

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 505 035 A4 2008-10-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 650/2007**

(22) Anmeldetag: **26.04.2007**

(43) Veröffentlicht am: **15.10.2008**

(51) Int. Cl.⁸: **G01L 19/00** (2006.01),
G01M 9/00 (2006.01),
G01M 10/00 (2006.01),
G01M 19/00 (2006.01),
G01B 13/00 (2006.01)

(73)Patentinhaber:

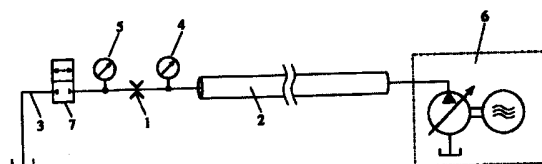
LINZ CENTER OF MECHATRONICS GMBH
A-4040 LINZ (AT)

(72)Erfinder:

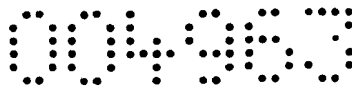
SCHEIDL RUDOLF
ERLAUF (AT)
WINKLER BERND
LINZ (AT)
MANHARTSGRUBER BERNHARD
LEONDING (AT)

(54) VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR VERMESSUNG VON STRÖMUNGSWIDERSTÄNDEN

(57) Offenbart ist eine Vorrichtung zur Vermessung des Zusammenhanges zwischen Druckabfall und Durchfluss an Strömungswiderständen, beispielsweise Hydraulikventilen, mit wenigstens einem Prüfling (1), wenigstens einer Zuströmleitung (2), wenigstens einer Abströmleitung (3), wenigstens einem Drucksensor (4) an der Zuströmseite, wenigstens einem Drucksensor (5) an der Abströmseite, wenigstens einer Druckmittelversorgungseinheit (6), dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Zuströmleitung (2) und der Abströmleitung (3) in Serienschaltung zum Prüfling (1) wenigstens ein Ventil (7) für die zeitweilige Unterbrechung des Druckmittelstromes durch den Prüfling (1) vorgesehen ist, und dass wenigstens eine der beiden Leitungen (2) bzw. (3) eine Länge aufweist, die größer ist als das Produkt aus der Schaltzeit des Ventils (7) und der aus dem effektiven Kompressionsmodul und der Dichte des verwendeten Druckmittels sich ergebenden Wellenausbreitungsgeschwindigkeit.



AT 505 035 A4 2008-10-15

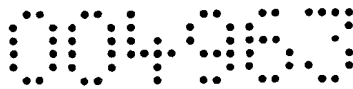


VORRICHTUNG UND VERFAHREN
ZUR VERMESSUNG VON STRÖMUNGSWIDERSTÄNDEN

ZUSAMMENFASSUNG

Offenbart ist eine Vorrichtung zur Vermessung des Zusammenhanges zwischen Druckabfall und Durchfluss an Strömungswiderständen, beispielsweise Hydraulikventilen, mit wenigstens einem Prüfling (1), wenigstens einer Zuströmleitung (2), wenigstens einer Abströmleitung (3), wenigstens einem Drucksensor (4) an der Zuströmseite, wenigstens einem Drucksensor (5) an der Abströmseite, wenigstens einer Druckmittelversorgungseinheit (6), dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Zuströmleitung (2) und der Abströmleitung (3) in Serienschaltung zum Prüfling (1) wenigstens ein Ventil (7) für die zeitweilige Unterbrechung des Druckmittelstromes durch den Prüfling (1) vorgesehen ist, und dass wenigstens eine der beiden Leitungen (2) bzw. (3) eine Länge aufweist, die größer ist als das Produkt aus der Schaltzeit des Ventils (7) und der aus dem effektiven Kompressionsmodul und der Dichte des verwendeten Druckmittels sich ergebenden Wellenausbreitungsgeschwindigkeit.

