

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. August 2008 (14.08.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/095480 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B25J 19/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/000227

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Februar 2008 (07.02.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 007 165.7 9. Februar 2007 (09.02.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER** [DE/DE]; Welfengarten 1, 30167 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DENKENA, Berend** [DE/DE]; Hermann-Sievers-Weg 2, 30900 Wedemark (DE). **WEDLER, Armin** [DE/DE]; Hallerstrasse 27, 30161 Hannover (DE). **HESSE, Peter** [DE/DE]; Brügge-mannhof 8, 30167 Hannover (DE).

(74) Anwalt: **PLÖGNER, Jan**; Gramm, Lins & Partner GbR, Theodor-Heuss-Strasse 1, 38122 Braunschweig (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts



WO 2008/095480 A2

(54) Title: MACHINE

(54) Bezeichnung: MASCHINE

(57) Abstract: The invention relates to a machine, in particular a positioning machine (10), comprising (a) a frame (12), (b) an end effector (14) and (c) at least one drive mechanism (22) for moving the end effector (14) in a drive direction (A). According to the invention, a buffer (20) with adjustable rigidity in the drive direction (A) is provided.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Maschine, insbesondere positionierende Maschine (10), mit (a) einem Gestell (12), (b) einem Endeffektor (14) und (c) mindestens einem Antrieb (22) zum Bewegen des Endeffektors (14) in eine Antriebsrichtung (A). Erfindungsgemäß ist ein in Antriebsrichtung (A) in seiner Steifigkeit einstellbarer Stoßfänger (20) vorgesehen.

Maschine

Die Erfindung betrifft eine Maschine, insbesondere eine positionierende Maschine, mit einem Gestell, einem Endeffektor und mindestens einem Antrieb
5 zum Bewegen des Endeffektors in eine Antriebsrichtung. Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer erfindungsgemäßen Maschine.

Positionierende Maschinen sind beispielsweise Roboter, wie Handhabungsroboter. Handhabungsroboter dienen zum Positionieren von Werkstücken zur
10 Montage an anderen Werkstücken oder zum Zuführen zu Bearbeitungseinheiten. In komplexen Produktionsstraßen werden häufig Handhabungsroboter eingesetzt, die ein Werkstück von einem zweiten Roboter übernehmen und an eine andere Bearbeitungseinheit wie eine Presse oder Schmiede übergeben.

15 Aufgrund von Positionierungenauigkeiten des Handhabungsroboters oder Lageungenauigkeiten der Bearbeitungseinheit kommt es in dem Moment, in dem der Handhabungsroboter einerseits und der zweite Roboter oder die Bearbeitungseinrichtung andererseits das Werkstück festlegen, zu Kräften zwischen
20 den Beteiligten. Aufgrund dieser Kräfte verspannen sich die beteiligten Maschinen elastisch gegeneinander, so dass die Ungenauigkeiten ausgeglichen werden.

Derartige elastische Verspannungen stellen eine Belastung für Komponenten
25 des Handhabungsroboters, wie beispielsweise Motoren, Getriebe und Lager, dar und senken daher dessen Lebensdauer. Die auftretenden Kräfte können im ungünstigsten Fall zudem die Qualität des gehandhabten Werkstücks verringern.

30 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu überwinden.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Die Erfindung löst das Problem durch eine gattungsgemäße Maschine, die einen in Antriebsrichtung in seiner Steifigkeit einstellbaren Stoßfänger aufweist. Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Verfahren zum Betreiben einer erfindungsgemäßen Maschine mit den Schritten: (a) Erfassen einer mit dem Endeffektor anzufahrenden Position, (b) Vermindern der Steifigkeit des Stoßfängers, (c) Anfahren der anzufahrenden Position mit dem Endeffektor und (d) Erhöhen der Steifigkeit des Stoßfängers.

Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass eine erfindungsgemäße Maschine so angesteuert werden kann, dass Positionierungenauigkeiten zu kleinen auf die Maschine wirkenden Kräften führen. Dadurch werden die Komponenten der Maschine geschont und der Verschleiß vermindert. Vorteilhaft ist zudem, dass aufgrund der geringen Kräfte die Positioniergenauigkeit der Maschine langsamer abnimmt als bei Maschinen ohne erfindungsgemäßen Stoßfänger.

