

(19)



(11)

EP 3 445 977 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.08.2024 Patentblatt 2024/34

(21) Anmeldenummer: **17717658.3**

(22) Anmeldetag: **11.04.2017**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F15B 11/00^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F15B 11/006; F15B 2211/30575; F15B 2211/6306; F15B 2211/6309; F15B 2211/6313

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2017/058637

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/182325 (26.10.2017 Gazette 2017/43)

(54) **VERFAHREN ZUR DRUCKLUFTVERSORGUNG EINES DRUCKLUFTVERBRAUCHERS**

METHOD FOR THE SUPPLY OF COMPRESSED AIR TO A COMPRESSED-AIR CONSUMER

PROCÉDÉ D'ALIMENTATION EN AIR COMPRIMÉ D'UN CONSOMMATEUR D'AIR COMPRIMÉ

(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: **21.04.2016 DE 102016206822**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.02.2019 Patentblatt 2019/09

(73) Patentinhaber: **Festo SE & Co. KG**
73734 Esslingen (DE)

(72) Erfinder:
• **NEUMANN, Rüdiger**
73760 Ostfildern (DE)

• **DOLL, Matthias**
73249 Wernau (DE)
• **RAGER, David**
73734 Esslingen (DE)

(74) Vertreter: **Patentanwälte Magenbauer & Kollegen**
Partnerschaft mbB
Plochinger Straße 109
73730 Esslingen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 403 529 WO-A1-2004/065798
DE-A1- 102005 013 823 DE-A1- 102006 058 913
DE-A1- 102009 017 879 US-A1- 2015 197 915

EP 3 445 977 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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Druckluftversorgung eines Druckluftverbrauchers, der zwei fluidisch getrennte, kinematisch gekoppelte Arbeitsräume aufweist, wobei jedem der Arbeitsräume eine unabhängig ansteuerbare Ventilanordnung zugeordnet ist, die zwischen einer Sperrstellung, einer ersten Funktionsstellung für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einer Fluidquelle und einer zweiten Funktionsstellung für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einer Fluidsenke eingestellt werden kann.

[0002] Gemäß einem der Anmelderin bekannten, druckschriftlich nicht niedergelegten Stand der Technik ist bei einem Verfahren zur Druckluftversorgung eines Druckluftverbrauchers vorgesehen, eine Position einer beweglichen Komponente des Druckluftverbrauchers, beispielsweise eines Arbeitskolbens eines Pneumatikzylinders, längs eines Bewegungswegs mit Hilfe eines Wegmesssystems zu ermitteln und ein vom Wegmesssystem bereitgestelltes Positionssignal an eine Verarbeitungseinrichtung bereitzustellen, in der eine Verarbeitung des Positionssignals erfolgt, um beispielsweise aus einem absoluten Betrag des Positionssignals und/oder einer zeitlichen Veränderung des Positionssignals wenigstens eine Information über eine Bewegung der beweglichen Komponente des Druckluftverbrauchers zu erhalten. Mit dieser Information wird anschließend eine der Verarbeitungseinrichtung zugeordnete Ventilanordnung angesteuert, um einen Fluidstrom in einen Arbeitsraum oder aus einem Arbeitsraum des Druckluftverbrauchers derart zu beeinflussen, dass die bewegliche Komponente des Druckluftverbrauchers an eine vorgegebene Position längs des Bewegungswegs und/oder mit einer vorgegebenen Geschwindigkeiten längs des Bewegungswegs bewegt werden kann. Auf Basis des Positionssignals des Wegmesssystems kann somit eine Steuerung oder Regelung einer Ventilstellung der Ventilanordnung erfolgen. Dabei führt die Veränderung der Ventilstellung in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen am Druckluftverbraucher und einer Druckluftquelle zu unterschiedlichen Fluidvolumenströmen zum Druckluftverbraucher, die von der Verarbeitungseinrichtung mittelbar über das Positionssignal des Wegmesssystems erfasst werden und zu einer neuerlichen Anpassung der Ventilstellung führen.

[0003] Die DE 10 2009 017879 A1 offenbart ein fluidtechnisches System mit einer Ventileinrichtung zur Fluidversorgung fluidischer Verbraucher, die mehrere Ventilmodule aufweist; die Ventilmodule umfassen jeweils einen Kanalkörper und vier 2/2-Wegeventile, die in einer Vollbrückenordnung miteinander verschaltet sind und zwischen einer Sperrstellung und einer Freigabestellung umschaltbar sind; sowie mit einer Steuereinrichtung zur individuellen Ansteuerung der 2/2-Wegeventile der Ventilmodule. Es ist vorgesehen, dass der erste Arbeitskanal und der zweite Arbeitskanal von einem Verbindungskanal kommunizierend verbunden sind und dem Ventilm-

odul ein von der Steuereinrichtung individuell zwischen einer Sperrstellung und einer Freigabestellung umschaltbares Ventilmittel zur Beeinflussung eines freien Querschnitts des Verbindungskanals zugeordnet ist, um die kommunizierende Verbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Arbeitskanal zeitweilig freizugeben.

[0004] Die US 2015/197915 A1 offenbart ein hydraulisches System und ein Verfahren zur Energieeinsparung in einem solchen System. Das hydraulische System umfasst einen hydraulischen Aktuator mit einem Kopfende, einem Stangenende und einem dazwischen angeordneten Kolben. Das System umfasst außerdem eine Pumpe, die Flüssigkeit zum Aktuator pumpt, ein erstes Ventil, das stromabwärts des Stangenendes angeordnet ist, und ein zweites Ventil, das zwischen der Pumpe und dem Kopfende des Aktuators angeordnet ist. Wenn sich das System in einem Lastüberlaufzustand befindet, ist das zweite Ventil teilweise geschlossen, um den Fluss einer kombinierten Flüssigkeit zu beschränken. Die kombinierte Flüssigkeit umfasst die von der Pumpe erhaltene Flüssigkeit und die vom Stangenende des Aktuators erhaltene Flüssigkeit. Wenn sich das System im Zustand einer leichten Widerstandslast befindet, ist das zweite Ventil geöffnet, damit die kombinierte Flüssigkeit durch das zweite Ventil fließen kann.

