$  des ausgewählten Verbrauchers  $n$  ist diese

in Schritt **34** erhaltene Kennlinie gleichzeitig die Kennlinie des individuellen Volumenstromes  $q_n$  des ausgewählten Verbrauchers  $n$  als Funktion der Druckdifferenz  $\Delta p_n$ .

**[0034]** In Schritt **35** wird geprüft, ob bereits alle Verbraucher in der vorausgehend beschriebenen Weise vermessen wurden oder nicht. Falls nicht wird zu Schritt **31** zurückgesprungen und dort ein neuer, bisher noch nicht vermessener Verbraucher ausgewählt. Falls ja ist das Initialisierungsverfahren beendet.

**[0035]** Das beschriebene Initialisierungsverfahren erlaubt es, im anschließenden Normalbetrieb des Systems **1** die individuellen Volumenströme der Verbraucher **3** bis **5** über die jeweiligen Druckdifferenzen  $\Delta p_3$  bis  $\Delta p_5$  zu erfassen und auf diese Weise den insgesamt von der Pumpe bereitzustellenden Volumenstrom  $Q$  zu bestimmen. Der erfindungsgemäße Normalbetrieb des Systems **1** wird nachfolgend anhand des Flussdiagramms von [Fig. 4](#) erläutert.

**[0036]** Zunächst wird in Schritt **36** die Pumpe **2** auf Nennleistung eingestellt und es werden die Regelkreise aller Verbraucher **3** bis **5** eingeschaltet. Die Regler **18** bis **20** stellen daraufhin die Drosselventile **15** bis **17** durch die Stellsignale  $y_3$  bis  $y_5$  so ein, dass sich die an jedem Verbraucher **3** bis **5** erfasste Regelgröße  $x_3$  bis  $x_5$  einem jeweiligen Sollwert annähert.

**[0037]** In Schritt **37** wird dann geprüft, ob noch kein Drosselventil **15** bis **17** ganz offen ist. Diese Information erhält der Zentralregler **21** über die Meldesignale  $z_3$  bis  $z_5$  von den Reglern **18** bis **20**. Falls dies zutrifft, ist die Pumpenleistung insgesamt höher als es nötig wäre, um alle Verbraucher **3** bis **5** mit ausreichenden Volumenströmen  $q_3$  bis  $q_5$  zu versorgen.

**[0038]** In diesem Fall werden als nächstes in Schritt **38** über die Druckdifferenzen  $\Delta p_2$  bis  $\Delta p_5$  der Gesamtvolumenstrom  $Q$  und die Volumenströme der einzelnen Verbraucher **3** bis **5** erfasst. Aus den Kennlinien (Druckdifferenz als Funktion des Volumenstromes) der einzelnen Verbraucher sowie dem Gesamtströmungswiderstand, die in der zuvor beschriebenen Initialisierungsphase ermittelt wurden, wird dann in Schritt **39** berechnet, wie weit die Leistung der Pumpe abgesenkt werden kann, bis bei einem der Verbraucher **3** bis **5** keine Drosselung des Volumenstromes durch das zugeordnete Drosselventil **15** bis **17** mehr erforderlich ist. Diese minimale Leistung wird der Pumpe **2** von dem Zentralregler **21** über die Drehzahl  $N$  vorgegeben.

**[0039]** In Schritt **40** wird geprüft, ob der normale Betrieb des Systems fortgeführt werden soll oder nicht. Falls ja erfolgt ein Sprung zurück zu Schritt **37**. Andernfalls endet der normale Betrieb. Wie das System **1** in diesem Fall heruntergefahren und sicher in den

Ruhezustand gebracht wird, ist hier nicht von Interesse.