- Fig. 1 -



1

Vorrichtung und Verfahren
zur Vermessung von Strömungswiderständen

LCM GmbH, 18. 4. 2007
Beschreibung 1 / 5

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR VERMESSUNG VON STRÖMUNGSWIDERSTÄNDEN

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Vermessung des Zusammenhanges zwischen Druckabfall und Durchfluss an Strömungswiderständen, beispielsweise Hydraulikventilen, mit wenigstens einem Prüfling, wenigstens einer Zuströmleitung, wenigstens einer Abströmleitung, wenigstens einem Drucksensor an der Zuströmseite, wenigstens einem Drucksensor an der Abströmseite und wenigstens einer Druckmittelversorgungseinheit, und ein Verfahren zur Vermessung des Zusammenhanges zwischen Druckabfall und Durchfluss an Strömungswiderständen, beispielsweise Hydraulikventilen, bei dem wenigstens ein Prüfling zwischen wenigstens einer Zuströmleitung und wenigstens einer Abströmleitung in Reihe zu wenigstens einem Ventil unter Messung des am Prüfling abfallenden Druckes durchströmt wird.

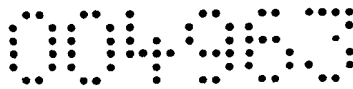
Zur Messung des Zusammenhanges zwischen der Ventilöffnung, dem Ventildurchfluss, und dem am Ventil anstehenden Differenzdruck ist es üblich, dieses Kennlinienfeld aus einer Menge von bei stationären Durchströmungszuständen gemessenen Werten aufzubauen oder das Kennlinienfeld quasistationär durch langsame Variation von Schieberweg und Druckabfall oder Volumenstrom aufzunehmen.

Die Messung im stationären Durchströmungszustand ist in ISO 4411 genormt und erfordert für Ventile mit hohem Nenndurchfluss die Erzeugung eines großen Stationärvolumenstromes und damit die Installation entsprechend großer Pumpen.

Die Forderung nach einer Messung im stationären Zustand ergibt sich zum einen aus der Möglichkeit zur statistischen Auswertung der Messdaten und zum anderen aus dem Unvermögen, einen transienten Volumenstrom genau zu messen. Zu den bekannten Verfahren zur Messung von Volumenströmen zählen Vorrichtungen nach dem Verdrängerprinzip, die bei zu schneller Volumenstromänderung eine unerwünschte Rückwirkung auf die zu messende Strömung hervorrufen.

Weiters bekannt sind eine Reihe von Verfahren die den Durchfluss aufgrund der Kraftwirkung auf im Strömungskanal befindliche Einbauten bzw. auf die Kanalwandung selbst bestimmen sowie Verfahren, bei denen der Durchfluss aus dem Druckabfall zwischen zumindest zwei verschiedenen Punkten im Strömungsfeld ermittelt werden. Streng genommen sind die mit diesen Verfahren gewonnen Ergebnisse nur für eine stationäre Strömung gültig. Auch für die als Messturbinen bekannten Sensoren nach dem Schaufelradprinzip gilt diese Einschränkung.

Zur Vermeidung der Installation großer Pumpen ist bei intermittierendem Betrieb von Hydraulikanlagen die Verwendung von hydropneumatischen Speichern üblich. Dies ermöglicht zwar die Darstellung großer Volumenströme für eine bestimmte Zeit, ist aber mit



erheblichem Aufwand verbunden und bedingt eine lange Speicherladezeit zwischen den einzelnen Messungen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, das die Bestimmung der Durchflusskennlinien und ähnlicher, charakteristischer Eigenschaften hydraulischer Komponenten ermöglicht, ohne die genannten Nachteile zu besitzen.

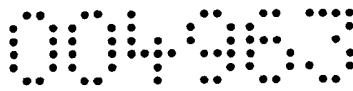
Gelöst wird die Aufgabe mit einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 19.

Bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

In der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird der zu vermessende Strömungswiderstand an zumindest eine lange Leitung mit in Längsrichtung konstanten Eigenschaften angeschlossen. Um ein Vorspannen der langen Leitung auf einen konstanten Druck zu ermöglichen wird zwischen den zu vermessenden Widerstand und die lange Leitung ein Wegeventil eingebaut. Bei geschlossenem Ventil wird die lange Leitung auf einen Druck vorgespannt, welcher höher ist als der Druck auf der Abströmseite des zu vermessenden Widerstands. Nach dem Öffnen des Ventils ist der zu vermessende Widerstand einerseits mit der Leitung verbunden und andererseits zur Abströmseite hin entlastet. Das innerhalb der Leitung unter Druck stehende Fluid strömt über den Prüfling aus. Eine Verdünnungswelle läuft die lange Leitung entlang und wird, da sich die Leitungseigenschaften in axialer Richtung nicht ändern, erst am Ende der Leitung reflektiert. Die Zeitspanne zwischen dem Aussenden der Druckwelle beim Öffnen des Ventils und dem Eintreffen dieser Druckwelle am Ende der Leitung kann aus der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit und der Leitungslänge bestimmt werden. Dieselbe Zeitspanne verstreicht ein zweites Mal bis die reflektierte Welle wieder am Ventil ankommt. Vom Öffnen des Ventils bis zum Eintreffen der reflektierten Welle gilt am ventilseitigen Leitungsende die Joukowsky-Beziehung: Die Änderung des Druckes relativ zum Vorspanndruck vor Öffnen des Ventils ist proportional zum Volumenstrom. Der Proportionalitätsfaktor ist als charakteristische Leitungsimpedanz oder Wellenwiderstand bekannt. Somit genügt es, die Leitungslänge hinreichend lang zu wählen, sodass die Bedingung der Reflexionsfreiheit über den gesamten Öffnungsvorgang des Ventils und darüber hinaus für eine zur Ausbildung eines quasistationären Strömungszustandes im Prüfling ausreichende Zeitspanne erfüllt ist. Aus der Messung des Druckes vor und nach dem zu untersuchenden Strömungswiderstand ist der Druckabfall bekannt. Der Volumenstrom wird aus einer Druckmessung am prüflingsseitigen Ende der langen Leitung vermöge der Joukowsky'schen Relation bestimmt.

Das Aufbringen des Vorspanndruckes am Beginn eines Experiments kann mit einer vergleichsweise kleinen Druckmittelversorgungseinheit erfolgen, da bei geschlossenem Ventil nur ein Kompressionsvolumen in die Leitung gefördert werden muss, aber kein stationärer Volumenstrombedarf besteht. Durch die Ausnutzung der Joukowsky'schen Beziehung zwischen Druck und Volumenstrom in der Leitung wird es möglich, die transient auftretenden Durchflüsse zu bestimmen.

Falls der zu vermessende Prüfling ein Wegeventil ist, besteht eine vorteilhafte



Ausführungsform darin, das in der vorstehenden Ausführungsform beschriebene Wegeventil wegzulassen, und den Prüfling selbst für die Unterbrechung des Druckmittelstroms zu benutzen.

Um eine dynamische Rückwirkung der Abströmseite auf das Messergebnis zu verhindern bzw. um den Einfluss der Abströmseite ebenso einfach wie jenen der Zuströmseite zu gestalten ist es vorteilhaft, auch auf der Abströmseite eine lange Leitung vorzusehen. Aus Gründen einer gleichen Laufzeit ist eine gleiche Länge beider Leitungen anzustreben.

Um den Nachteil eines durch die langen Leitungen sehr hohen Platzbedarfes der Vorrichtung zu lindern, wird in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgeschlagen, die Leitungen annähernd in der Form einer Schraubenlinie zu konstruieren.

Eine vorteilhafte Weiterbildung betrifft die Applikation von Temperatursensoren zur Erfassung der Druckmitteltemperatur in der Zuströmleitung bzw. in der Abströmleitung. Dadurch wird es möglich, die während der Experimente aufgetretenen Druckmitteltemperaturen zu dokumentieren.

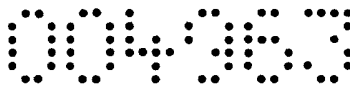
Die primäre Aufgabe der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Erzeugung und Messung eines Volumenstromes durch den Prüfling während einer im Vergleich zu den bei stationären Widerstandsmessungen üblichen Aufzeichnungsdauern sehr kurzen Zeitspanne. Zwar können nach dem Ende dieser für die Messung relevanten Zeitspanne auftretende Effekte die Messung nicht mehr beeinflussen, allerdings ist sicherzustellen, dass die Versuchseinrichtung nicht durch zu hohe Druckspitzen oder Kavitation in Mitleidenschaft gezogen wird oder ein unnötig hoher Lärmpegel verursacht wird. Zur Vermeidung dieser nachteiligen Effekte wird in einer bevorzugten Weiterbildung vorgeschlagen, an dem dem Prüfling gegenüberliegenden Ende der Leitungen druckmittelspeichernde Elemente, beispielsweise hydropneumatische Speicher, vorzusehen.

