



(11) **EP 2 644 904 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
12.11.2014 Patentblatt 2014/46

(51) Int Cl.:
F15B 11/064 ^(2006.01) **F15B 11/048** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12002099.5**

(22) Anmeldetag: **26.03.2012**

(54) **Verfahren zur Ansteuerung eines fluidisch betreibbaren Arbeitssystems**

Method for controlling a work system that can be operated using fluid

Procédé de commande d'un système de travail à actionnement fluide

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.10.2013 Patentblatt 2013/40

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

(72) Erfinder:
• **Doll, Matthias
73734 Esslingen (DE)**

• **Neumann, Rüdiger
73760 Ostfildern (DE)**

(74) Vertreter: **Kocher, Mark Werner
Magenbauer & Kollegen
Patentanwälte
Plochinger Straße 109
73730 Esslingen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-2006/122339 DE-A1-102009 017 879
US-B2- 6 705 199**

EP 2 644 904 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 Ansteuerung eines fluidisch betreibbaren Arbeitssystems, das einen Aktor mit einem Aktorgehäuse und einem im Aktorgehäuse beweglich aufgenommenen Aktorglied aufweist, wobei das Aktorgehäuse und das Aktorglied eine erste und mindestens eine zweite Arbeitskammer bestimmen, die jeweils separat druckbeaufschlagbar sind und die zur Bereitstellung von einander entgegengesetzt wirkenden Aktorkräfte auf das Aktorglied ausgebildet sind, und das eine Ventileinrichtung, die zur separaten Ansteuerung der beiden Arbeitskammern ausgebildet ist, sowie eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Ventileinrichtung aufweist.

[0002] Aus der DE 10 2008 007 651 B3 ist ein Stellungsregler für einen doppelwirkenden pneumatischen Stellantrieb mit einer ersten und einer zweiten pneumatisch beaufschlagbaren Arbeitskammer sowie einem beweglichen Arbeitsteil, das für eine Stellbewegung bei einer Differenz von Druck in der ersten und zweiten Arbeitskammer verlagerbar ist, bekannt. Der Stellungsregler führt der ersten bzw. zweiten Arbeitskammer ein erstes bzw. zweites pneumatisches Steuersignal zu und weist zumindest eine Einrichtung zum Einstellen des ersten pneumatischen Steuersignals für die erste Arbeitskammer auf, wobei die Einrichtung derart ausgeführt ist, dass die Einstellung des ersten Steuersignals regelungsgemäß das zweite pneumatische Steuersignal unbeeinflusst lässt. Hiermit kann abweichend von einer im Bereich der Pneumatik üblichen gekoppelten Fluidbeaufschlagung der beiden Arbeitskammern eine getrennte Fluidbeaufschlagung der beiden Arbeitskammern erzielt werden. Aus der DE 10 2009 017 879 A1 ist fluidtechnisches System mit einer Ventileinrichtung zur Fluidversorgung fluidischer Verbraucher, die mehrere Ventilmodule aufweist, bekannt. Dabei umfassen die Ventilmodule jeweils einen Kanalkörper und vier 2/2-Wegeventile, die in einer Vollbrückenordnung miteinander verschaltet sind und die jeweils zwischen einer Sperrstellung und einer Freigabestellung umschaltbar sind. Ferner ist eine Steuereinrichtung zur individuellen Ansteuerung der 2/2-Wegeventile der Ventilmodule vorgesehen. Dabei sind der erste Arbeitskanal und der zweite Arbeitskanal von einem Verbindungskanal kommunizierend miteinander verbunden und dem Ventilmodul ist ein von der Steuereinrichtung individuell zwischen einer Sperrstellung und einer Freigabestellung umschaltbares Ventilmittel zur Beeinflussung eines freien Querschnitts des Verbindungskanals zugeordnet, um die kommunizierende Verbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Arbeitskanal zeitweilig freizugeben. Hiermit kann zusätzlich zu einer getrennten Fluidbeaufschlagung von Arbeitskammern eines pneumatischen Zylinders während einer Bewegung des pneumatischen Zylinders ein teilweiser Druckausgleich zwischen den beiden Arbeitskammern des pneumatischen Zylinders erreicht werden. Hierdurch soll eine effizientere Ausnutzung des bereitgestellten

druckbeaufschlagten Fluids und damit eine Verbesserung der Energiebilanz des fluidtechnischen Systems angestrebt werden.

[0003] Die US 6,705,199 B2 offenbart ein Präzisionssteuerungssystem für einen pneumatisch betreibbaren Aktuator, dem eine Bremseinrichtung und ein Sensorsystem zugeordnet sind. Das Präzisionssteuerungssystem stellt ein Antriebsfluid für eine Bewegung eines Arbeitskolbens an einen ersten Arbeitsraum des Aktors bereit, um eine Bewegung des Arbeitskolbens hervorzurufen. Ferner aktiviert das Präzisionssteuerungssystem die Bremseinrichtung, sobald der Arbeitskolben einen vorgebbaren Bremspunkt passiert. Zudem wird unter Aufrechterhaltung der Fluidversorgung des ersten Arbeitsraums eine entgegengesetzte Druckbeaufschlagung durch Bereitstellung von Fluid an einen zweiten Arbeitsraum des Aktuators vorgenommen, um eine möglichst präzise Positionierung des Arbeitskolbens in der angestrebten Zielposition zu gewährleisten.

[0004] Die WO 2006/122339 A1 offenbart ein Verfahren zur Steuerung eines fluidisch betätigten Antriebs mit relativ zueinander verstellbaren Bauteilen, wovon ein Bauteil über zumindest ein Schaltelement in eine erste Bewegungsrichtung und in eine der ersten Bewegungsrichtung entgegengesetzte, zweite Bewegungsrichtung zwischen Endlagen und gegen zumindest eine der Endlagen abgebremst bewegt wird, wobei einer Steuereinrichtung jeweils von einem über eine Schaltfahne elektronisch schaltbaren und in der Endlage angeordneten Sensor Steuersignale für die zeitliche Steuerung der Bewegungsphase des Bauteils zum sanften Anfahren der Endlage zugeführt werden und von der Steuereinrichtung das Schaltelement anhand der Steuersignale betätigt wird. Ferner werden Druckkammern des Antriebs gegenläufig angesteuert, wobei in einer ersten Bewegungsphase des Bauteils kurz vor Erreichen der anzufahrenden Endlage über die Schaltfahne-Sensor-Anordnung zu einem Zeitpunkt ein erstes Messsignal und zu einem späteren Zeitpunkt ein zweites Messsignal erfasst wird und danach von der Steuereinrichtung zumindest eine Zeitspanne aus der Zeitdifferenz zwischen den Messsignalen ermittelt und von einer Reglereinheit der Steuereinrichtung zum sanften Anfahren der Endlage aus einem Soll-Ist-Vergleich zwischen einer festgelegten Zeitspanne und der ermittelten Zeitspanne zumindest eine Stellgröße für wenigstens einen von zwei zeitlich aufeinander folgenden Umschaltzeitpunkten des Schaltelementes berechnet wird und dass dieser Umschaltzeitpunkt des Schaltelementes entsprechend der Stellgröße in der auf die erste Bewegungsphase nachfolgenden, weiteren Bewegungsphase des Bauteils in dieselbe Bewegungsrichtung eingestellt wird.

[0005] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Ansteuerung eines fluidisch betreibbaren Arbeitssystems bereitzustellen, bei dem eine signifikante Verbesserung der Energieeffizienz gegenüber dem Stand der Technik erreicht werden kann.

[0006] Diese Aufgabe wird gemäß einem ersten As-

pekt der Erfindung für ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hierbei ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die folgenden Schritte vorgibt: Ansteuern der Ventileinrichtung für eine Bereitstellung eines ersten vorgebbaren Volumens eines druckbeaufschlagten Fluids an die erste Arbeitskammer, um das Aktorglied ausgehend von einer Startposition auf eine vorgebbare Zielgeschwindigkeit zu beschleunigen, wobei das vorgebbare Volumen derart bemessen ist, dass eine über das druckbeaufschlagte Fluid in die erste Arbeitskammer bereitgestellte Energiemenge möglichst exakt zur Beschleunigung des Aktorglieds auf die geforderte Zielgeschwindigkeit ausreicht, Ansteuern der Ventileinrichtung, um die erste Arbeitskammer zu verschließen, Ansteuern der Ventileinrichtung, um ein Abströmen eines zweiten vorgebbaren Volumens eines in der zweiten Arbeitskammer enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer zu ermöglichen, so dass eine Abbremsung des Aktorglieds auf eine vorgebbare Zielposition längs des Aktorgehäuses gewährleistet ist. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine erhebliche Verbesserung der Energieausnutzung dadurch bewirkt, dass die erste Arbeitskammer, die für die Bereitstellung der Antriebskraft für das Aktorglied und eine mit dem Aktorglied gekoppelte Last eingesetzt wird, mit einem vorgebbaren Volumen eines druckbeaufschlagten Fluids beaufschlagt wird, wobei das vorgebbare Volumen derart bemessen ist, dass die über das druckbeaufschlagte Fluid in die erste Arbeitskammer bereitgestellte Energiemenge möglichst exakt zur Beschleunigung des Aktorglieds auf die geforderte Zielgeschwindigkeit ausreicht. Die Zielgeschwindigkeit für das Aktorglied und die damit gekoppelte Last ist ihrerseits so bemessen, dass aufgrund der Massenträgheit von Aktorglied und Last und der somit im Aktorglied und der gekoppelten Last gespeicherten Bewegungsenergie die der Bewegung dieser Komponenten entgegen gerichteten Bewegungswiderstände, insbesondere Reibungswiderstände, insbesondere innerhalb eines vorgebbaren Bewegungszeitraums, bis zum Erreichen der Zielposition überwunden werden. Vorzugsweise ist die Zielgeschwindigkeit so bemessen, dass das Aktorglied die Zielposition zuverlässig erreicht und dass bei Erreichen der Zielposition nur noch eine geringe, insbesondere eine verschwindende, Bewegungsenergie im Aktorglied und der gekoppelten Last gespeichert ist und dass ein vorgebbares, geringes Druckniveau, insbesondere deutlich unterhalb des an der Ventileinrichtung bereitgestellten Versorgungsdrucks liegendes Druckniveau, erreicht wird.