[0005] Die WO 2004/065798 A1 offenbart ein Positionsteuersystem, das zum Steuern eines fluidbetriebenen Zylinders mit mindestens einer Fluidkammer verwendet wird, die durch einen Kolben definiert wird, der sich in einem Gehäuse befindet, für eine Bewegung zwischen ersten und zweiten Endgrenzen des Hubs. Das System umfasst mindestens zwei elektrisch betätigte Proportionalstromregelventile, die mit jedem Anschluss des Zylinders verbunden sind, um den Flüssigkeitsstrom in die und aus der mindestens einen Kammer selektiv und proportional zu steuern. Zur Messung des Flüssigkeitsdrucks in Bezug auf jede Kammer ist mindestens ein Drucksensor vorgesehen. Mindestens ein diskreter Positionssensor ist neben einem Mittelpunkt des Zylinders angeordnet, um eine diskrete Mittelposition des Kolbens zu erfassen. Eine Steuerung umfasst ein Programm und ist betriebsmäßig angeschlossen, um die Betätigung der mindestens zwei Ventile als Reaktion auf den von dem mindestens einen Drucksensor gemessenen Druck und die von dem mindestens einen Positionssensor gemessene Position zu steuern.

[0006] Die DE 10 2006 058913 A1 offenbart eine Steuerungsvorrichtung für ein Getriebe mit einer Druckmittelquelle, einer mit der Druckmittelquelle verbundenen ersten und zweiten steuerbaren Ventileinrichtung, einer Stelleinrichtung zum Verstellen des Getriebes mit einer ersten Druckmittelkammer, die mit der ersten steuerbaren Ventileinrichtung verbunden ist, und einer zweiten Druckmittelkammer, die mit der zweiten steuerbaren Ventileinrichtung verbunden ist, wobei die Druckmittelkammern durch einen bewegbaren Kolben voneinander getrennt sind, der von einer ersten Stellung über eine Zwischenstellung in eine zweite Stellung bewegt werden

kann, und einer Steuerungseinrichtung zum Steuern der steuerbaren Ventileinrichtungen. Die Steuerungseinrichtung steht derart mit den steuerbaren Ventileinrichtungen in Wirkverbindung, dass die jeweiligen Drücke innerhalb der Druckmittelkammern unabhängig voneinander veränderbar sind, so dass der Kolben in die Zwischenstellung gebracht und dort gehalten werden kann. Es ist ferner ein Getriebe mit einer solchen Steuerungsvorrichtung sowie ein Verfahren zur Steuerung eines Getriebes offenbart.

[0007] Die EP 1 403 529 A2 offenbart mehrere hydraulische Aktoren, die zwischen einer Vorlaufleitung und einer Tankrücklaufleitung geschaltet sind. Für jeden hydraulischen Aktuator wird eine eigene Sollgeschwindigkeit abgefragt. Als Reaktion auf einen jeweiligen Dosiermodus und die gewünschte Geschwindigkeit für jeden hydraulischen Aktuator werden die Durchflussanforderungen abgeleitet, die jeder hydraulische Aktuator von den Zufuhr- und Rücklaufleitungen hat. Es wird ermittelt, welche Anteile der erforderlichen Durchflussmengen durch die in den Vor- und Rücklaufleitungen verfügbaren Durchflussmengen bereitgestellt werden können. Diese Bruchteile werden verwendet, um die gewünschte Geschwindigkeit für den gegebenen hydraulischen Aktuator in einen Geschwindigkeitsbefehl umzuwandeln, der die Geschwindigkeit des gegebenen hydraulischen Aktuators angibt, die mit den verfügbaren Fluidströmen erreicht werden kann. Der jeweilige Geschwindigkeitsbefehl wird verwendet, um den Flüssigkeitsfluss zu jedem hydraulischen Aktuator zu steuern.

[0008] Die DE 10 2005 013823 A1 offenbart ein Hydrauliksystem, das ein elektrohydraulisches Ventil aufweist, das Fluiddurchfluss steuert, um ein hydraulisches Stellorgan, wie etwa einen Zylinder oder einen Motor, zu betätigen. Ein Satz von Charakterisierungsdaten wird bereitgestellt, die das Leistungsvermögen des elektrohydraulischen Ventils als Funktion von Änderungen des Differenzdrucks über diesem Ventil beschreiben. Das Hydrauliksystem wird betätigt bzw. betrieben durch Spezifizieren einer gewünschten Bewegung des Hydraulikstellorgans und in Reaktion auf die Gewinnung eines gewünschten Ventildurchlässigkeitskoeffizienten, der einen Fluiddurchflusspegel durch das elektrohydraulische Ventil bezeichnet. Ein kompensiertes Steuersignal wird aus dem gewünschten Ventildurchlässigkeitskoeffizienten und den Charakterisierungsdaten erzeugt, um Effekten entgegenzuwirken, die Änderungen des Differenzdrucks auf einen Fluiddurchfluss haben. Das elektrohydraulische Ventil wird in Reaktion auf das kompensierte Steuersignal aktiviert.

[0009] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Druckluftversorgung eines Druckluftverbrauchers bereitzustellen, mit dem eine verbesserte Bereitstellung von Druckluft für einen Druckluftverbraucher ermöglicht wird.

[0010] Diese Aufgabe wird für ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass jede der beiden Ventilanordnungen individuell in Abhängigkeit von

einer vorgebbaren Bewegungsaufgabe für den Druckluftverbraucher und in ausschließlicher Abhängigkeit von wenigstens zwei Druckwerten aus der Gruppe: Versorgungsdruck, erster Arbeitsraumdruck, zweiter Arbeitsraumdruck, Auslassdruck, für eine Bereitstellung eines vorgebbaren Verlaufs für einen Fluidmassenstrom oder für eine Bereitstellung eines vorgebbaren Verlaufs für einen Fluidruck im jeweiligen Arbeitsraum oder für eine Bereitstellung eines vorgebbaren Verlaufs eines Ventilquerschnitts eingestellt wird, wobei eine Belüftung eines ersten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für einen ersten Fluidruck und eine Entlüftung eines zweiten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für einen zweiten Fluidmassenstrom oder einem vorgebbaren Verlauf für eine Ventilstellung der dem zweiten Arbeitsraum zugeordneten Ventilanordnung erfolgt.