Eine bevorzugte Weiterbildung der letztgenannten Ausführungsform besteht darin, die druckmittelspeichernden Element nicht direkt an die Leitungen anzubinden sondern indirekt über Stetigventile anzuschließen. Dadurch wird eine gezielte Beeinflussung des Ausschwingverhaltens der Vorrichtung möglich.

Zur Vorspannung der Abströmleitung ist es vorteilhaft, an dem dem Prüfling gegenüberliegenden Ende ein Druckventil, beispielsweise ein Druckbegrenzungsventil, vorzusehen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der genannten Ausführungsformen besteht darin, für die Einstellung der Leitungsdrücke eine Steuerung oder Regelung des Ausgangdruckes der Druckmittelversorgungseinheiten oder des Arbeitsanschlussdruckes der Druckventile zu verwenden.

Da das Messergebnis durch den in der Joukowsky-Relation enthaltenen Wellenwiderstand beeinflusst wird, ist es vorteilhaft, diese Impedanz durch eine Kalibriermessung zu bestimmen. Für den Fall, dass die Dichte des Fluids bekannt ist, wird in einer bevorzugten Weiterbildung vorgeschlagen, eine Laufzeitmessung zur Bestimmung der



4

Wellenausbreitungsgeschwindigkeit vorzusehen. Aus der Kenntnis von Dichte, Wellenausbreitungsgeschwindigkeit und lichtem Leitungsquerschnitt kann die Impedanz berechnet werden.

Wird eine Kalibrierung der Joukowsky-Relation ohne Kenntnis der Fluidichte gefordert, so kann in Weiterbildung der Erfindung vorgesehen sein, ein mit der zu kalibrierenden Leitung in Verbindung stehendes Verdrängerelement und eine Vorrichtung zur Erfassung der Geschwindigkeit und damit des Volumenstromes dieses Verdrängerelementes vorzusehen.

Um einen Einfluss des für die Kalibriermessung vorgesehenen Verdrängerelements auf die Hauptmessung zu vermeiden ist es vorteilhaft, eine Feststellvorrichtung für das Verdrängerelement vorzusehen.

In den Zeichnungen ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen: Fig. 1 das grundlegende Messprinzip, Fig. 2 die Verwendung eines druckmittelspeichernden Elementes und eines Stetigventiles an dem dem Prüfling gegenüberliegenden Leitungsende, Fig. 3 die Verwendung von langen Leitungen sowohl auf der Zuström- als auch auf der Abströmseite, Fig. 4 eine symmetrische Ausführungsform und Fig. 5 eine Kalibriervorrichtung mit einem Verdrängerelement.

In Fig. 1 ist der Prüfling 1 in Serie zu einer Zuströmleitung 2 und einem Ventil 7 eingebaut. Zwischen der Zuströmleitung und dem Prüfling sitzt ein Drucksensor 4. Ein weiterer Drucksensor 5 befindet sich zwischen dem Prüfling und dem Ventil 7. Somit ist der bei der Durchströmung am Prüfling abfallende Druck bekannt. Zu Beginn einer Messung wird das Ventil 7 geschlossen und die Zuströmleitung 2 durch die Druckmittelversorgungseinheit 6 vorgespannt. Nach Erreichen des gewünschten Vorspanndruckes wird so lange gewartet, bis aus einem konstanten Drucksignal am Sensor 4 auf eine in Ruhe befindliche Druckmittelsäule in der Zuströmleitung geschlossen werden kann. Der dem Prüfling abgewandte Arbeitsanschluss des Ventils 7 ist über die Abströmleitung 3 entlastet. Ausgehend von diesem Zustand wird das Ventil 7 geöffnet. Der aus der Zuströmleitung über den Prüfling ausgehende Volumenstrom wird aus der relativ zum Ausgangsdruck gemessenen Druckänderung am Sensor 4 bestimmt. Die Länge der Leitung 2 ist so gewählt, dass die vom Ventil 7 ausgehende und an der Druckmittelversorgungseinheit 6 reflektierte Welle erst nach dem Ende der Messdauer am Sensor 4 eintrifft und so das Messergebnis nicht beeinflussen kann.