[0007] Die Zielsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die in der Verbesserung der Energieeffizienz beim Betreiben eines fluidisch betreibbaren Arbeitssystems liegt, wird also im Wesentlichen dadurch erreicht, dass die über das druckbeaufschlagte Fluid in das Arbeitssystem eingespeiste Energiemenge so gewählt wird, dass ein aktives Abbremsen des Aktorglieds bei Erreichen der Zielposition, wie es aus dem Stand der

Technik unter dem Begriff der Endlagendämpfung bekannt ist, zumindest weitestgehend unnötig wird. Somit kann vermieden werden, dass bei der Abbremsung des Aktorglieds ein erheblicher Teil der über das druckbeaufschlagte Fluid bereitgestellten Energie in nicht weiter nutzbare Wärme umgewandelt werden muss, um eine exakte Zielerreichung zu gewährleisten.

[0008] Die Ansteuerung der Ventileinrichtung, um ein Abströmen eines zweiten vorgebbaren Volumens eines in der zweiten Arbeitskammer enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer zu ermöglichen, erfolgt vorzugsweise zu einem Zeitpunkt, zu dem das Aktorglied bereits seine Zielgeschwindigkeit erreicht hat bzw. die Bewegungsgeschwindigkeit des Aktorglieds bereits wieder unterhalb der Zielgeschwindigkeit liegt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die zweite Arbeitskammer vor der entsprechenden Ansteuerung der Ventileinrichtung zumindest zeitweilig verschlossen ist und somit zumindest innerhalb einer vorgebbaren Zeitspanne vor dem Zeitpunkt der Ansteuerung der Ventileinrichtung kein Fluid aus der zweiten Arbeitskammer ausströmen kann. Dadurch wird das in der zweiten Arbeitskammer eingeschlossene Fluid mit zunehmender Annäherung des Aktorglieds an die Zielposition, aufgrund einer Verkleinerung des Volumens der zweiten Arbeitskammer komprimiert und dient somit als elastischer Fluidpuffer für die Bewegung des Aktorglieds. Vorzugsweise ist der Zeitpunkt für die Ansteuerung der Ventileinrichtung zur Freigabe der in der zweiten Arbeitskammer derart gewählt, dass einerseits das zumindest zeitweilig eingeschlossene Fluid ohne weiteren Schaltvorgang der Ventileinrichtung abströmen kann und andererseits die gewünschte Abbremsung des Aktorglieds bis zum Erreichen der Zielposition gewährleistet ist. Dieser Zeitpunkt für die Ansteuerung der Ventileinrichtung kann auch davon abhängig gemacht werden, ob die zweite Arbeitskammer bereits während der Beschleunigung des Aktorglieds verschlossen war oder ob die zweite Arbeitskammer erst zu einem späteren Zeitpunkt verschlossen wurde.

[0009] Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Ventileinrichtung während und/oder nach der Abbremsung des Aktorglieds derart angesteuert wird, dass die zweite Arbeitskammer in der Zielposition drucklos ist. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Fluiddruck, der beim Erreichen der Zielposition in der ersten Arbeitskammer gespeichert ist, vollständig für die Ausübung einer statischen Haltekraft durch das Aktorglied auf die gekoppelte Last zur Verfügung steht. Wahlweise kann vorgesehen werden, dass die zweite Arbeitskammer bei Erreichen der Zielposition in kommunizierender Verbindung mit der Umgebung und dem dort herrschenden Fluiddruck verbleibt oder dass die Ventileinrichtung derart angesteuert wird, dass die zweite Arbeitskammer fluidisch von der Umgebung getrennt wird. Im letzteren Fall wird die zweite Arbeitskammer zur Verstärkung der Haltekraft, die von der ersten

Arbeitskammer auf das Aktorglied ausgeübt wird, genutzt, da ein Verschiebungswiderstand für das Aktorglied bei Einleitung von äußeren Kräften auf die gekoppelte Last aufgrund des in der zweiten Arbeitskammer eingeschlossenen Fluidvolumens erhöht wird.

[0011] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass das erste vorgebbare Volumen des druckbeaufschlagten Fluids, das an die erste Arbeitskammer bereitgestellt wird, derart bemessen ist, dass in der Arbeitskammer bei Erreichen der Zielposition ein, insbesondere unterhalb eines Versorgungsdrucks für die Ventileinrichtung angesiedelter, vorgebbarer Zieldruck vorliegt. Der Zieldruck ist vorzugsweise derart gewählt, dass äußere Kräfte, die nach Erreichen der Zielposition auf das Aktorglied und die damit gekoppelte Last einwirken, zumindest dann nicht zu einer Bewegung des Aktorglieds und der Last führen, wenn diese Kräfte innerhalb eines vorgebbaren Intervalls liegen. Sollten die äußeren Kräfte außerhalb des vorgegebenen Intervalls liegen, kann je nach Einsatzfall für das Arbeitssystem entweder eine Bewegung des Aktorglieds und der Last toleriert werden oder es kann eine Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid in die erste Arbeitskammer vorgesehen werden, um eine ausreichend große Gegenkraft zur den von außen eingeleiteten Kräften aufzubringen. Je niedriger die notwendige Haltekraft für die Last und damit der Zieldruck in der ersten Arbeitskammer liegt, desto effizienter kann das Arbeitssystem die zur Verfügung gestellte Energie nutzen. Je nach Anwendungsfall für das Arbeitssystem kann es zulässig sein, dass in der Zielposition keine Haltekraft vom Aktorglied bereitgestellt werden muss, beispielsweise wenn die damit gekoppelte Last in anderer Weise, insbesondere mechanisch, in der Zielposition verriegelt wird. In diesem Fall kann der Zieldruck für die erste Arbeitskammer verschwindend gewählt werden.

[0012] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Ventileinrichtung derart angesteuert wird, dass der ersten Arbeitskammer beim Erreichen der Zielposition ein drittes vorgebbares Volumen eines druckbeaufschlagten Fluids zugeführt wird, um den Zieldruck in der ersten Arbeitskammer am Ende des Abbremsvorgangs oder nach Beendigung des Abbremsvorgangs um einen vorgebbaren Betrag zu erhöhen. Bei diesem Betriebsfall für die Arbeitseinrichtung wird die effiziente Nutzung der dem Arbeitssystem zur Verfügung gestellten Energie dadurch sichergestellt, dass die Anforderung nach einem Zieldruck, der höher als derjenige Zieldruck ist, der sich allein durch das zur Erreichung der Zielgeschwindigkeit notwendige erste Volumen des druckbeaufschlagten Fluids einstellt, dadurch erfüllt wird, dass das dritte Volumen erst zu einem Zeitpunkt an den ersten Arbeitsraum bereitgestellt wird, zu dem kein oder zumindest kein relevanter Beschleunigungsweg für das Aktorglied mehr zur Verfügung steht. Somit wird durch die Zufuhr des dritten Volumens des druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer auch keine Abbremsung des Aktorglieds erforderlich, die

sich ansonsten negativ auf die Energieeffizienz auswirken würde. Vielmehr wird die in die erste Arbeitskammer durch das dritte Volumen des druckbeaufschlagten Fluid eingebrachte Energiemenge zumindest nahezu vollständig in die gewünschte Haltekraft, die sich durch die Erhöhung des Zieldrucks einstellt, umgesetzt.

[0013] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die Ansteuerung der Ventileinrichtung zur Bereitstellung des ersten vorgebbaren Volumens an die erste Arbeitskammer und zur Ermöglichung des Abströmens eines zweiten vorgebbaren Volumens aus der zweiten Arbeitskammer zeitgesteuert vornimmt. Hierdurch kann das Verfahren mit einer einfach aufgebauten Steuerungseinrichtung vorgenommen werden. Vorzugsweise sind dem Aktor ein oder zwei Endlagensensoren zugeordnet, die bei Erreichen der wenigstens einen oder der wenigstens zwei Zielpositionen längs des Bewegungswegs des Aktorglieds ein entsprechendes Signal an die Steuerungseinrichtung ausgeben, damit diese Kenntnis davon hat, ob die zeitgesteuerte Ansteuerung der Ventileinrichtung den gewünschten Erfolg in Form des Erreichens der jeweiligen Zielposition durch das Aktorglied erbracht hat.

[0014] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass dem Aktor eine Druckmessenrichtung und/oder wenigstens eine Endlagensensor und/oder eine Wegmessenrichtung zugeordnet ist und dass eine Ansteuerung, insbesondere eine Regelung, der Ventileinrichtung in Abhängigkeit von Messwerten, die von der Druckmessenrichtung und/oder dem wenigstens einen Endlagensensor und/oder der Wegmessenrichtung an die Steuereinrichtung bereitgestellt werden, erfolgt. Hierdurch kann eine robuste Auslegung des Arbeitssystems erreicht werden, das somit auch bei wechselnden Lasten und/oder anderen sich ändernden Randbedingungen wie z.B. temperaturabhängigen Änderungen von Reibwerten zwischen Last und zugeordneter Lagerung stets die Erreichung der Zielposition für das Aktorglied gewährleistet.

[0015] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Zielposition für das Aktorglied derart gewählt ist, dass ein Arbeitsvolumen der zweiten Arbeitskammer minimal ist und dass das erste Volumen für das druckbeaufschlagte Fluid und das zweite vorgebbare Volumen für das abströmende Fluid derart vorgegeben sind, dass das Aktorglied die Zielposition mit, insbesondere zumindest nahezu, verschwindender Bewegungsgeschwindigkeit erreicht. Bei einem minimalen Arbeitsvolumen der zweiten Arbeitskammer in der Zielposition wird zum einen der maximale Verstellweg des Aktors in vorteilhafter Weise ausgenutzt, zum anderen ist der Beitrag zur Verstärkung der Haltekraft in der Zielposition durch das in der zweiten Arbeitskammer eingeschlossene Fluidvolumen am größten, wenn das Arbeitsvolumen der zweiten Arbeitskammer minimal ist. Das Erreichen der Zielposition durch das Aktorglied mit, zumindest nahezu, verschwindender Bewegungsgeschwindigkeit ist vorteilhaft, da hierdurch eine vorteilhaf-

te Ausnutzung der Energie des in die erste Arbeitskammer eingeleiteten druckbeaufschlagten Fluids gewährleistet wird, da keine energetisch ungünstige Abbremsung des Aktorglieds und/oder der damit gekoppelten Last erforderlich ist. Ferner werden dadurch unerwünschte Impulseinleitungen vom Aktorglied in das Aktorgehäuse und/oder von der Last auf einen möglicherweise vorgesehenen Endanschlag vermieden, die zu einem Verschleiß der jeweiligen Komponenten führen könnten.