[0011] Bei einem als Aktor ausgebildeten Druckluftverbraucher, insbesondere einem Pneumatikzylinder, kann eine Bewegungsaufgabe beispielhaft darin bestehen, eine mit dem Druckluftverbraucher gekoppelte Maschinenkomponente längs eines, insbesondere geradlinigen, Bewegungswegs aus einer ersten Funktionsstellung in eine zweite Funktionsstellung zu bewegen. Ferner kann die Bewegungsaufgabe weitere Randbedingungen wie eine maximale Zeitdauer für die Bewegung der Maschinenkomponente und/oder eine minimale und/oder eine maximale Beschleunigung bei der Bewegung der Maschinenkomponente umfassen. Um den Bedingungen der Bewegungsaufgabe gerecht zu werden, ist eine Koordination für die Ansteuerung der beiden Ventilanordnungen erforderlich, die beispielsweise von einer Verarbeitungseinrichtung durchgeführt wird. Diese Koordination umfasst die Ermittlung von wenigstens zwei Druckwerten, die mit Hilfe von Drucksensoren an oder in Fluidleitungen ermittelt werden können, mit denen die Ventilanordnungen mit dem Druckluftverbraucher oder mit einer Fluidquelle oder einer Fluidsenke verbunden sind. Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass die Koordination der Ansteuerung der beiden Ventilanordnungen ausschließlich auf Basis von Druckwerten durchgeführt wird, so dass auf aufwändige messtechnische Einrichtungen wie beispielsweise ein Wegmesssystem verzichtet werden kann. Als Versorgungsdruck wird ein Druck bezeichnet, der von einer Fluidquelle bereitgestellt wird. Als Arbeitsraumdruck wird ein Druck bezeichnet, der in einem Arbeitsraum des Druckluftverbrauchers vorliegt. Als Auslassdruck wird ein Druck bezeichnet, der an einem Fluidauslass einer Ventilanordnung vorliegt.

[0012] Die zur Durchführung des Verfahrens vorgesehene Verarbeitungseinrichtung dient zur Ansteuerung der beiden Ventilanordnungen und nimmt die Ansteuerung der beiden Ventilanordnungen in einer Weise vor, dass für wenigstens einen der beiden Arbeitsräume des Luftverbrauchers ein Verlauf eines Fluidmassenstroms oder eines Fluiddrucks vorgegeben werden kann oder ein Ventilquerschnitt der Ventilanordnung, die dem jeweiligen Arbeitsraum zugeordnet ist, eingestellt werden kann.

[0013] Alternativ, jedoch nicht als Gegenstand der Erfindung kann vorgesehen sein, dass eine Belüftung eines ersten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für einen ersten Fluidmassenstrom und eine Entlüftung eines zweiten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für einen zweiten Fluidmassenstrom, insbesondere bei konstantem Verhältnis von erstem Fluidmassenstrom zu zweitem Fluidmassenstrom, erfolgt. Hierdurch können beispielsweise Fluidmassenströme für die Arbeitsräume eines doppeltwirkend ausgebildeten Pneumatikzylinders, der zur Bewegung einer Maschinenkomponente vorgesehen ist, derart eingestellt werden, dass eine Bewegungsgeschwindigkeit einer Kolbenstange des Pneumatikzylinders innerhalb eines vorgebbaren Geschwindigkeitsfensters liegt und unmittelbar vor einem Erreichen einer mechanisch bedingten Endstellung für die Maschinenkomponente und/oder die Kolbenstange eine Abbremsung der Kolbenstange erfolgt. Durch diese Abbremsung kann vermieden werden, dass die Maschinenkomponente und/oder die Kolbenstange auf einen Endanschlag aufläuft und dadurch verschleißt. Zudem können die Fluidmassenströme für die Arbeitsräume des Druckluftverbrauchers derart bemessen sein, dass sich die Abbremsung als Resultat eines energieeffizienten Betriebs des Druckluftverbrauchers einstellt. Hierzu kann beispielhaft vorgesehen werden, eine Energiezufuhr an den Druckluftverbraucher, die durch Bereitstellung von Druckluft erfolgt, derart zu bemessen, dass die zugeführte Energie exakt dazu ausreicht, den Druckluftverbraucher aus einer ersten Funktionsstellung in eine zweite Funktionsstellung zu bewegen, ohne dass am Ende des Bewegungsverlaufs zusätzliche Energie zur Abbremsung des Druckluftverbrauchers zugeführt werden muss. Bei einer Versorgung eines Druckluftverbrauchers, bei dem ein Größenverhältnis zwischen den beiden größenveränderlichen Arbeitsräumen konstant ist, kann durch Bereitstellung von Fluidströmen an die jeweiligen Arbeitsräume, die ebenfalls in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen, eine gleichförmige Bewegung des Druckluftaktors herbeigeführt werden.

[0014] Dies gilt insbesondere dann, wenn für den ersten Fluidmassenstrom und für den zweiten Fluidmassenstrom jeweils ein konstanter Verlauf vorgesehen ist.

[0015] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine Belüftung eines ersten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für einen ersten Fluiddruck und eine Entlüftung eines zweiten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für einen zweiten Fluidmassenstrom oder einem vorgebbaren Verlauf für eine Ventilstellung der dem zweiten Arbeitsraum zugeordneten Ventilanordnung erfolgt. Eine Belüftung des ersten Arbeitsraums mit einem vorgebbaren Verlauf für den ersten Fluiddruck ist insbesondere dann von Interesse, wenn der Druckluftverbraucher, bei dem es sich insbesondere um einen Pneumatikzylinder handeln kann, für die auszuführende Bewegungsaufgabe überdimensioniert ist. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn bei einer Maschinenkonstruktion aus Kostengründen und/oder Verfüg-

barkeitsgründen auf Standardzylinder zurückgegriffen wird, die gegebenenfalls einen größeren Hub und/oder eine größere Maximalkraft bereitstellen, als dies durch die Bewegungsaufgabe erfordert wird. In einem solchen Fall kann durch Begrenzung des Fluiddrucks, der an den zu belüftenden Arbeitsraum bereitgestellt wird, trotz einer gewissen Überdimensionierung des Druckluftverbrauchers ein energieeffizienter Betrieb des Druckluftverbrauchers gewährleistet werden. Bei einer solchen Betriebsweise kann auch von einem virtuellen Versorgungsdruck für den Druckluftverbraucher gesprochen werden, der mit Hilfe derjenigen Ventilanordnung bereitgestellt wird, die diesem Arbeitsraum zugeordnet ist. Darüber hinaus kann durch Vorgabe eines Fluidmassenstroms für die Entlüftung des anderen Arbeitsraums eine definierte, insbesondere konstante, Bewegungsgeschwindigkeit für das Aktorelement des Druckluftverbrauchers gewährleistet werden. Alternativ kann vorgesehen sein, eine Ventilstellung für diejenige Ventilanordnung, die mit dem zu entlastenden Arbeitsraum verbunden ist, gemäß einem vorgebbaren Verlauf zu beeinflussen, um hierüber in einfacher Weise eine Maximalgeschwindigkeit für das Aktorelement zu begrenzen.