Fig. 2 zeigt die Vorgangsweise bei Prüflingen, welche selbst Schaltventile sind. Der Prüfling 1 selbst übernimmt auch die Funktion des Ventils 7. Weiters dargestellt ist die Verwendung eines druckmittelspeichernden Elementes 8 und eines Stetigventiles 9 zur Vermeidung von Kavitation und störenden Druckspitzen nach der für die Messung relevanten Phase eines Experiments.

In Fig. 3 ist die Verwendung einer langen Leitung 3 auch auf der Abströmseite sowie eines Druckventils 10 zur Einstellung eines Gegendruckes dargestellt.

Fig. 4 zeigt eine symmetrische Ausbildungsform mit einer zentralen Druckmittelversorgungseinheit 6 und zwei Druckventilen 10 zur Einstellung der

004953

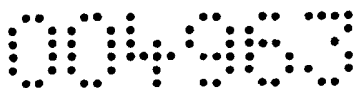
5

Vorrichtung und Verfahren
zur Vermessung von Strömungswiderständen

LCM GmbH, 18. 4. 2007
Beschreibung 5 / 5

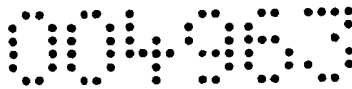
Leitungsdrücke.

Fig. 5 enthält eine Kalibriervorrichtung 11. Darin wird der Weg eines Verdrängerlementes 12 mit einem Sensor 13 erfasst. Somit ist es möglich, auf den von der Kalibriervorrichtung 11 aufgenommenen bzw. abgegebenen Volumenstrom zu schließen und die auf der Joukowsky-Relation beruhende Messung zu kalibrieren. Um einen Einfluss der Kalibriermessung auf die Hauptmessung zu verhindern ist eine Feststellvorrichtung 14 für das Verdrängerelement 12 vorgesehen.



PATENTANSPRÜCHE:

1. Vorrichtung zur Vermessung des Zusammenhanges zwischen Druckabfall und Durchfluss an Strömungswiderständen, beispielsweise Hydraulikventilen, mit wenigstens einem Prüfling (1), wenigstens einer Zuströmleitung (2), wenigstens einer Abströmleitung (3), wenigstens einem Drucksensor (4) an der Zuströmseite, wenigstens einem Drucksensor (5) an der Abströmseite, wenigstens einer Druckmittelversorgungseinheit (6), dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Zuströmleitung (2) und der Abströmleitung (3) in Serienschaltung zum Prüfling (1) wenigstens ein Ventil (7) für die zeitweilige Unterbrechung des Druckmittelstromes durch den Prüfling (1) vorgesehen ist, und dass wenigstens eine der beiden Leitungen (2) bzw. (3) eine Länge aufweist, die größer ist als das Produkt aus der Schaltzeit des Ventils (7) und der aus dem effektiven Kompressionsmodul und der Dichte des verwendeten Druckmittels sich ergebenden Wellenausbreitungsgeschwindigkeit.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (7) der zu vermessende Prüfling (1) ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Zuströmleitung (2) gleich der Länge der Abströmleitung (3) ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine der Leitungen (2) bzw. (3) auf der ganzen Länge oder abschnittsweise exakt oder annähernd in der Form einer Schraubenlinie ausgeführt ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Temperatursensor zur Erfassung der Druckmitteltemperatur in der Zuströmleitung (2) vorgesehen ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Temperatursensor zur Erfassung der Druckmitteltemperatur in der Abströmleitung (3) vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass am Verbraucheranschluss der Druckmittelversorgung (6) mindestens ein druckmittelspeicherndes Element (8) angeordnet ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das druckmittelspeichernde Element (8) ein hydropneumatischer Speicher ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem druckmittelspeichernden Element (8) und der Zuströmleitung (2) ein Stetigventil (9) angeordnet ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende der Abströmleitung (3) wenigstens ein Druckventil (10) vorgesehen ist.