[0016] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass während der Bewegung zwischen der Startposition und der Zielposition eine Überprüfung der Geschwindigkeit des Aktorglieds durch die Steuereinrichtung vorgenommen wird, um bei Abweichungen von der vorgebbaren Zielgeschwindigkeit eine zusätzliche Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid in die erste Arbeitskammer oder eine zeitweilige Begrenzung des Abströmens des zweiten vorgebbaren Volumens des in der zweiten Arbeitskammer enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer zu ermöglichen. Hierdurch wird eine vorteilhafte dynamische Anpassung des Arbeitssystems an sich ändernde Randbedingungen wie die Änderung der Bewegungswiderstände für Aktorglied und/oder Last oder die Änderung der Masse der Last gewährleistet.

[0017] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass das Abströmen des zweiten vorgebbaren Volumens des in der zweiten Arbeitskammer enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer ungedrosselt erfolgt. Die Drosselwirkung beim Abströmen des Fluids aus der zweiten Arbeitskammer beschränkt sich in vorteilhafter Weise auf die nicht gänzlich zu eliminierende Fluidreibung in der Ventileinrichtung und in den Fluidleitern, bei denen es sich insbesondere um Fluidschläuche handeln kann. Bei einem derartigen, zumindest nahezu ungedrosselten Abströmen des Fluids treten somit keine nennenswerten Fluidreibungsverluste auf, die ansonsten die Energieeffizienz für das Arbeitssystem verschlechtern würden. Dies ist insbesondere für das Abströmen des Fluids aus der zweiten Arbeitskammer bei Annäherung des Aktorglieds an die Zielposition vorteilhaft, kann jedoch auch von Bedeutung sein, wenn während der Beschleunigungsphase für das Aktorglied ein Abströmen von Fluid aus der zweiten Arbeitskammer vorgesehen sein sollte.

[0018] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die Ventileinrichtung für eine Bereitstellung eines ersten vorgebbaren Volumens eines druckbeaufschlagten Fluids an die erste Arbeitskammer und für ein Abströmen eines zweiten vorgebbaren Volumens eines in der zweiten Arbeitskammer enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer derart ansteuert, dass ein gemittelter Druck aus Druckwerten der beiden Arbeitskammern zu Beginn und zum Ende einer Bewegung des Aktorglieds auf einem Druckniveau liegt, das weniger als 30 Prozent, vorzugsweise weniger als 20 Prozent, insbesondere weniger als

10 Prozent, eines an der Ventileinrichtung anliegenden Versorgungsdrucks beträgt. Für eine signifikante Einsparung von druckbeaufschlagtem Fluid und eine damit verbundene Effizienzsteigerung beim Betreiben eines entsprechenden Arbeitssystems ist es von Bedeutung, dass der gemittelte Druck aus Druckwerten der beiden Arbeitskammern, der auch als Mitteldruck bezeichnet wird, vor der Bereitstellung des ersten Volumens des druckbeaufschlagten Fluids an die erste Arbeitskammer und nach dem Erreichen der Zielposition durch das Aktorglied auf einem möglichst geringen Druckniveau liegt. Dieses Druckniveau liegt vorteilhafterweise erheblich unter dem halben Versorgungsdruck, der an die Ventileinrichtung bereitgestellt wird.

[0019] In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass der gemittelte Druck durch Zufuhr eines ersten Volumens druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer auf einen ersten Maximalwert ansteigt und zum Zeitpunkt der Freigabe des in der zweiten Arbeitskammer durch die Bewegung des Aktorglieds komprimierten Fluids einen zweiten Maximalwert einnimmt und zwischen dem ersten und dem zweiten Maximalwert zeitweilig ein Druckniveau erreicht, das weniger als 30 Prozent, vorzugsweise weniger als 20 Prozent, insbesondere weniger als 10 Prozent, eines an der Ventileinrichtung anliegenden Versorgungsdrucks beträgt. Dieser Verlauf des Mitteldrucks, der eine besonders energieeffiziente Betriebsweise für das Arbeitssystem ermöglicht, ist dann gewährleistet, wenn nur zu Beginn der Bewegung des Aktorglieds druckbeaufschlagtes Fluid in die erste Arbeitskammer bereitgestellt wird und der gesamte übrige Bewegungsablauf des Aktorglieds und der damit gekoppelten Last ohne weitere Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid in die erste oder zweite Arbeitskammer erfolgt. Sofern bei Erreichen der Zielposition eine vorgebbare Haltekraft vom Aktorglied auf die Last ausgeübt werden soll und zu diesem Zweck kurz vor dem Erreichen oder nach dem Erreichen der Zielposition eine weitere Zufuhr druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer erfolgen sollte, ist das hierzu vorgesehene dritte Volumen des druckbeaufschlagten Fluids so gewählt, dass nur eine moderate Erhöhung des Mitteldrucks eintritt, die die vorstehenden Intervallgrenzen nicht überschreitet.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise mit einem Arbeitssystem durchgeführt werden. Hierbei ist vorgesehen, dass das Arbeitssystem zur Bereitstellung einer Stellbewegung eines Aktors einen Aktor mit einem Aktorgehäuse und einem im Aktorgehäuse beweglich aufgenommenes Aktorglied umfasst, wobei das Aktorgehäuse und das Aktorglied eine erste und mindestens eine zweite Arbeitskammer bestimmen, die jeweils separat druckbeaufschlagbar sind und die zur Bereitstellung von einander entgegengesetzt wirkenden Aktorkräften auf das Aktorglied ausgebildet sind. Ferner umfasst das Arbeitssystem eine Ventileinrichtung, die zur separaten Ansteuerung der beiden Arbeitskammern ausgebildet ist, sowie eine Steuereinrichtung zur Ansteu-

erung der Ventileinrichtung. Dabei ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung für die Durchführung eines der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausgebildet ist.

[0021] Zweckmäßig ist es, wenn die Ventileinrichtung wenigstens eine Anordnung aus vier 2/2-Wegeventilen umfasst, die jeweils einen ersten und einen zweiten Fluidanschluss und ein bewegliches Ventilglied für die Einstellung eines freien Fluidkanalquerschnitts zwischen dem ersten und dem zweiten Fluidanschluss aufweisen, wobei die vier 2/2-Wegeventile in einer Vollbrückenanordnung miteinander verschaltet sind, bei der die ersten Fluidanschlüsse des ersten und des zweiten 2/2-Wegeventils mit einer Fluidquelle verbindbar sind, der zweite Fluidanschluss des ersten 2/2-Wegeventils und der erste Fluidanschluss des vierten 2/2-Wegeventils mit der ersten Arbeitskammer verbunden sind, der zweite Fluidanschluss des zweiten 2/2-Wegeventils und der erste Fluidanschluss des dritten 2/2-Wegeventils mit der zweiten Arbeitskammer verbunden sind und die zweiten Fluidanschlüsse des dritten und des vierten 2/2-Wegeventils mit einem Entlüftungskanal verbunden sind. Mit einer derartigen Anordnung von 2/2-Wegeventilen kann eine Vielzahl von unterschiedlichen Ventiltypen zur Ansteuerung der Arbeitskammern nachgebildet werden, insbesondere können jeweils den Arbeitskammern zugeordnete 3/3-Wegeventile nachgebildet werden, die für eine separate Ansteuerung der ersten und der zweiten Arbeitskammer eingesetzt werden können.

[0022] Vorteilhaft ist es, wenn zwischen der ersten Arbeitskammer und der zweiten Arbeitskammer ein Verbindungskanal ausgebildet ist, in dem ein von der Steuereinrichtung individuell zwischen einer Sperrstellung und einer Freigabestellung umschaltbares, insbesondere als 2/2-Wegeventil ausgebildetes, Ventilmittel zur Beeinflussung eines freien Querschnitts des Verbindungskanals angeordnet ist, um eine kommunizierende Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Arbeitskammer zeitweilig freizugeben. Der Verbindungskanal kann insbesondere dann zeitweilig freigegeben werden, wenn sich nach der Zufuhr des ersten Volumens des druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer herausstellen sollte, dass die Zielgeschwindigkeit für das Aktorglied und die damit gekoppelte Last überschritten wurde und somit eine stärkere Abbremsung des Aktorglieds erforderlich ist, die ansonsten durch direkte Einleitung von druckbeaufschlagtem Fluid in die zweite Arbeitskammer sichergestellt werden müsste.

[0023] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt. Dabei zeigt:

Figur 1 ein schematisches Blockschaltbild eines gesteuerten Arbeitssystems mit einem Aktor, einer Last, einer Ventileinrichtung und einer Steuereinrichtung,

Figur 2 ein schematisches Blockschaltbild eines geregelten Arbeitssystems mit einem Aktor, ei-

ner Last, einer Ventileinrichtung und einer Steuereinrichtung,

Figur 3 eine Zusammenstellung von Diagrammen, die wesentliche Kennwerte wie Weg, Geschwindigkeit, Kammerdrücke, Kräfte und Fluidverbrauch in einem ersten Anwendungsfall, bei dem eine verschwindende Haltekraft in der Zielposition vorgesehen ist, darstellen,

Figur 4 eine Zusammenstellung von Diagrammen, die wesentliche Kennwerte wie Weg, Geschwindigkeit, Kammerdrücke, Kräfte und Fluidverbrauch in einem zweiten Anwendungsfall, bei dem eine vorgebbare Haltekraft in der Zielposition vorgesehen ist, darstellen,

Figur 5 ein Diagramm mit Kraftverläufen von unterschiedlich betriebenen Arbeitssystemen und

Figur 6 ein schematisches Blockschaltbild für eine aus 2/2-Wegeventilen aufgebaute Ventileinrichtung.