**[0040]** Falls die Überprüfung in Schritt **37** ergeben hat, dass bereits bei einem der Verbraucher **3** bis **5** das zugehörige Drosselventil **15** bis **17** ganz geöffnet ist, wird in Schritt **41** überprüft, ob dieser Verbraucher nicht einen größeren Volumenstrom benötigt als er im gegenwärtigen Zustand des Systems **1** erhalten kann. Diese Information erhält der Zentralregler **21** über eines der Meldesignale  $z_3$  bis  $z_5$  von demjenigen der Regler **18** bis **20**, welcher das von ihm kontrollierte Drosselventil bereits ganz geöffnet hat. Der betreffende Regler ermittelt dies im Fall eines bereits ganz geöffneten Drosselventils aus der Regeldifferenz zwischen dem Sollwert und dem Istwert der jeweiligen Regelgröße.

**[0041]** Falls der Verbraucher mit ganz geöffnetem Drosselventil einen größeren Volumenstrom benötigt als er momentan vorliegt, wird in Schritt **42** die Pumpenleistung um ein definiertes Maß erhöht, wobei das Ausmaß dieser Erhöhung von der Größe besagter Regeldifferenz abhängen kann. Andernfalls unterbleibt die Ausführung von Schritt **42**. Anschließend wird in jedem Fall zu Schritt **37** zurückgesprungen. Dies führt dazu, dass über die Schritte **37**, **41** und **42** führende Schleife solange durchlaufen und folglich die Pumpenleistung solange erhöht wird, bis der betreffende Verbraucher einen mindestens ausreichenden Volumenstrom erhält.

**[0042]** Grundsätzlich ist es auch möglich, dass im Laufe der Zeit bei mehreren der Verbraucher **3** bis **5** das zugehörige Drosselventil **15** bis **17** ganz geöffnet wird. In diesem Fall wird die Überprüfung in Schritt **41** bei allen in diesem Zustand befindlichen Verbrauchern durchgeführt.

**[0043]** Es leuchtet ein, dass das vorausgehend beschriebene Verfahren dazu führt, dass im Normalbetrieb abgesehen von einer anfänglichen Einschwingphase nahezu ständig irgendeiner der Verbraucher **3** bis **5** mit ganz geöffnetem Drosselventil **15** bis **17** betrieben wird und dass die Pumpe **2** folglich mit einer Leistung betrieben wird, die im zeitlichen Mittel deutlich unterhalb der Nennleistung liegt, wenn man davon ausgeht, dass die Nennleistung so ausgelegt ist, dass sie den höchstmöglichen Volumenstrombedarf des Systems **1** erfüllen kann.

**[0044]** Es versteht sich, dass die den einzelnen Verbrauchern **3** bis **5** zugeordneten Regler **18** bis **20** baulich auch mit dem Zentralregler **21** vereinigt sein können. Entscheidend ist nur, dass ein übergeordneter Regelkreis für die Pumpe **2** und mehrere untergeordnete Regelkreise für die einzelnen Drosselventile **15** bis **17** vorgesehen sind.

**[0045]** Die Ermittlung der Systemparameter bei der

Inbetriebnahme eines so ausgestatteten Systems kann automatisiert werden. Ein ggf. langwieriges und teures Anpassen von Blenden, wie es oft bei herkömmlichen Systemen nötig ist, kann entfallen.