11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende der Abströmleitung wenigstens ein druckmittelspeicherndes Element (8) angeordnet ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das druckmittelspeichernde Element (8) ein hydropneumatischer Speicher ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Abströmleitung (3) und dem druckmittelspeichernden Element (8) ein Stetigventil (9) vorgesehen ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende der Abströmleitung wenigstens eine Druckmittelversorgungseinheit (6) vorgesehen ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine zentrale Druckmittelversorgungseinheit (6) und wenigstens zwei Druckventile (10) zur Einstellung der Drücke am Beginn der Zuströmleitung (2) und am Ende der Abströmleitung (3) vorgesehen sind.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckmittelversorgungseinheit (6) mit einer Steuerung oder Regelung des Druckes am Verbraucheranschluss ausgestattet ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass in der Zu- oder Abströmleitung eine Kalibriervorrichtung (11) mit wenigstens einem Verdrängerelement (12) mit einem Sensor (13) zur Messung des verdrängten Volumens vorgesehen ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zur Arretierung des Verdrängerelementes (12) wenigstens eine Feststellvorrichtung (14) vorgesehen ist.
19. Verfahren zur Vermessung des Zusammenhanges zwischen Druckabfall und Durchfluss an Strömungswiderständen, beispielsweise Hydraulikventilen, bei dem wenigstens ein Prüfling zwischen wenigstens einer Zuströmleitung und wenigstens einer Abströmleitung in Reihe zu wenigstens einem Ventil unter Messung des am Prüfling abfallenden Druckes durchströmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Zu- und Abströmleitungen bei geschlossenem Ventil mit unterschiedlichen Drücken beaufschlagt werden und der nach dem Öffnen des Ventils durch den Prüfling fließende Volumenstrom oder Massenstrom aus dem zeitlichen Verlauf des Druckes in der Zuströmleitung oder in der Abströmleitung oder aus beiden Druckverläufen an Hand der Joukowsky-Relation ermittelt wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufnahme von Ventilkennlinien eine Reihe von Experimenten mit unterschiedlichen Vorspanndrücken durchgeführt wird.

004953

Vorrichtung und Verfahren
zur Vermessung von Strömungswiderständen

LCM GmbH, 18. 4. 2007
Ansprüche 3 / 3

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit in der Zu- bzw. Abströmleitung ein Druckstoß angeregt und eine Laufzeitmessung durchgeführt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kalibrierung des auf der Joukowsky-Relation beruhenden Messprinzips der von einer Kalibriervorrichtung mit einem Verdrängerelement abgegebene bzw. aufgenommene Volumenstrom gemessen wird.