[0024] Ein in der Figur 1 schematisch dargestelltes Arbeitssystem 1 umfasst einen exemplarisch als doppeltwirkenden Pneumatikzylinder ausgebildeten Aktor 2. Der Aktor 2 weist ein Aktorgehäuse 3 auf, in dem eine Ausnehmung ausgebildet ist, in der ein als Kolben ausgebildetes Aktorglied 4 linearbeweglich aufgenommen ist. Das Aktorglied 4 ist mit einer Kolbenstange 5 verbunden, die ihrerseits mit einer Last 6 gekoppelt ist. Das Aktorgehäuse 3 und das Aktorglied 4 bestimmen zwei fluidisch voneinander getrennte Arbeitskammern 7, 8. Die Arbeitskammern 7, 8 können jeweils separat voneinander mit Hilfe einer Ventileinrichtung 9, die exemplarisch zwei 3/3-Wegeventile 10, 11 umfasst, mit druckbeaufschlagtem Fluid von einer Fluidquelle 12 versorgt werden. Ferner können die Arbeitskammer 7, 8 mittels der 3/3-Wegeventile 10, 11 jeweils gesperrt werden, so dass kein Fluidstrom aus der jeweiligen Arbeitskammer 7, 8 oder in die jeweilige Arbeitskammer 7, 8 möglich ist. Desweiteren können die 3/3-Wegeventile 10, 11 jeweils derart geschaltet werden, dass ein Abströmen von Fluid aus den Arbeitskammern 7, 8 zu einem Ausgang, beispielsweise einem Entlüftungsausgang 14, ermöglicht wird. Für eine Beeinflussung der Stellung des jeweiligen 3/3-Wegeventils 10, 11 ist eine Steuereinrichtung 15 vorgesehen, die elektrische Leistung an Magnetantriebe 16, 17 der 3/3-Wegeventile 10, 11 bereitstellen kann, um diese zwischen den unterschiedlichen Schaltstellungen zu bewegen. Ferner ist die Steuereinrichtung 15 elektrisch mit zwei jeweils endseitig am Aktorgehäuse 3 angebrachten Endlagensensoren 18, 19 verbunden, die ein elektrisches Signal an die Steuereinrichtung 15 bereitstellen, sobald das Aktorglied 4 in einer von jeweiligen Endlagensensor 18, 19 überwachten Zielposition längs einer Bewegungsachse 20 angekommen ist.

[0025] Das Arbeitssystem 1, bei dem eine zeitgesteuerte Ansteuerung der Ventileinrichtung 9 durch die Steuereinrichtung 15 vorgesehen ist, kann insbesondere bei konstanten Randbedingungen, also konstanter Last 6, konstanten Reibungsbedingungen für das Aktorglied 4 und die Last 6 und gleichbleibenden Anforderungen an die Haltekraft auf das Aktorglied 4 in der Zielposition betrieben werden. Nähere Angaben zur möglichen Betriebsweise für das Arbeitssystem 1 ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung zu den Figuren 3 und 4.

[0026] Das in der Figur 2 dargestellte Arbeitssystem 51, bei dem Komponenten, die funktionsgleich mit Komponenten des Arbeitssystems 1 sind, mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind, unterscheidet sich vom Arbeitssystem 1 dadurch, dass die Ventileinrichtung 59 zwei 3/3-Proportionalwegeventile 60, 61 umfasst und dass dem Aktorgehäuse 3 zusätzlich zu den Endlagensensoren 18, 19 ein Wegmesssystem 71 zugeordnet ist, mit dem jede Stellung des Aktorglieds 4 längs des Bewegungswegs 20 ermittelt werden kann. Ferner ist die Steuereinrichtung 65 für eine Regelung der Fluidzufuhr und des Abströmens von Fluid in die Arbeitskammern 7, 8 bzw. aus den Arbeitskammern 7, 8 ausgebildet.

[0027] Das Arbeitssystem 51, bei dem Regelung der Ventileinrichtung 59 durch die Steuereinrichtung 65 vorgesehen ist, kann insbesondere bei variierenden Randbedingungen, also variierender Last 6 und/oder variierenden Reibungsbedingungen für das Aktorglied 4 und die Last 6 und/oder wechselnden Anforderungen an die Haltekraft auf das Aktorglied 4 in der jeweiligen Zielposition betrieben werden.

[0028] In den Figuren 3 und 4 sind exemplarische Verläufe einiger wesentlicher Kennwerte wie der Weg des Aktorglieds 4 und der Last 6, der Geschwindigkeit des Aktorglieds 4 und der Last 6, der Kammerdrücke in den Arbeitskammern 7 und 8, der resultierenden Kräfte auf die Last 6 und dem Fluidverbrauch beim Betrieb des jeweiligen Arbeitssystems 1, 51 dargestellt.

[0029] Dabei ist bei dem in Figur 3 dargestellten ersten Anwendungsfall eine verschwindende Haltekraft auf die Last 6 in der Zielposition vorgesehen, während bei dem in Figur 4 dargestellten zweiten Anwendungsfall eine vorgebbare Haltekraft auf die Last 6 in der Zielposition vorgesehen ist. Sämtliche in den Figuren 3 und 4 angeführten Angaben zu den dargestellten Kennwerten sind rein exemplarisch zu verstehen.

[0030] Aus dem Wegdiagramm der Figur 3 kann entnommen werden, dass das Aktorglied 4 und die damit gekoppelte Last 6 ausgehend von einer Startposition bei 0 Metern bis zum Erreichen der Zielposition einen Weg von ca. 0,5 Meter zurücklegt. Dieser Weg wird innerhalb von ca. 0,4 Sekunden zurückgelegt, wobei aus dem Geschwindigkeitsschaubild der Figur 3 entnommen werden kann, dass auf einen zunächst raschen Geschwindigkeitsanstieg eine nahezu ebenso rasche Abbremsung des Aktorglieds 4 und der Last 6 folgt. Die dem Geschwindigkeitsanstieg zugrundeliegende hohe Beschleunigung

des Aktorglieds 4 und der Last 6 resultiert aus einer Bereitstellung eines ersten Volumens druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer 7, die aus der Druckverlaufskurve p_a im Druckdiagramm zu entnehmen ist, die wie alle weiteren Druckverlaufskurven als Absolutdruckkurve aufgetragen ist, und daraus, dass in der zweiten Arbeitskammer 8, deren Druck durch die Druckverlaufskurve p_b dargestellt wird, lediglich ein niedriges Druckniveau aus dem vorausgegangenen Bewegungsablauf vorliegt, so dass die Bewegung des Aktorglieds 4 nur minimal gehemmt wird. Der Mitteldruck p_m , der sich durch Mittelung der jeweiligen Druckwerte aus den beiden Arbeitskammern 7, 8 ergibt, beträgt zu Beginn und zum Ende der Bewegung des Aktorglieds 4 einen Bruchteil des Versorgungsdrucks, der an der Ventileinrichtung 9, 59 anliegt, exemplarisch weniger als 20 Prozent des Versorgungsdrucks gemäß der Darstellung der Figur 4.

[0031] Exemplarisch ist vorgesehen, dass zwischen dem Zeitpunkt $t=0$ und einem Zeitpunkt $t=t_1$ die Zufuhr des vorgebbaren Volumens des druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer 7 erfolgt. Ferner ist exemplarisch vorgesehen, dass die Ventileinrichtung 9, 59 von der Steuereinrichtung 15, 65 derart angesteuert wird, dass aus der zweiten Arbeitskammer 8 vom Zeitpunkt $t=t_0$ bis zum Zeitpunkt $t=t_2$ Fluid abströmen kann. Durch diese Maßnahme kann einerseits ein in der zweiten Arbeitskammer zum Zeitpunkt $t=t_0$ vorhandener Restdruck abgebaut werden, zum anderen kann dadurch zumindest weitgehend ein durch die Verkleinerung des Volumens der zweiten Arbeitskammer 8 stattfindender Druckaufbau in der zweiten Arbeitskammer 8 vermieden werden, der die Kraftentfaltung auf das Aktorglied 4 durch die Druckeinleitung in die erste Arbeitskammer 7 hemmen würde.

[0032] Ab dem Zeitpunkt $t=t_2$ bis zu einem Zeitpunkt $t=t_3$ wird ein Abströmen von Fluid aus der zweiten Arbeitskammer 8 von der jeweiligen Ventileinrichtung 9, 59 unterbunden, um eine Abbremsung des Aktorglieds 4 und der Last 6 durch Kompression des in der zweiten Arbeitskammer 8 eingeschlossenen Fluidvolumens zu bewirken. Nach dem Zeitpunkt $t=t_3$ wird die zweite Arbeitskammer 8 wieder freigegeben, so dass das Fluid wieder abströmen kann.

[0033] Aus dem zugehörigen Kraftdiagramm gemäß der Figur 3 kann die auf vom Aktorglied 4 an die Last 6 bereitgestellte Kraft entnommen werden. Diese steigt zunächst durch die Bereitstellung des druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer 7 auf einen Maximalwert an, um dann anschließend nach Beendigung der Fluidzufuhr in die erste Arbeitskammer 7 aufgrund der zunehmenden Vergrößerung des Volumens der ersten Arbeitskammer 7 und des dadurch sinkenden Drucks in der ersten Arbeitskammer 7 wieder auf Null abzusinken. Nachdem bei ca. $t=0,2$ Sekunden in beiden Arbeitskammern 7, 8 der gleiche Druck vorliegt, wodurch die resultierende Kraft auf die Last 6 verschwindet, wird anschließend durch den weiteren Druckabfall in der ersten Arbeitskammer 7 und den Druckanstieg in der zweiten Arbeitskammer 8

mer 8 eine Bremskraft auf das Aktorglied 4 und die Last 6 ausgeübt. Diese Bremskraft nimmt ab dem Zeitpunkt $t=t_2$ zunächst stark zu, da das ab diesem Zeitpunkt in der zweiten Arbeitskammer 8 eingeschlossene Fluid schnell verdichtet wird. Anschließend nimmt die Bremskraft ab dem Zeitpunkt $t=t_3$ aufgrund der Ansteuerung der Ventileinrichtung 9; 59 und des damit bewirkten Abströmens des Fluids aus der zweiten Arbeitskammer 8 wieder rasch ab.

[0034] Bei dem in der Figur 3 dargestellten Anwendungsfall sind die Zufuhr des ersten Volumens des druckbeaufschlagten Fluids in die erste Arbeitskammer 7 und das Abströmen des zweiten Volumens des Fluids aus der zweiten Arbeitskammer 8 derart aufeinander abgestimmt, dass sich nach der vollständigen Abbremsung des Aktorglieds 4 und der gekoppelten Last 6 eine verschwindende, also gegen Null gehende oder Null betragende Haltekraft einstellt, wie auch dem Kraftdiagramm der Figur 3 entnommen werden kann. Ferner ist lediglich eine einmalige Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid in die erste Arbeitskammer 7 vorgesehen, wie insbesondere aus dem Luftverbrauchsdiagramm der Figur 3 entnommen werden kann, das ab dem Zeitpunkt $t=t_1$ keine weitere Fluidzufuhr mehr zeigt.