[0016] In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass eine Position eines beweglich in einem Aktorgehäuse aufgenommenen Aktorelements anhand wenigstens eines Fluidmassenstroms ermittelt wird, der eine der Ventilanordnungen durchströmt. Somit kann ohne ein aufwändiges Wegmesssystem eine Position des Aktorelements ermittelt werden, dies gilt beispielsweise bei einer Ausführung des Druckluftverbrauchers als Pneumatikzylinder, bei dem das Aktorelement exemplarisch durch den Arbeitskolben und die damit verbundene Kolbenstange gebildet werden kann. Die hierdurch ermittelte Position kann beispielhaft dazu genutzt werden, Einfluss auf einen Bewegungsverlauf für den Druckluftverbraucher zu nehmen, beispielsweise um ein sanftes Anfahren einer Position zu gewährleisten.

[0017] Bevorzugt ist vorgesehen, dass der wenigstens eine Fluidmassenstrom mit den nachfolgenden Schritten ermittelt wird: Ermitteln eines ersten Fluiddrucks in einem ersten Abschnitt eines Fluidkanals einer Ventilanordnung, der sich zwischen einem Eingangsanschluss für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einer Fluidquelle oder Fluidsenke und einem Ventilelement erstreckt, Ermitteln eines zweiten Fluiddrucks in einem zweiten Abschnitt des Fluidkanals der Ventilanordnung, der sich zwischen dem Ventilelement und einem Ausgangsanschluss für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einem Druckluftverbraucher erstreckt, Ermitteln eines Durchflusswerts für das Ventilelement aus den beiden Fluiddrücken und einer Durchflussfunktion, Verknüpfen des Durchflusswerts mit einem vorgebbaren Fluidvolumenstrom oder Fluidmassenstrom für das druckbeaufschlagte Fluid, der zur Durchströmung des Fluidkanals vorgesehen ist, zu einem Leitwert und Ermittlung einer benötigten Betätigungsenergie für eine Betätigungseinrichtung, die für eine Betätigung des Ven-

tilelements ausgebildet ist, und Bereitstellen der Betätigungsenergie an die Betätigungseinrichtung zur Einstellung des vorgebbaren Fluidvolumenstroms oder Fluidmassenstroms.

[0018] Die Zielsetzung dieses Verfahrens besteht somit darin, anhand der ermittelten Druckwerte und in Kenntnis der fluidtechnischen Eigenschaften des verwendeten Ventilelements einen Fluidvolumenstrom oder Fluidmassenstrom für den Druckluftverbraucher auf einen vorgebbaren Fluidvolumenstrom einstellen zu können und damit unmittelbar Einfluss auf ein Bewegungsverhalten des Druckluftverbrauchers, bei dem es sich beispielsweise um einen Druckluftantrieb, insbesondere um einen Pneumatikzylinder oder pneumatischen Schwenkantrieb handelt, nehmen zu können. Der Fluidvolumenstrom beschreibt das strömende Fluidvolumen pro Zeiteinheit. Beim Fluidmassenstrom wird zusätzlich die Dichte des Fluids mit berücksichtigt, wodurch der Berechnungsaufwand reduziert werden kann. Zudem Somit kann auch der messtechnische Aufwand für die Steuerung oder Regelung der Druckluftversorgung für den Druckluftverbraucher gering gehalten werden. Dies wird insbesondere dadurch erreicht, dass für die Durchführung des Verfahrens lediglich Drucksensoren erforderlich sind, die zur Ermittlung von Fluiddrücken in den jeweiligen Abschnitten des Fluidkanals der Ventilanordnung ausgebildet sind. Abgesehen davon, dass hierdurch auf ein typischerweise recht kostenintensives Wegmesssystem verzichtet werden kann, ergeben sich weitere Vorteile dadurch, dass die Drucksensoren in unmittelbarer Nähe des Ventilelements sowie einer Verarbeitungseinrichtung angeordnet werden können, die für eine Auswertung der Drucksignale der Drucksensoren sowie für eine Ansteuerung der Betätigungseinrichtung ausgebildet ist. Somit kann eine elektrische Verbindung zwischen den Drucksensoren und der Verarbeitungseinrichtung mit kurzen elektrischen Leitungen verwirklicht werden.

[0019] Für die Durchführung des Verfahrens ist vorgesehen, sowohl den Druck in dem ersten Fluidkanalabschnitt als auch in dem zweiten Fluidkanalabschnitt zu ermitteln, wobei die Ventilkanalabschnitte in Abhängigkeit von einer Funktionsstellung des Ventilelements fluidisch getrennt voneinander oder fluidisch kommunizierend miteinander verbunden sind. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Ventilelement in Abhängigkeit von einer Bereitstellung von Energie, insbesondere elektrischer oder fluidischer Energie, an eine Betätigungseinrichtung frei, insbesondere proportional zur bereitgestellten Energiemenge, zwischen einer Schließstellung mit getrennter Verbindung der beiden Fluidkanalabschnitte und einer Öffnungsstellung mit freier kommunizierender Verbindung der beiden Fluidkanalabschnitte, bewegt werden kann.

[0020] Nachdem eine Ermittlung des ersten Fluiddrucks und des zweiten Fluiddrucks erfolgt ist, wird in einem nachfolgenden Schritt anhand der Fluiddrücke und einer Durchflussfunktion ein Durchflusswert ermit-

telt. Bei der Durchflussfunktion handelt es sich beispielsweise um eine Kurvenschar oder ein Kennfeld, in der/in dem Strömungseigenschaften des Ventilelements für ein Fluid, das das Ventilelement durchströmt, in Abhängigkeit von den Druckbedingungen vor und nach dem Ventilelement und in weiterer Abhängigkeit von einer Ventilstellung des Ventilelements hinterlegt sind. Der ermittelte Durchflusswert wird anschließend mit einem vorgebbaren Fluidvolumenstrom oder Fluidmassenstrom für das druckbeaufschlagte Fluids verknüpft, um einen Leitwert zu bilden. Dieser Leitwert wird dazu benötigt, eine Betätigungsenergie für die Betätigungseinrichtung, die für die Betätigung des Ventilelements ausgebildet ist, zu ermitteln. Anschließend erfolgt die Bereitstellung der ermittelten Betätigungsenergie an die Betätigungseinrichtung zur Einstellung des vorgebbaren Fluidvolumenstroms oder Fluidmassenstroms.