004953

Vorrichtung und Verfahren
zur Vermessung von Strömungswiderständen

LCM GmbH, 18. 4. 2007
Zeichnungen 1 / 2

Fig. 1

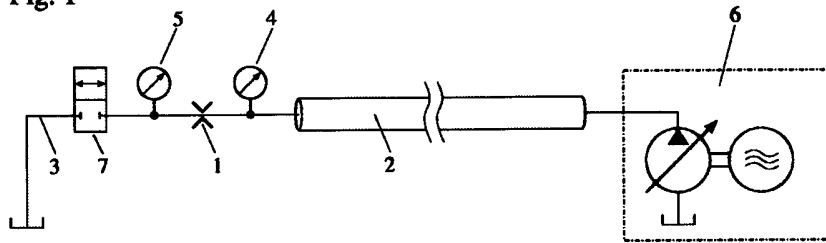


Fig. 2

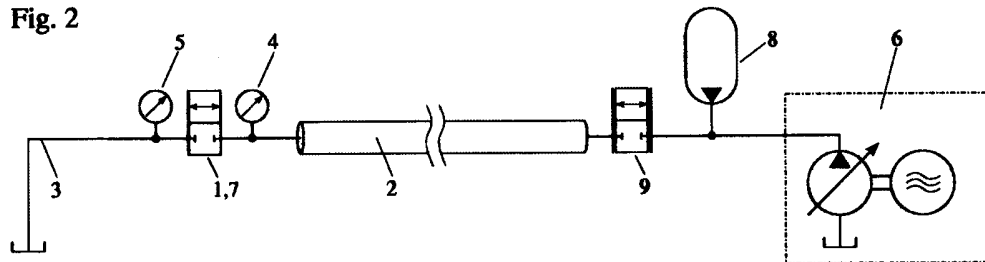


Fig. 3

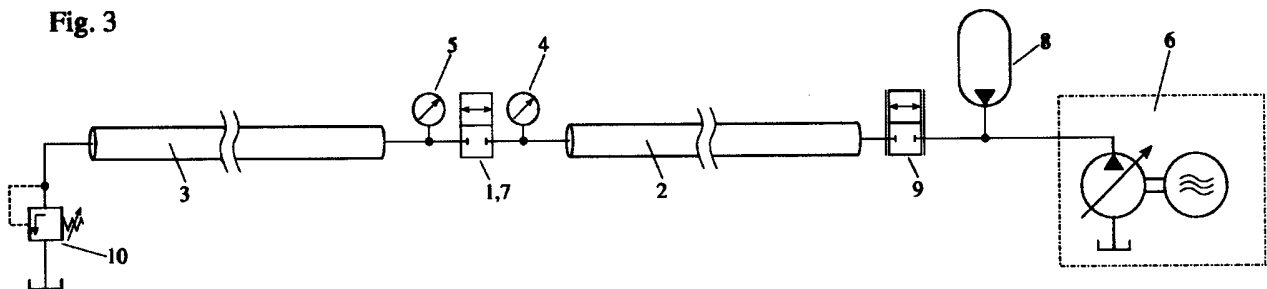
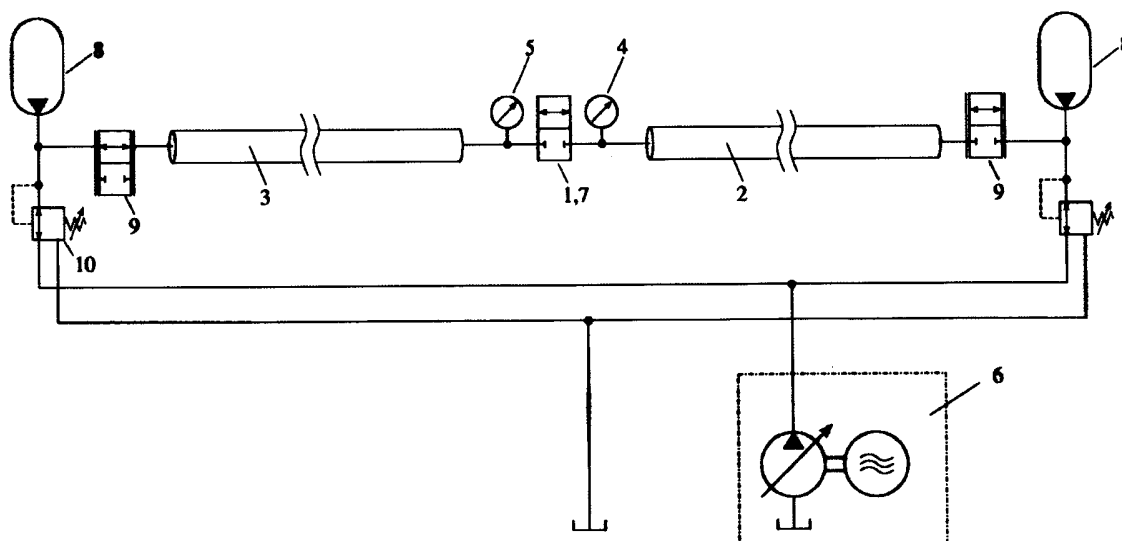


Fig. 4



004953

Vorrichtung und Verfahren
zur Vermessung von Strömungswiderständen

LCM GmbH, 18. 4. 2007
Zeichnungen 2 / 2

Fig. 5