[0035] Der Anwendungsfall gemäß der Figur 4 unterscheidet sich vom Anwendungsfall gemäß der Figur 3 dadurch, dass zu einem Zeitpunkt $t=t_4$, zu dem das Aktorglied 4 zumindest nahezu die Zielposition erreicht hat, nochmals eine Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid in die erste Arbeitskammer 7 vorgenommen wird, um einen von Null abweichenden Zieldruck in der ersten Arbeitskammer 7 und damit eine Haltekraft auf das Aktorglied 4 zu gewährleisten. Diese zusätzliche Fluidzufuhr zum Zeitpunkt $t=t_4$ ist insbesondere dem Luftverbrauchsdiagramm der Figur 4 zu entnehmen. Die resultierende, im Gegensatz zur Betriebsweise gemäß Figur 3 von Null abweichende Haltekraft F_h auf das Aktorglied 4 ist dem Kraftdiagramm der Figur 4 zu entnehmen.

[0036] Aus der Figur 5 gehen die bereits aus den Figuren 3 und 4 bekannten Kraftverläufe für die beiden zu diesen Figuren geschilderten Anwendungsfälle hervor. Ferner zeigt die Figur 5 auch einen Kraftverlauf für ein Arbeitssystem, das in herkömmlicher Weise betrieben wird. Als erster Unterschied zwischen der Kraftverlaufskurve 30 gemäß der Figur 3, der Kraftverlaufskurve 31 gemäß der Figur 4 und der Kraftverlaufskurve 32 gemäß einer herkömmlichen Betriebsweise für ein Arbeitssystem fällt auf, dass unter der Zugrundelegung gleicher Randbedingungen, insbesondere des gleichen Versorgungsdrucks, ausgehend vom Startzeitpunkt (0 Sekunden) die resultierende Kraft auf das Aktorglied bei der Kraftverlaufskurve 32 aufgrund der vorausgegangenen Beaufschlagung der entsprechenden Arbeitskammer mit dem vollen Versorgungsdruck auf einem erheblich tieferen Niveau startet als die Kraftverlaufskurven 30, 31, bei denen entweder eine verschwindende Haltekraft (Kraftverlaufskurve 30) oder eine geringe vorgebbare Haltekraft (Kraftverlaufskurve 31) überwunden werden muss.

Da diejenige Arbeitskammer des Aktors, die gemäß der Kraftverlaufskurve 32 mit dem vollen Versorgungsdruck beaufschlagt war, für die weiteren Betrachtungen als zweite Arbeitskammer angesehen werden soll, stellt sich bei der Kraftverlaufskurve 32 aufgrund des ab dem Startzeitpunkt erfolgenden Abströmens von druckbeaufschlagtem Fluid aus der zweiten Arbeitskammer trotz der zu diesem Zeitpunkt erfolgenden Druckbeaufschlagung der ersten Arbeitskammer nur ein niedrigeres Kraftniveau ein, als dies bei den beiden anderen Kraftverlaufskurven 30, 31 der Fall ist, da das Volumen des aus der zweiten Arbeitskammer abzuführenden und die Kraftentfaltung hemmenden Fluids erheblich größer als bei den beiden Betriebsweisen ist, wie sie in den Figuren 3 und 4 dargestellt sind. Ferner ist aus der Kraftverlaufskurve 32 zu entnehmen, dass bei Erreichen der Zielposition ein Kraftaufbau auf die vom Aktor bei gegebenem Versorgungsdruck bereitstellbare Maximalkraft stattfindet, während bei den Betriebsweisen gemäß den Kraftverlaufskurven 30, 31 entweder keine Haltekraft in der Zielposition vorgesehen ist bzw. nur eine gewisse Haltekraft in der Zielposition vorliegt.

[0037] In der Figur 6 ist eine Ventileinrichtung 40 dargestellt, die grundsätzlich als Anordnung vier 2/2-Wegeventilen 41, 42, 43, 44 ausgebildet ist. Jedes der 2/2-Wegeventile 41, 42, 43, 44 umfasst einen ersten und einen zweiten Fluidanschluss und ein nicht näher dargestelltes, bewegliches Ventilglied für die Einstellung eines freien Fluidkanalquerschnitts zwischen dem jeweiligen ersten und zweiten Fluidanschluss. Die vier 2/2-Wegeventile 41, 42, 43, 44 sind in einer Vollbrückenanordnung miteinander verschaltet, bei der die ersten Fluidanschlüsse des ersten und des zweiten 2/2-Wegeventils 41, 42 mit einer Fluidquelle 45 verbindbar sind, der zweite Fluidanschluss des ersten 2/2-Wegeventils 41 und der erste Fluidanschluss des vierten 2/2-Wegeventils 44 mit der ersten Arbeitskammer 7 verbunden sind, der zweite Fluidanschluss des zweiten 2/2-Wegeventils 42 und der erste Fluidanschluss des dritten 2/2-Wegeventils 43 mit der zweiten Arbeitskammer 8 verbunden sind und die zweiten Fluidanschlüsse des dritten und des vierten 2/2-Wegeventils 43, 44 mit einem Entlüftungsausgang 46 verbunden sind. Mit einer derartigen Ventileinrichtung 40 können in einfacher Weise Fluidströme in die Arbeitskammern 7, 8 bzw. aus den Arbeitskammern 7, 8 beeinflusst werden.

[0038] Fakultativ kann bei der Ventileinrichtung 40 zwischen der ersten Arbeitskammer 7 und der zweiten Arbeitskammer 8 ein Verbindungskanal 47 ausgebildet ist, in dem ein von der Steuereinrichtung 48 individuell zwischen einer Sperrstellung und einer Freigabestellung umschaltbares, exemplarisch als 2/2-Wegeventil 49 ausgebildetes Ventilmittel zur Beeinflussung eines freien Querschnitts des Verbindungskanals 47 angeordnet ist, um eine kommunizierende Verbindung zwischen der ersten Arbeitskammer 7 und der zweiten Arbeitskammer 8 zeitweilig freizugeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines fluidisch betreibbaren Arbeitssystems (1; 51), das einen Aktor (2) mit einem Aktorgehäuse (3) und einem im Aktorgehäuse (3) beweglich aufgenommenen Aktorglied (4) aufweist, wobei das Aktorgehäuse (3) und das Aktorglied (4) eine erste und mindestens eine zweite Arbeitskammer (7, 8) bestimmen, die jeweils separat druckbeaufschlagbar sind und die zur Bereitstellung von einander entgegengesetzt wirkenden Aktorkräfte auf das Aktorglied (4) ausgebildet sind, und das eine Ventileinrichtung (9; 59), die zur separaten Ansteuerung der beiden Arbeitskammern (7, 8) ausgebildet ist, sowie eine Steuereinrichtung (15; 65) zur Ansteuerung der Ventileinrichtung (9; 59) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (15; 65) die folgenden Schritte vorgibt: Ansteuern der Ventileinrichtung (9; 59) für eine Bereitstellung eines ersten vorgebbaren Volumens eines druckbeaufschlagten Fluids an die erste Arbeitskammer (7), um das Aktorglied (7) ausgehend von einer Startposition auf eine vorgebbare Zielgeschwindigkeit zu beschleunigen, wobei das vorgebbare Volumen derart bemessen ist, dass eine über das druckbeaufschlagte Fluid in die erste Arbeitskammer (7) bereitgestellte Energiemenge möglichst exakt zur Beschleunigung des Aktorglieds (4) auf die geforderte Zielgeschwindigkeit ausreicht, Ansteuern der Ventileinrichtung (9; 59), um die erste Arbeitskammer (7) zu verschließen, Ansteuern der Ventileinrichtung (9; 59), um ein Abströmen eines zweiten vorgebbaren Volumens eines in der zweiten Arbeitskammer (8) enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer (8) zu ermöglichen, so dass eine Abbremsung des Aktorglieds (4) auf eine vorgebbare Zielposition längs des Aktorgehäuses (3) gewährleistet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ventileinrichtung (9; 59) während und/oder nach der Abbremsung des Aktorglieds (4) derart angesteuert wird, dass die zweite Arbeitskammer (8) in der Zielposition drucklos ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste vorgebbare Volumen des druckbeaufschlagten Fluids, das an die erste Arbeitskammer (7) bereitgestellt wird, derart bemessen ist, dass in der ersten Arbeitskammer (7) bei Erreichen der Zielposition ein, insbesondere unterhalb eines Versorgungsdrucks für die Ventileinrichtung (9; 59) angesiedelter, vorgebbarer Zieldruck vorliegt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ventileinrichtung (9; 59) derart angesteuert wird, dass der ersten Arbeitskammer (7) beim Erreichen der Zielposition ein drittes vorgebares Volumen eines druckbeaufschlagten Fluids zugeführt wird, um den Zieldruck in der ersten Arbeitskammer (7) am Ende des Abbremsvorgangs oder nach Beendigung des Abbremsvorgangs um einen vorgebbaren Betrag zu erhöhen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (15; 65) die Ansteuerung der Ventileinrichtung (9; 59) zur Bereitstellung des ersten vorgebbaren Volumens an die erste Arbeitskammer (7) und zur Ermöglichung des Abströmens eines zweiten vorgebbaren Volumens aus der zweiten Arbeitskammer (8) zeitgesteuert vornimmt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Aktor eine Druckmesseinrichtung und/oder wenigstens einen Endlagensensor (18) und/oder eine Wegmesseinrichtung (71) zugeordnet ist und dass eine Ansteuerung, insbesondere eine Regelung, der Ventileinrichtung (9; 59) in Abhängigkeit von Messwerten, die von der Druckmesseinrichtung und/oder dem wenigstens einen Endlagensensor (18) und/oder der Wegmesseinrichtung (71) an die Steuereinrichtung (15; 65) bereitgestellt werden, erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielposition für das Aktorglied (4) derart gewählt ist, dass ein Arbeitsvolumen der zweiten Arbeitskammer (8) minimal ist und dass das erste Volumen für das druckbeaufschlagte Fluid und zweite vorgebbare Volumen für das abströmende Fluid derart vorgegeben sind, dass das Aktorglied (4) die Zielposition mit, insbesondere zumindest nahezu, verschwindender Bewegungsgeschwindigkeit erreicht.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** während der Bewegung zwischen der Startposition und der Zielposition eine Überprüfung der Geschwindigkeit des Aktorglieds (4) durch die Steuereinrichtung (65) vorgenommen wird, um bei Abweichungen von der vorgebbaren Zielgeschwindigkeit eine zusätzliche Zufuhr von druckbeaufschlagtem Fluid in die erste Arbeitskammer (7) oder eine zeitweilige Begrenzung des Abströmens des zweiten vorgebbaren Volumens des in der zweiten Arbeitskammer (8) enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer (8) zu ermöglichen.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abströmen des zweiten vorgebbaren Volumens des in der zweiten Arbeitskammer (8) enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer (8) ungedrosselt erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (15; 65) die Ventileinrichtung (9; 59) für eine Bereitstellung eines ersten vorgebbaren Volumens eines druckbeaufschlagten Fluids an die erste Arbeitskammer (7) und für ein Abströmen eines zweiten vorgebbaren Volumens eines in der zweiten Arbeitskammer (8) enthaltenen Fluids aus der zweiten Arbeitskammer (8) derart ansteuert, dass ein gemittelter Druck aus Druckwerten der beiden Arbeitskammern (7, 8) zu Beginn und zum Ende einer Bewegung des Aktorglieds (4) auf einem Druckniveau liegt, das weniger als 30 Prozent, vorzugsweise weniger als 20 Prozent, insbesondere weniger als 10 Prozent, eines an der Ventileinrichtung anliegenden Versorgungsdrucks beträgt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der gemittelte Druck durch Zufuhr eines ersten Volumens druckbeaufschlagten Fluid in die erste Arbeitskammer (7) auf einen ersten Maximalwert ansteigt und zum Zeitpunkt der Freigabe des in der zweiten Arbeitskammer (8) durch die Bewegung des Aktorglieds (4) komprimierten Fluids einen zweiten Maximalwert einnimmt und zwischen dem ersten und dem zweiten Maximalwert zeitweilig ein Druckniveau erreicht, das weniger als 30 Prozent, vorzugsweise weniger als 20 Prozent, insbesondere weniger als 10 Prozent, eines an der Ventileinrichtung anliegenden Versorgungsdrucks beträgt.