[0021] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass vorstehend näher beschriebenen Verfahren zyklisch zu wiederholen, um hierüber beispielhaft eine Regelung wenigstens eines Fluidvolumenstroms oder Fluidmassenstroms für den Druckluftverbraucher zu ermöglichen.

[0022] Bei dieser Vorgehensweise wird die Ventilanordnung in der Art eines Durchflussregelventils betrieben, wobei im Unterschied zu einem Durchflussregelventil auf einen aufwändigen und kostenintensiven Massenstromsensor verzichtet werden kann, da die gesamte Ermittlung des Fluidvolumenstroms oder Fluidmassenstroms durch die Ventilanordnung auf Basis der Druckwerte erfolgt, die von den Drucksensoren am oder im Fluidkanal bereitgestellt werden.

[0023] Vorteilhafteste Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0024] Zweckmäßig ist es, wenn der Durchflusswert aus der Durchflussfunktion ermittelt wird, die in Beziehung zu einem Quotienten des ersten Fluiddrucks und des zweiten Fluiddrucks gesetzt wird und/oder dass die Betätigungsenergie anhand des Leitwerts und einer, insbesondere experimentell ermittelten, Ventilkennlinie ermittelt wird. Das Druckverhältnis über dem Ventilelement, das als Quotient des ersten Fluiddrucks und des zweiten Fluiddrucks ermittelt werden kann, ist diejenige Größe, anhand derer unabhängig von einem Niveau des Fluiddrucks im Fluidkanal eine präzise Zuordnung zu Strömungseigenschaften des Ventilelements für ein Fluid, das das Ventilelement durchströmt, geschaffen werden kann. Die Ventilkennlinie stellt einen Zusammenhang zwischen einer Bereitstellung von Energie, insbesondere elektrischer oder fluidischer Energie, an das Ventilelement und einer daraus resultierenden Funktionsstellung für das Ventilelement her. Bevorzugt ist vorgesehen, die Ventilkennlinie in Beziehung zu dem ermittelten Leitwert zu setzen, um daraus die zur Erzielung einer angestrebten Funktionsstellung des Ventilelements notwendige Energie für die Betätigungseinrichtung ermitteln zu können.

[0025] Rein exemplarisch wird zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens eine Ventilein-

richtung der eingangs genannten Art verwendet, die zur Druckluftversorgung eines Druckluftverbrauchers ausgebildet ist, der zwei fluidisch getrennte, kinematisch gekoppelte Arbeitsräume aufweist, wobei jedem der Arbeitsräume eine unabhängig ansteuerbare Ventilanordnung zugeordnet ist. Hierbei umfasst jede der Ventilanordnungen einen Fluidkanal, der zwischen einem Eingangsanschluss für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einer Fluidquelle oder Fluidsenke und einem Ausgangsanschluss für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einem Druckluftverbraucher ausgebildet ist, sowie ein Ventilelement, das für eine Beeinflussung eines Querschnitts des Fluidkanals beweglich im Fluidkanal angeordnet ist und dem eine Betätigungseinrichtung zur Veränderung einer Funktionsposition zugeordnet ist, und eine Verarbeitungseinrichtung für eine Bereitstellung von Betätigungsenergie an die Betätigungseinrichtung, wobei einem ersten Abschnitt des Fluidkanals zwischen dem Eingangsanschluss und dem Ventilelement ein erster Drucksensor zugeordnet ist und wobei einem zweiten Abschnitt des Fluidkanals zwischen dem Ventilelement und dem Ausgangsanschluss ein zweiter Drucksensor zugeordnet ist, wobei die Verarbeitungseinrichtung für eine Durchführung eines wie vorstehend beschriebenen Verfahrens ausgebildet ist.

[0026] Bei einer Weiterbildung der Ventileinrichtung ist vorgesehen, dass die jeweiligen zweiten Abschnitte der jeweiligen Fluidkanäle zu einem gemeinsamen Ausgangsanschluss verbunden sind und dass die Eingangsanschlüsse mit unterschiedlichen Fluidquellen oder Fluidsenken verbunden sind.

[0027] In weiterer Ausgestaltung der Ventileinrichtung ist vorgesehen, dass die Verarbeitungseinrichtung mit zwei Paaren von jeweils zwei unabhängig voneinander ansteuerbaren Ventilanordnungen verbunden ist, wobei die zweiten Abschnitte der jeweiligen Fluidkanäle jeweils paarweise zu einem gemeinsamen Ausgangsanschluss verbunden sind und wobei ein erster Eingangsanschluss jedes Paares mit einer Fluidquelle und ein zweiter Eingangsanschluss jedes Paares mit einer Fluidsenke verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Verarbeitungseinrichtung für eine synchrone Druckluftversorgung der beiden Arbeitsräume mit vorgebbaren Fluidvolumenströmen durch wahlweise Ansteuerung der jeweiligen Ventilanordnungen ausgebildet ist.

[0028] Vorzugsweise ist die Ventilanordnung als Proportionalventil, insbesondere als fluidisch vorgesteuertes Proportionalventil, ausgebildet.

[0029] Rein exemplarisch wird zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens ein Datenträger mit einem Computerprogramm verwendet, das zur Speicherung in einer Verarbeitungseinrichtung einer Ventileinrichtung ausgebildet ist, wobei das Computerprogramm bei Verarbeitung in einem Prozessor der Verarbeitungseinrichtung ein wie vorstehend beschriebenes Verfahren bewirkt. Dabei kann es sich bei dem Datenträger portables Trägermedium wie beispielsweise eine CD, eine DVD oder einen USB-Speicher handeln. Alter-

nativ kann der Datenträger als Laufwerk oder Festkörperspeicher eines Datenservers ausgebildet sein, in dem eine Vielzahl von unterschiedlichen Daten abgespeichert sind, auf die über einen Fernzugriff von der Verarbeitungseinrichtung zugegriffen werden kann, insbesondere auf eine Datenwolke/Cloud.

[0030] In der Zeichnung ist ein fluidisches System dargestellt, mit dem das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann. Hierbei zeigt:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines fluidischen Systems mit einer Ventileinrichtung und einem Druckluftverbraucher, der zwei kinematisch miteinander gekoppelte Arbeitsräume aufweist.