**[0046]** Soweit hier von Leitungen bzw. von einem Leitungssystem die Rede ist, versteht es sich, dass sämtliche Aussagen gleichermaßen für Rohrleitungen, Schlauchleitungen, Strömungskanäle mit eckiger Querschnittsform sowie für Leitungssysteme, die Abschnitte aus mehreren verschiedenen Arten von geschlossenen strömungsführenden Leitungen enthalten, gelten. Alle derartigen Varianten von Leitungssystemen sollen vom Schutz der Patentansprüche umfasst sein.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines strömungstechnischen Leitungssystems mit einer aktiven Komponente, die in dem System einen Volumenstrom eines Mediums erzeugt, und mehreren zueinander parallel geschalteten Strömungskanälen, die von der aktiven Komponente gemeinsam mit dem Volumenstrom des Mediums versorgt werden, wobei jeder Strömungskanal einen individuellen Volumenstrombedarf des Mediums hat, der bei zumindest einem Teil der Strömungskanäle zeitlich variabel ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass in jedem Strömungskanal (3, 4, 5) mit zeitlich variablem Volumenstrombedarf der jeweilige Volumenstrom ( $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ) in Abhängigkeit von einer dem Strömungskanal (3, 4, 5) zugeordneten Regelgröße ( $x_3$ ,  $x_4$ ,  $x_5$ ) individuell gedrosselt wird, und dass zusätzlich der von der aktiven Komponente (2) erzeugte Volumenstrom (Q) insgesamt so geregelt wird, dass in zumindest einem der Strömungskanäle (3, 4, 5) keine individuelle Drosselung des dortigen Volumenstromes ( $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ) erforderlich ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Inbetriebnahme des Systems 1 nacheinander für jeden einzelnen Strömungskanal (3, 4, 5) der Zusammenhang zwischen der über dem Strömungskanal (3, 4, 5) abfallenden Druckdifferenz ( $\Delta p_3$ ,  $\Delta p_4$ ,  $\Delta p_5$ ) und dem durch den Strömungskanal (3, 4, 5) fließenden Volumenstrom ( $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Inbetriebnahme des Systems 1 zur Ermittlung besagten Zusammenhangs bei Nennbetrieb der aktiven Komponente (2), deren Kennlinienfeld bekannt ist, alle Strömungskanäle (3, 4, 5) bis auf denjenigen, für den der Zusammenhang ermittelt werden soll, geschlossen werden, dass an dem einzigen nicht geschlossenen Strömungskanal (n) das Ausmaß der Drosselung variiert wird und dabei die über dem Strömungskanal (n) abfallende Druckdifferenz  $\Delta p_n$  und die über der aktiven Komponente abfallende Druckdifferenz ( $\Delta p_2$ ) gemessen

werden, und dass anhand des bekannten Kennlinienfeldes der aktiven Komponente (2) jedem Wert der über dem nicht geschlossenen Strömungskanal (n) gemessenen Druckdifferenz ( $\Delta p_n$ ) ein Wert des Volumenstromes ( $q_n$ ) zugeordnet wird.

4. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Inbetriebnahme des Systems 1 bei Nennbetrieb der aktiven Komponente (2) und im ungedrosselten Zustand sämtlicher Strömungskanäle (3, 4, 5) die Druckdifferenz ( $\Delta p_2$ ) über der aktiven Komponente (2) gemessen und anhand des bekannten Kennlinienfeldes der aktiven Komponente (2) der minimale Gesamtströmungswiderstand des an der aktiven Komponente (2) angeschlossenen Leitungssystems (3 bis 17) ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der im regulären Betrieb des Systems 1 durch die Regelung einzustellende Wert des gesamten Volumenstromes (Q) anhand der für einzelnen Strömungskanäle (3, 4, 5) geltenden Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Druckdifferenzen ( $\Delta p_3$ ,  $\Delta p_4$ ,  $\Delta p_5$ ) und Volumenströmen ( $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ), sowie anhand des minimalen Gesamtströmungswiderstandes des an der aktiven Komponente (2) angeschlossenen Leitungssystems (3 bis 17) ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im regulären Betrieb des Systems 1 der Volumenstrombedarf eines Strömungskanals (3, 4, 5), der ungedrosselt betrieben wird, fortlaufend überwacht wird, und dass bei einem Anstieg dieses Volumenstrombedarfes der Wert des von der aktiven Komponente (2) insgesamt erzeugten Volumenstromes (Q) erhöht wird.

7. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der von der aktiven Komponente (2) insgesamt erzeugte Volumenstrom (Q) über die Antriebsleistung der aktiven Komponente (2) eingestellt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