Claims

1. Method for the control of a fluidically operable operating system (1; 51) having an actuator (2) with an actuator housing (3) and an actuator member (4) held movably in the actuator housing (3), wherein the actuator housing (3) and the actuator member (4) determine a first and at least one second working chamber (7, 8) which are each separately able to be pressurised and are designed to provide actuator forces acting on the actuator member (4) opposite to one another, and having a valve device (9; 59) designed for separate control of the two working chambers (7, 8), together with a control device (15; 65) to control the valve device (9; 59), **characterised in that** the control device (15; 65) presets the following steps: control of the valve device (9; 59) to provide a first presetable volume of a pressurised fluid to the first working chamber (7), in order to accelerate the actuator member (7) from a start position to a presetable target speed, wherein the presetable volume is so dimensioned that an amount of energy supplied to the first working chamber (7) via the pressurised fluid is as far as possible exactly sufficient to accelerate the actuator member (4) to the required

target speed, control of the valve device (9; 59) to close the first working chamber (7), control of the valve device (9; 59) to allow an outflow from the second working chamber (8) of a second presetable volume of a fluid contained in the second working chamber (8), so that braking of the actuator member (4) to a presetable target position along the actuator housing (3) is ensured.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the valve device (9; 59) is so controlled during and/or after the braking of the actuator member (4) that the second working chamber (8) is unpressurised in the target position.

3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the first presetable volume of the pressurised fluid which is supplied to the first working chamber (7) is so dimensioned that in the first working chamber (7), on reaching the target position, a target pressure is present which is presetable and in particular below a supply pressure for the valve device (9; 59).

4. Method according to claim 3, **characterised in that** the valve device (9; 59) is so controlled that the first working chamber (7), on reaching the target position, is supplied with a third presetable volume of a pressurised fluid, in order to increase the target pressure in the first working chamber (7) at the end of the braking process or after completion of the braking process by a presetable amount.

5. Method according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the control device (15; 65) undertakes timed control of the valve device (9; 59) to supply the first presetable volume to the first working chamber (7) and to allow the outflow of a second presetable volume from the second working chamber (8).

6. Method according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** the actuator is assigned a pressure measuring device and/or at least one end position sensor (18) and/or a position measuring device (71), and that control, in particular regulation, of the valve device (9; 59) takes place on the basis of measured values supplied to the operating system (1; 51) by the pressure measuring device and/or the end position sensor or sensors (18) and/or the position measuring device (71).

7. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the target position for the actuator member (4) is so chosen that a working volume of the second working chamber (8) is minimal, and that the first volume for the pressurised fluid and second presetable volume for the outflowing fluid is preset so that the actuator member (4) reaches the target position with vanishing, in particular at least

almost vanishing speed of movement.

8. Method according to any of the preceding claims **characterised in that**, during the movement between the start position and the target position, a check on the speed of the actuator member (4) is made by the control device (65) so that, in the event of deviations from the presettable target speed, an additional supply of pressurised fluid into the first working chamber (7) or a temporary restriction of the outflow from the second working chamber (8) of the second presettable volume of the fluid contained in the second working chamber (8) may be facilitated.
9. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the outflow from the second working chamber (8) of the second presettable volume of the fluid contained in the second working chamber (8) takes place without restriction.
10. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the control device (15; 65) controls the valve device (9; 59) for provision of a first presettable volume of a pressurised fluid to the first working chamber (7) and for outflow from the second working chamber (8) of a second presettable volume of a fluid contained in the second working chamber (8) in such a way that an averaged pressure of the pressure values of the two working chambers (7, 8), at the start and finish of movement of the actuator member (4), lies at a pressure level which is less than 30 percent, preferably less than 20 percent, in particular less than 10 percent of a supply pressure present at the valve device.
11. Method according to claim 10, **characterised in that** the averaged pressure rises to a first maximum value through the supply of a first volume of pressurised fluid into the first working chamber (7) and, at the time of release of the compressed fluid into the second working chamber (8) through the movement of the actuator member (4), adopts a second maximum value and, between the first and second maximum values, temporarily reaches a pressure level which is less than 30 percent, preferably less than 20 percent, in particular less than 10 percent of a supply pressure present at the valve device.

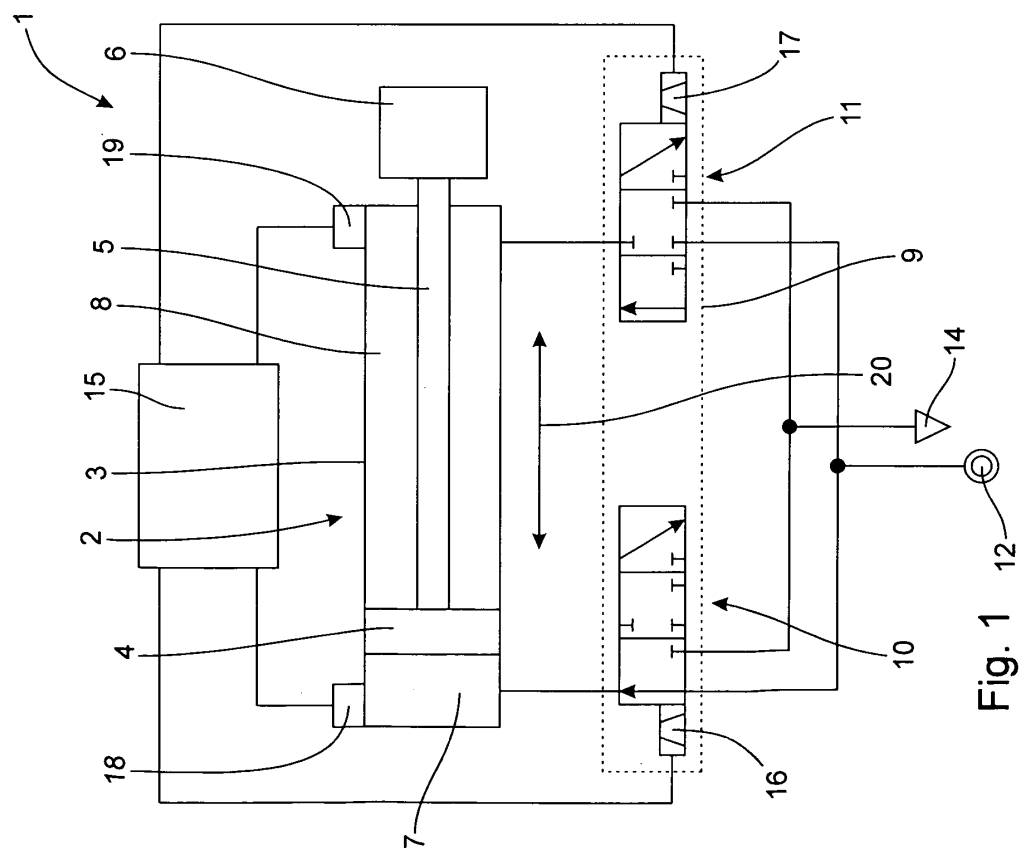
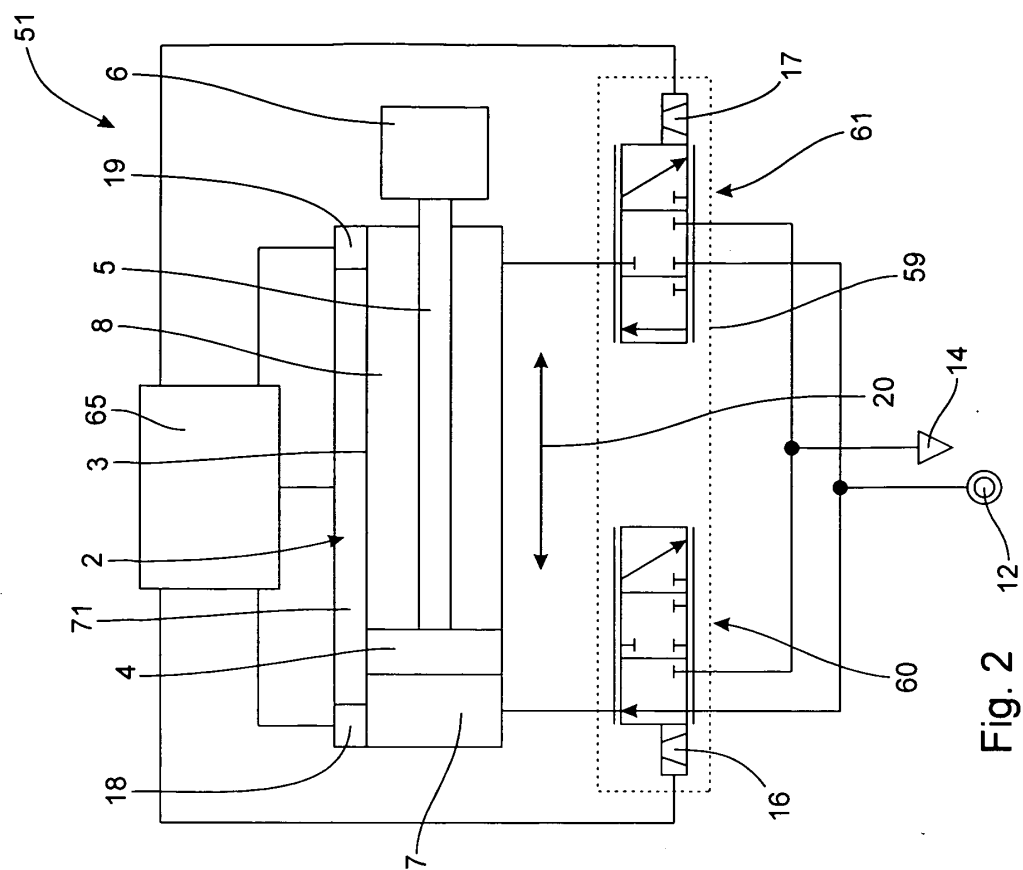
Revendications