[0031] Ein in der Figur 1 gezeigtes fluidisches System 1 ist rein exemplarisch zur Bereitstellung einer Linearbewegung ausgebildet und umfasst hierzu eine Ventileinrichtung 2 und einen Druckluftverbraucher 3. Beispielhaft ist die Ventileinrichtung 2 als pneumatische Vollbrückenschaltung mit insgesamt vier jeweils als 2/2-Wege-Proportionalventile ausgebildeten Ventilelementen 4, 5, 6 und 7 verwirklicht, wobei jedes der Ventilelemente 4, 5, 6 und 7 rein exemplarisch als Magnetventil mit einem Magnetantrieb 8, 9, 10 und 11 als Betätigungseinrichtung ausgebildet ist. Bei einer alternativen, nicht näher dargestellten Ausführungsform kann die Betätigungseinrichtung auch als Piezoantrieb oder magnetostriktiver oder anderweitig geeigneter Antrieb ausgebildet sein.

[0032] Jedes der Ventilelemente 4, 5, 6 und 7 kann bei geeigneter Beaufschlagung der zugeordneten Magnetantriebe 8, 9, 10 und 11 mit elektrischer Energie zwischen zwei Funktionsstellungen, insbesondere einer Sperrstellung und einer Öffnungsstellung, umgeschaltet werden. Hierzu sind die Magnetantriebe 8, 9, 10 und 11 über Steuerleitungen 15, 16, 17 und 18 mit einer Verarbeitungseinrichtung 19 elektrisch verbunden, die einen Bestandteil der Ventileinrichtung 2 bildet und beispielhaft einen Mikroprozessor oder Mikrocontroller umfasst.

[0033] Jedes der Ventilelemente 4, 5, 6 und 7 ist über zugeordnete Fluidleitungen 20 bis 27 mit fluidischen Knotenpunkten 28 bis 31 verbunden und bildet mit den jeweils paarweise zugeordneten Fluidleitungen 20 bis 27 jeweils eine nicht näher bezeichnete Ventilanordnung. Dabei werden die Fluidleitungen 20 bis 23 jeweils als erster Abschnitt eines Fluidkanals des jeweiligen Ventilelements 4, 5, 6 und 7 bezeichnet. Die Fluidleitungen 24 bis 27 werden hingegen als zweite Abschnitte eines Fluidkanals des jeweiligen Ventilelements 4, 5, 6 und 7 bezeichnet. Dabei münden die Fluidleitungen 20 und 21 gemeinsam an einem fluidischen Knotenpunkt 28 aus, die Fluidleitungen 22 und 23 münden gemeinsam an dem fluidischen Knotenpunkt 30 aus, die Fluidleitungen 24 und 25 münden gemeinsam an dem fluidischen Knotenpunkt 29 aus und die Fluidleitungen 26 und 27 münden gemeinsam an dem fluidischen Knotenpunkt 31 aus.

[0034] Rein exemplarisch ist der fluidische Knoten-

punkt 28 über eine Versorgungsleitung 36 mit einer Fluidquelle 32 verbunden, während der fluidische Knotenpunkt 30 über eine Abluftleitung 37 mit einem Fluidauslass verbunden ist, dem ein Schalldämpfer 33 zugeordnet ist. Der fluidische Knotenpunkt 29 bildet einen ersten Arbeitsanschluss der Ventileinrichtung 2 und ist über eine erste Anschlussleitung 38 mit einem Fluidanschluss 39 des Druckluftverbrauchers 3 verbunden, während der fluidische Knotenpunkt 31 einen zweiten Arbeitsanschluss der Ventileinrichtung 2 bildet und über eine zweite Anschlussleitung 40 mit einem Fluidanschluss 41 des Druckluftverbrauchers 3 verbunden ist.

[0035] Rein exemplarisch ist vorgesehen, dass der Versorgungsleitung 36, der Abluftleitung 37, der ersten Anschlussleitung 38 sowie der zweiten Anschlussleitung 40 jeweils ein Drucksensor 42 bis 45 zugeordnet ist, der jeweils für eine Erfassung des jeweiligen Fluiddrucks in der zugeordneten Leitung 36, 37, 38 und 40 sowie für eine Bereitstellung eines druckabhängigen Sensorsignals über eine jeweils zugeordnete Sensorleitung 46 bis 49 an die Verarbeitungseinrichtung 19 ausgebildet ist. Bei einer nicht näher dargestellten Ausführungsform ist wenigstens einer der Drucksensoren in einem Gehäuse für die Ventileinrichtung oder außerhalb eines solchen Gehäuses angeordnet.

[0036] Der Druckluftverbraucher 3 ist rein exemplarisch als doppelwirkender Pneumatikzylinder ausgebildet, bei dem ein auch als bewegliche Wand bezeichneter Arbeitskolben 50 linearbeweglich in einer Zylinderausnehmung 51 eines Zylindergehäuses 52 aufgenommen ist und dadurch einen ersten größenvariablen Arbeitsraum 53 von einem zweiten größenvariablen Arbeitsraum 54 trennt. Beispielhaft ist der Arbeitskolben 50 mit einer Kolbenstange 55 verbunden, die das Zylindergehäuse 52 stirnseitig durchsetzt und zusammen mit dem Arbeitskolben 50 längs eines geradlinigen Bewegungswegs 56 relativ zum Zylindergehäuse 52 verschoben werden kann.

[0037] Rein exemplarisch soll nachstehend beschrieben werden, welche Schritte in dem fluidischen System 1 durchzuführen sind, um eine Bewegung des Arbeitskolbens 50 mit der gekoppelten Kolbenstange 55 gemäß einem vorgebbaren Bewegungsprofil zu bewirken. Beispielhaft soll der Arbeitskolben 50 ausgehend von der Position gemäß der Darstellung der Figur 1 so bewegt werden, dass eine Stirnseite des Arbeitskolbens 50 in Anlage zu einer gegenüberliegend angeordneten Innenoberfläche 58 des Zylindergehäuses 52 kommt. Beispielhaft ist das vorgebbare Bewegungsprofil derart ausgebildet, das zunächst eine gleichförmige Beschleunigung des Arbeitskolbens 50 bis auf eine vorgebbare Zielgeschwindigkeit, anschließend eine gleichförmige Bewegung des Arbeitskolbens unter Beibehaltung der Zielgeschwindigkeit und zum Schluss eine Abbremsung des Arbeitskolbens 50 bis auf eine verschwindende Geschwindigkeit erfolgt.

[0038] Für die geplante Bewegung des Arbeitskolbens 50 ist eine Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid an den

Arbeitsraum 54 erforderlich, während eine Abfuhr von Fluid aus dem Arbeitsraum 53 vorgesehen werden muss. Um das gewünschte Bewegungsprofil erzielen zu können, ist die Bereitstellung von vorgebbaren Fluidvolumenströmen zweckmäßig, da hierüber die Bewegungsgeschwindigkeit für den Arbeitskolben präzise eingestellt werden kann. Dementsprechend ist beispielhaft eine Ansteuerung des Ventilelements 4 sowie des Ventilelements 6 vorzusehen, wobei über das Ventilelement 4 eine fluidisch kommunizierende Verbindung zwischen der Fluidquelle 32, dem fluidischen Knotenpunkt 29 und dem zweiten Fluidanschluss 39 hergestellt wird und wobei über das Ventilelement 6 eine fluidisch kommunizierende Verbindung zwischen dem ersten Fluidanschluss 41, dem fluidischen Knotenpunkt 31 und dem Fluidauslass mit zugeordneten Schalldämpfer 33 hergestellt wird.

[0039] Um die Bewegung des Arbeitskolbens 50 gemäß dem vorstehend geschilderten Bewegungsprofil durchführen zu können, ermittelt die Verarbeitungseinrichtung 19 zunächst die Sensorsignale der Drucksensoren 42 bis 45, um Druckverhältnisse über den beiden Ventilelementen 4 und 6 berechnen zu können. Anhand dieser Druckverhältnisse kann in einem nachfolgenden Schritt in der Verarbeitungseinrichtung 19 für jedes der Ventilelemente 4 und 6 ein Durchflusswert für das jeweilige Ventilelement 4, 6 aus den beiden Fluiddrücken und einer Durchflussfunktion ermittelt werden. Anschließend erfolgt eine Verknüpfung des jeweils ermittelten Durchflusswerts mit einem vorgebbaren Fluidvolumenstrom oder Fluidmassenstrom, der dem jeweiligen Arbeitsraum 53, 54 zur Verfügung gestellt werden soll, um die gewünschte Bewegung des Arbeitskolbens 50 gemäß dem Bewegungsprofil zu erzielen. Das Ergebnis dieser Verknüpfung wird als Leitwert bezeichnet und wird zur Ermittlung einer benötigten Betätigungsenergie für den jeweiligen Magnetantrieb 8, 10 benötigt. Die Betätigungsenergie wird für jeden der Magnetantriebe 8, 10 durch Verknüpfung des Leitwerts mit einer, insbesondere experimentell ermittelten, Ventilkennlinie ermittelt. Anschließend wird die Betätigungsenergie an die jeweiligen Magnetantriebe 8, 10 bereitgestellt und führt dort zu einer Bewegung der jeweiligen, nicht näher bezeichneten Ventilschieber der jeweiligen Ventilelemente 4, 6 und somit zur einer Freigabe einer fluidisch kommunizierenden Verbindung zwischen den jeweiligen fluidischen Knotenpunkten 28 und 29 bzw. 31 und 30.

[0040] Durch die Ansteuerung der jeweiligen Ventilelemente der 4, 6 stellt sich jeweils ein Fluidvolumenstrom oder Fluidmassenstrom zwischen der Fluidquelle 32 und dem Arbeitsraum 54 sowie zwischen dem Arbeitsraum 53 und dem Schalldämpfer 33 ein, der mit einer Änderung der Drücke in den jeweiligen Fluidleitungen 20 bis 27 einhergeht. Durch zyklisch wiederkehrende Bestimmung der Sensorsignale der Drucksensoren 42 bis 45 sowie die nachfolgende Verarbeitung der Druckverhältnisse gemäß der vorstehenden Vorgehensweise kann die Verarbeitungseinrichtung 19 die Fluidvolumenströme für die beiden Arbeitsräume 53, 54 des Druckluftverbrauchers

3 so einstellen, dass das gewünschte Bewegungsprofil für den Arbeitskolben 50 eingehalten wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Druckluftversorgung eines Druckluftverbrauchers (3), der zwei fluidisch getrennte, kinematisch gekoppelte Arbeitsräume (53, 54) aufweist, wobei jedem der Arbeitsräume (53, 54) eine unabhängig ansteuerbare Ventilanordnung zugeordnet ist, die zwischen einer Sperrstellung, einer ersten Funktionsstellung für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einer Fluidquelle (32) und einer zweiten Funktionsstellung für eine fluidisch kommunizierende Verbindung mit einer Fluidsenke (33) eingestellt werden kann und wobei jede der beiden Ventilanordnungen individuell in Abhängigkeit von einer vorgebbaren Bewegungsaufgabe für den Druckluftverbraucher (3) und in ausschließlicher Abhängigkeit von wenigstens zwei Druckwerten aus der Gruppe: Versorgungsdruck, erster Arbeitsraumdruck, zweiter Arbeitsraumdruck, Auslassdruck, für eine Bereitstellung eines vorgebbaren Verlaufs für einen Fluidmassenstrom oder für eine Bereitstellung eines vorgebbaren Verlaufs für einen Fluiddruck im jeweiligen Arbeitsraum oder für eine Bereitstellung eines vorgebbaren Verlaufs eines Ventilquerschnitts eingestellt wird, wobei eine Belüftung eines ersten Arbeitsraums (53, 54) mit einem vorgebbaren Verlauf für einen ersten Fluiddruck erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Entlüftung eines zweiten Arbeitsraums (53, 54) mit einem vorgebbaren Verlauf für einen zweiten Fluidmassenstrom oder einem vorgebbaren Verlauf für eine Ventilstellung der dem zweiten Arbeitsraum (53, 54) zugeordneten Ventilanordnung erfolgt.