1. Procédé de commande d'un système de travail à actionnement fluide (1 ; 51) qui présente un actionneur (2) avec un boîtier d'actionneur (3) et un élément actionneur (4) reçu de manière mobile dans le boîtier d'actionneur (3), le boîtier d'actionneur (3) et l'élément actionneur (4) déterminant une première et au moins une seconde chambre de travail (7, 8)

qui sont mises sous pression chacune séparément et qui sont réalisées pour la mise à disposition de forces d'actionneur agissant de manière opposée l'une par rapport à l'autre sur l'élément actionneur (4), et qui présente un système de soupape (9 ; 59) qui est réalisé pour la commande séparée des deux chambres de travail (7, 8), ainsi qu'un système de commande (15 ; 65) pour la commande du système de soupape (9 ; 59), **caractérisé en ce que** le système de commande (15 ; 65) prescrit les étapes suivantes : la commande du système de soupape (9 ; 59) pour une mise à disposition d'un premier volume prescriptible d'un fluide mis sous pression au niveau de la première chambre de travail (7) afin d'accélérer l'élément actionneur (7) à partir d'une position de départ à une vitesse cible prescriptible, le volume prescriptible étant calculé de telle manière qu'une quantité d'énergie mise à disposition par le biais du fluide mis sous pression dans la première chambre de travail (7) suffise aussi exactement que possible pour l'accélération de l'élément actionneur (4) à la vitesse cible exigée, la commande du système de soupape (9 ; 59) afin de fermer la première chambre de travail (7), la commande du système de soupape (9 ; 59) afin de permettre un écoulement d'un second volume prescriptible d'un fluide contenu dans la seconde chambre de travail (8) hors de la seconde chambre de travail (8) de sorte qu'un freinage de l'élément actionneur (4) soit garanti à une position cible prescriptible le long du boîtier d'actionneur (3).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le système de soupape (9 ; 59) est commandé pendant et/ou après le freinage de l'élément actionneur (4) de telle manière que la seconde chambre de travail (8) soit sans pression dans la position cible.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le premier volume prescriptible du fluide mis sous pression, qui est mis à disposition au niveau de la première chambre de travail (7), est calculé de telle manière qu'une pression cible prescriptible, établie en particulier sous une pression d'alimentation pour le système de soupape (9 ; 59) règne dans la première chambre de travail (7) lors de l'atteinte de la position cible.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le système de soupape (9 ; 59) est commandé de telle manière qu'un troisième volume prescriptible d'un fluide mis sous pression soit amené à la première chambre de travail (7) lors de l'atteinte de la position cible afin d'augmenter la pression cible dans la première chambre de travail (7) à la fin du processus de freinage ou après l'achèvement du processus de freinage d'une quantité prescriptible.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le système de commande (15 ; 65) entreprend de manière temporisée la commande du système de soupape (9 ; 59) pour mettre à disposition le premier volume prescriptible au niveau de la première chambre de travail (7) et pour permettre l'écoulement d'un second volume prescriptible hors de la seconde chambre de travail (8). 5
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**un système de mesure de pression et/ou un capteur de position finale (18) et/ou un système de mesure de déplacement (71) est associé à l'actionneur et **en ce qu'**une commande, en particulier une régulation, du système de soupape (9 ; 59) est effectuée en fonction des valeurs de mesure qui sont mises à disposition par le système de mesure de pression et/ou l'au moins un capteur de position finale (18) et/ou le système de mesure de déplacement (71) au niveau du système de commande (15 ; 65). 10
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la position cible pour l'élément actionneur (4) est choisie de telle manière qu'un volume de travail de la seconde chambre de travail (8) soit minimal et **en ce que** le premier volume pour le fluide mis sous pression et le second volume prescriptible pour le fluide s'écoulant sont prescrits de telle manière que l'élément actionneur (4) atteigne la position cible avec une vitesse de déplacement, notamment au moins presque, infime. 25
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pendant le déplacement entre la position de départ et la position cible, une vérification de la vitesse de l'élément actionneur (4) est entreprise par le système de commande (65) afin de permettre en cas d'écarts de la vitesse cible prescriptible une amenée supplémentaire de fluide mis sous pression dans la première chambre de travail (7) ou une limitation temporaire de l'écoulement du second volume prescriptible du fluide contenu dans la seconde chambre de travail (8) hors de la seconde chambre de travail (8). 30
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'écoulement du second volume prescriptible du fluide contenu dans la seconde chambre de travail (8) hors de la seconde chambre de travail (8) est effectué sans étranglement. 35
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le système de commande (15 ; 65) commande le système de soupape (9 ; 59) pour une mise à disposition d'un premier volume prescriptible d'un fluide mis sous pression au niveau de la première chambre de travail (7) et pour un écoulement d'un second volume prescriptible d'un fluide contenu dans la seconde chambre de travail (8) hors de la seconde chambre de travail (8) de telle manière qu'une pression moyenne des valeurs de pression des deux chambres de travail (7, 8) se trouve au début et à la fin d'un mouvement de l'élément actionneur (4) à un niveau de pression qui s'élève à moins de 30 pour cent, de préférence à moins de 20 pour cent, en particulier à moins de 10 pour cent, d'une pression d'alimentation régnant sur le système de soupape. 40
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la pression moyenne augmente par l'amenée d'un premier volume de fluide mis sous pression dans la première chambre de travail (7) à une première valeur maximale et adopte au moment de la libération du fluide comprimé dans la seconde chambre de travail (8) par le mouvement de l'élément actionneur (4) une seconde valeur maximale et atteint temporairement un niveau de pression entre la première et la seconde valeur maximale qui s'élève à moins de 30 pour cent, de préférence à moins de 20 pour cent, en particulier à moins de 10 pour cent, d'une pression d'alimentation régnant sur le système de soupape. 45



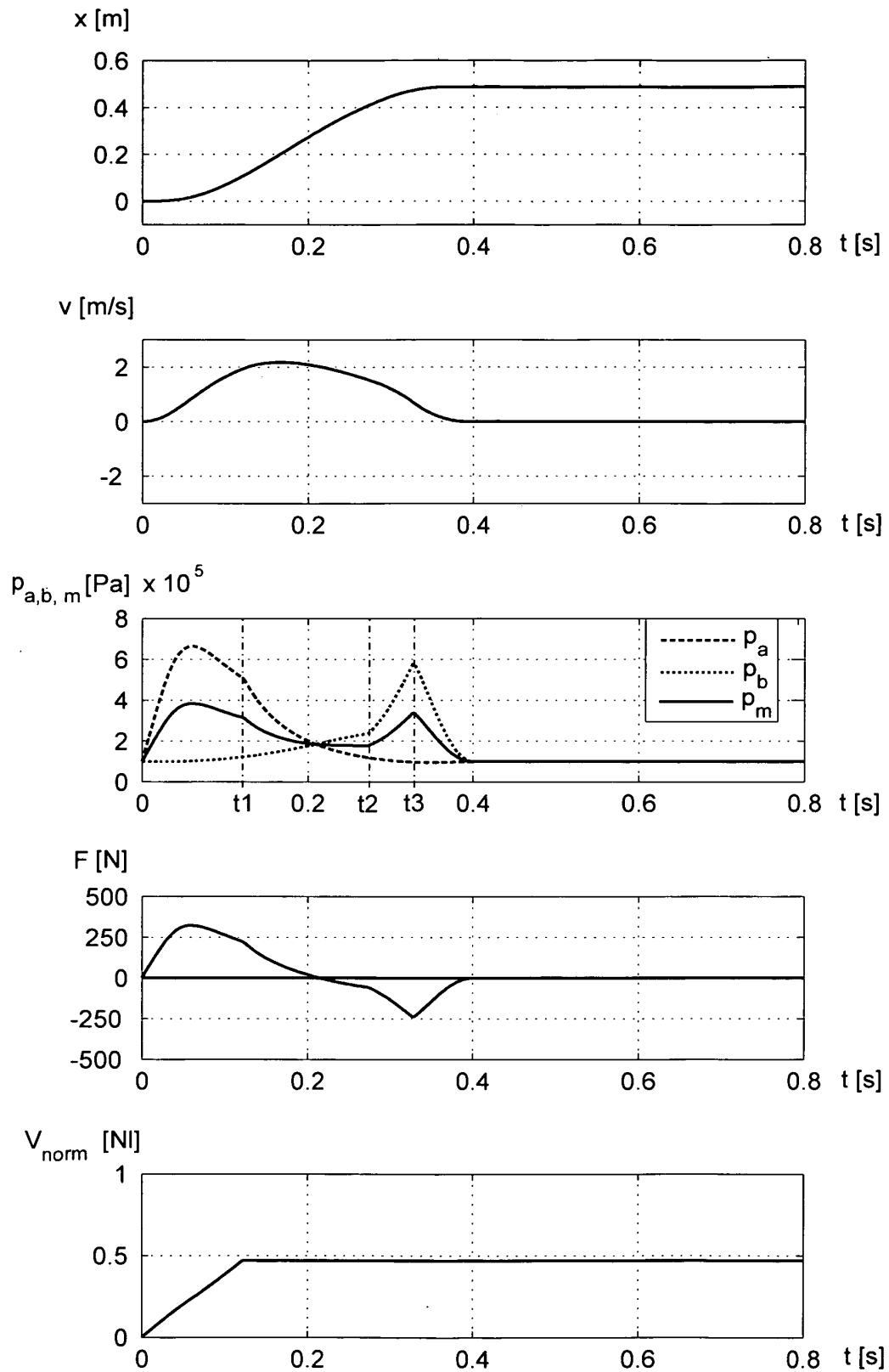


Fig. 3

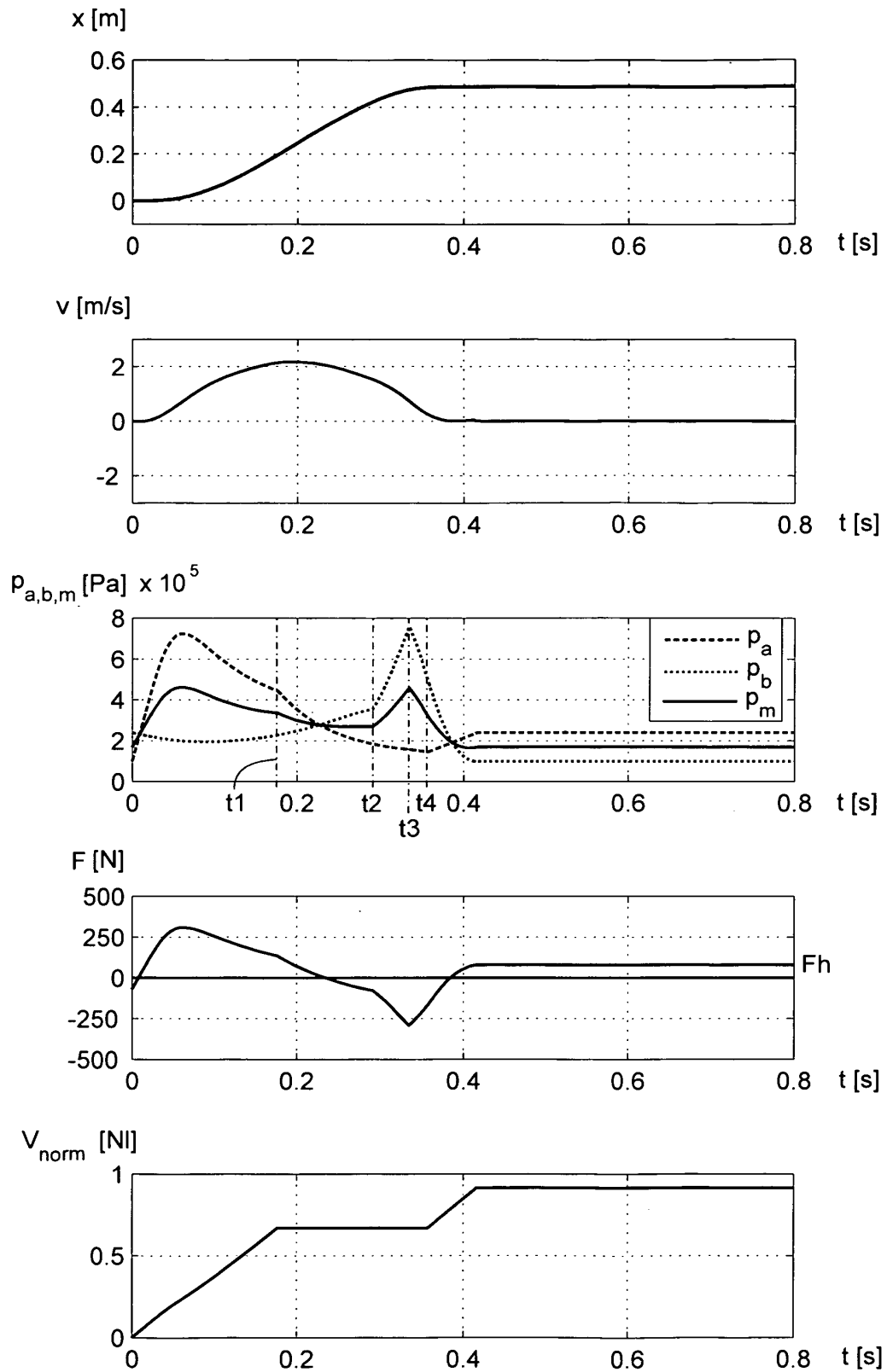


Fig. 4

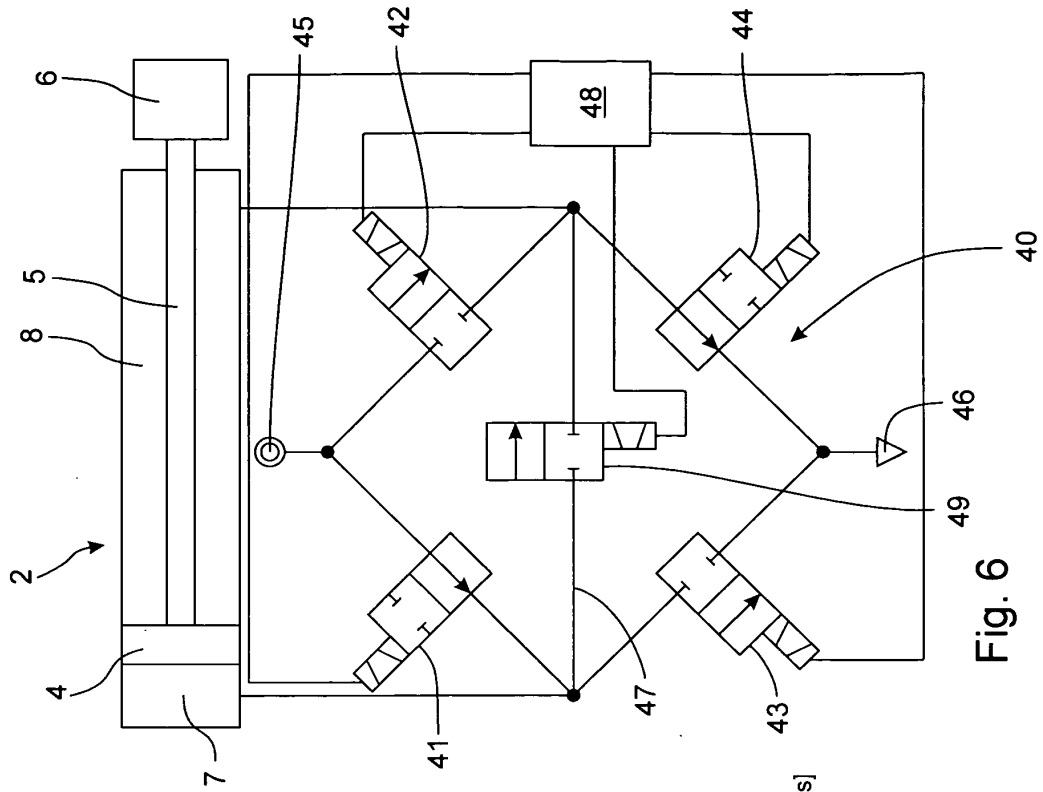


Fig. 6

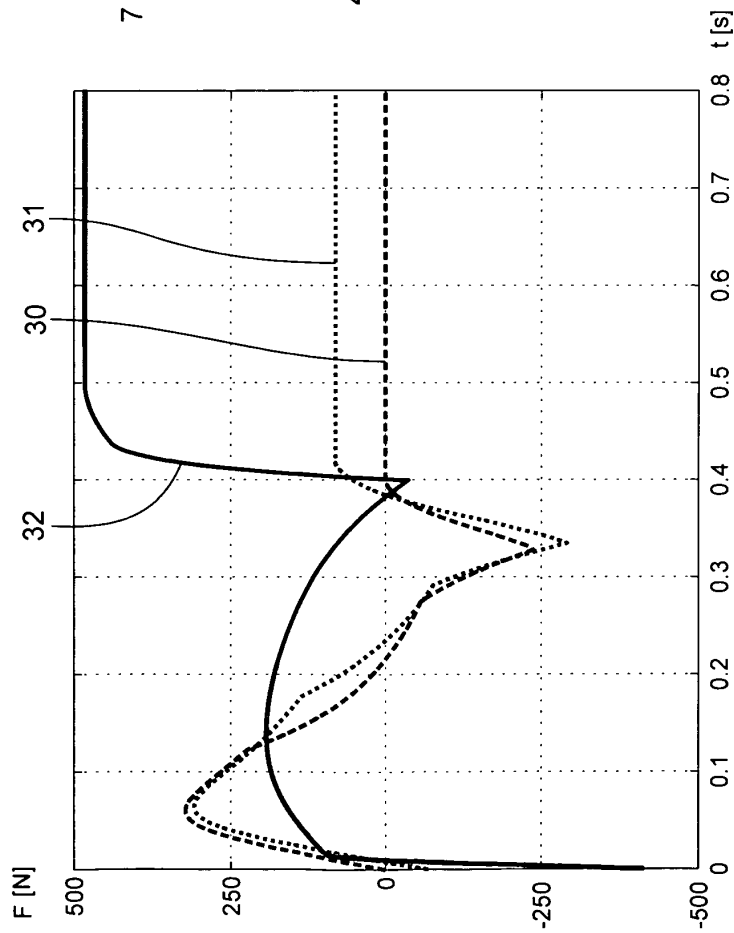


Fig. 5

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 102008007651 B3 **[0002]**
- DE 102009017879 A1 **[0002]**
- US 6705199 B2 **[0003]**
- WO 2006122339 A1 **[0004]**