Claims

1. Method for the compressed air supply of a compressed air consumer (3) having two fluidically separate, kinematically coupled working spaces (53, 54), wherein each of the working spaces (53, 54) is assigned a valve arrangement which can be independently controlled and can be configured between a blocking position, a first functional position for a fluidically communicating connection to a fluid source (32) and a second functional position for a fluidically communicating connection to a fluid sink (33) and wherein each of the two valve arrangements is configured individually depending on a predefinable movement task for the compressed air consumer (3) and depending exclusively on at least two pressure values from the following group: supply pressure, first working space pressure, second working space pressure, discharge pressure, for a provision

of a predefinable progression for a fluid mass flow or for a provision of a predefinable progression for a fluid pressure in the respective working space or for a provision of a predefinable progression of a valve cross-section, wherein an aeration of a first working space (53, 54) is effected with a predefinable progression for a first fluid pressure, **characterized in that** a ventilation of a second working space (53, 54) is effected with a predefinable progression for a second fluid mass flow or a predefinable progression for a valve position of the valve arrangement assigned to the second working space (53, 54).

Revendications

1. Procédé pour l'alimentation en air comprimé d'un consommateur d'air comprimé (3), qui présente deux chambres de travail (53, 54) séparées fluidiquement, accouplées de manière cinématique, dans lequel un ensemble de soupape pouvant être commandé de manière indépendante, qui peut être réglé entre une position de blocage, une première position fonctionnelle pour une liaison en communication fluide avec une source de fluide (32) et une deuxième position fonctionnelle pour une liaison en communication fluide avec un puits de fluide (33), est associé à chacune des chambres de travail (53, 54) et dans lequel chacun des deux ensembles de soupape est réglé individuellement en fonction d'une tâche de mouvement pouvant être prédéfinie pour le consommateur d'air comprimé (3) et en fonction exclusive d'au moins deux valeurs de pression dans le groupe : pression d'alimentation, première pression de chambre de travail, deuxième pression de chambre de travail, pression de sortie, pour une fourniture d'une variation pouvant être prédéfinie pour un débit massique de fluide ou pour une fourniture d'une variation pouvant être prédéfinie pour une pression de fluide dans la chambre de travail respective ou pour une fourniture d'une variation pouvant être prédéfinie d'une section transversale de soupape, dans lequel une aération d'une première chambre de travail (53, 54) avec une variation pouvant être prédéfinie pour une première pression de fluide s'effectue, **caractérisé en ce qu'**une désaération d'une deuxième chambre de travail (53, 54) avec une variation pouvant être prédéfinie pour un deuxième débit massique de fluide ou une variation pouvant être prédéfinie pour une position de soupape de l'ensemble de soupape associé à la deuxième chambre de travail (53, 54) s'effectue.

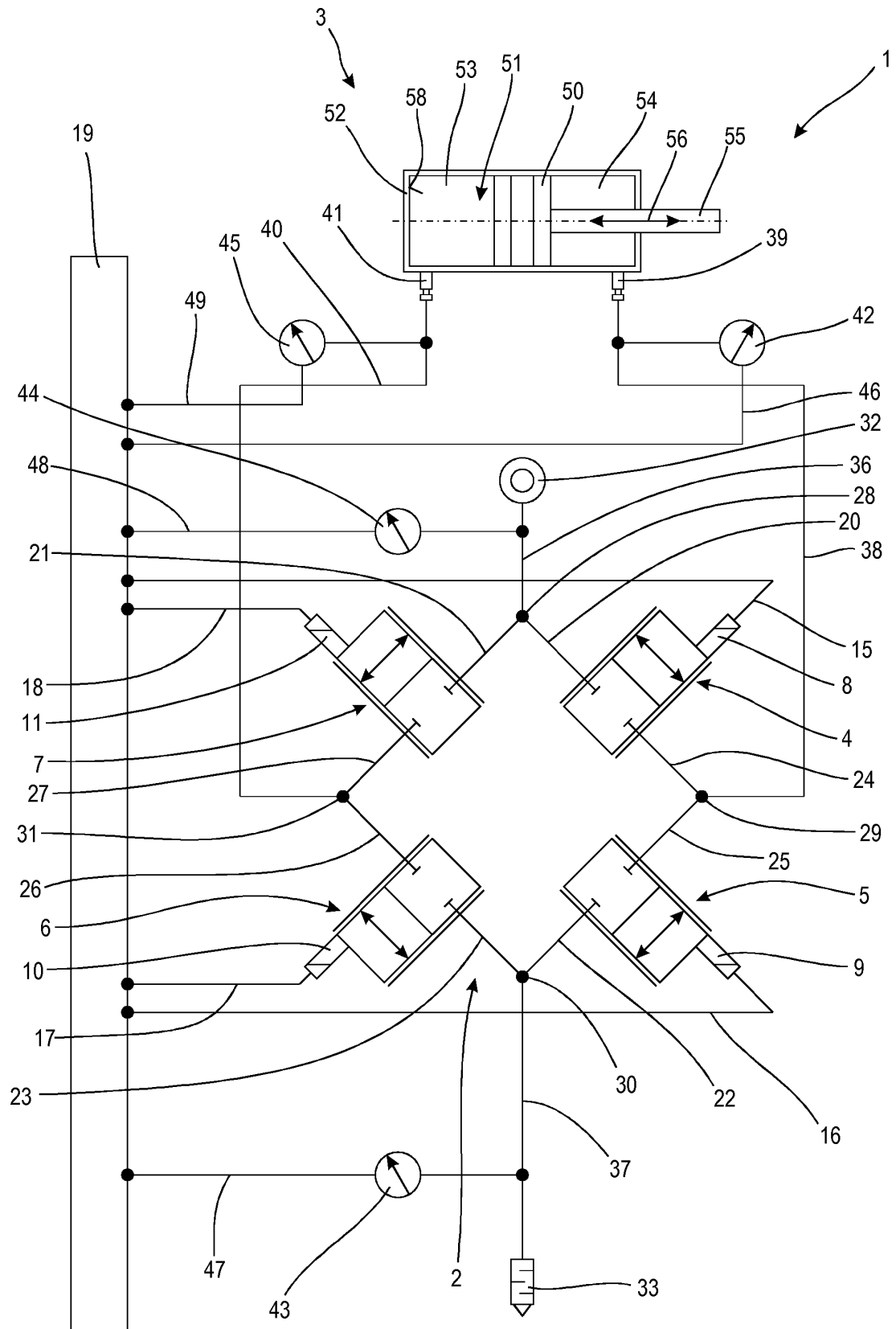


Fig. 1

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

- DE 102009017879 A1 **[0003]**
- US 2015197915 A1 **[0004]**
- WO 2004065798 A1 **[0005]**
- DE 102006058913 A1 **[0006]**
- EP 1403529 A2 **[0007]**
- DE 102005013823 A1 **[0008]**