Vorteilhaft ist zudem der einfache Aufbau, der ohne aufwändige Sensoren auskommt. Da eine erfindungsgemäße Maschine dann, wenn eine Kollision nicht ausgeschlossen werden kann, so angesteuert werden kann, dass sie eine verminderte Steifigkeit aufweist, bauen sich bei einem Zusammenstoß des Endeffektors mit einer anderen Maschine nur langsam Kräfte auf. Es bleibt so genügend Zeit, um die betreffenden Antriebe abzuschalten. Vorteilhaft ist zudem, dass eine Kollision mit einem Endeffektor einer erfindungsgemäßen Maschine auch bei dem Kollisionspartner zu keinen oder zu geringeren Schäden führt.

Die erfindungsgemäße Maschine kann mit einem Kollisionsschutzsystem ausgestattet sein, das im Falle einer Kollision betroffene Antriebe der Maschine abschaltet. Durch den Stoßfänger wird dann vorteilhafterweise der Weg verlängert, der nach einem Zusammenprall zurückgelegt werden kann, bevor Schäden an der Maschine eintreten. Bei einer vorgegebenen Reaktionszeit des Kollisionsschutzsystems kann die erfindungsgemäße Maschine daher mit höheren Geschwindigkeiten bewegt werden als herkömmliche Maschinen.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einem Endeffektor insbesondere jede Komponente verstanden, die unmittelbar auf ein Werkstück einwirkt oder passiv ein Werkzeug hält. Beispiele für Endeffektoren sind Greifer, Werkzeughalter, Löt-, Schweiß-, oder Klebepistolen.

5

Unter der Steifigkeit des Stoßfängers wird insbesondere die Ableitung derjenigen Funktion nach dem Weg verstanden, die die Kraft angibt, die aufgewendet werden muss, um gegeneinander verschiebbare Komponenten des Stoßfängers, wie einem Abtrieb und einem Gehäuse, gegeneinander zu bewegen.

10

Unter einem Stoßfänger wird insbesondere ein Bauelement einer kinematischen Kette verstanden, das eine Steifigkeit aufweisen kann, die kleiner ist als die Steifigkeit der übrigen Komponenten der kinematischen Kette. Stoßfänger weisen zudem insbesondere einen Federweg auf, den zwei Komponenten des

15 Stoßfängers, wie ein Gehäuse oder ein Antrieb, gegeneinander zurücklegen können, bevor es zu einer plastischen Verformung kommt, der länger ist als alle anderen Komponenten der kinematischen Kette.

Unter einem in seiner Steifigkeit einstellbaren Stoßfänger wird insbesondere ein

20 Stoßfänger verstanden, der drei, vier, fünf oder mehr Steifigkeiten einnehmen kann. Günstig ist ein stufenlos in seiner Steifigkeit einstellbarer Stoßfänger.

Der Stoßfänger kann als rein passives Bauelement ausgebildet sein. Es ist aber auch möglich, den Stoßfänger so auszubilden, dass sein Abtrieb relativ zum

25 Gehäuse aktiv positionierbar ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Stoßfänger in einer kinematischen Kette zwischen dem mindestens einen Antrieb und dem Endeffektor angeordnet. Unter der kinematischen Kette wird dabei eine Abfolge von Komponenten der Maschine verstanden, die eine Kraft oder ein Moment von dem

30 mindestens einen Antrieb auf den Endeffektor überträgt. Besonders bevorzugt ist

der Endeffektor unmittelbar an dem Stoßfänger befestigt. In diesem Fall treten bei einer Kollision des Endeffektors nur geringe Beschleunigungskräfte auf.

Es ist bevorzugt, dass der Stoßfänger ein erstes, mit einem Fluid beaufschlagbares, in Antriebsrichtung wirkendes protagonistisches Wirkglied umfasst. Wenn es sich bei dem Fluid um ein Gas handelt, so steigt die Steifigkeit des Systems an, je weiter sich das Wirkglied, wie beispielsweise ein Kolben oder ein McKibben-Muskel, von seiner Ausgangsposition entfernt, das heißt, je größer die Auslenkung ist. Hieran ist vorteilhaft, dass zu Beginn der Bewegung eine besonders kleine Steifigkeit vorliegt und so bei einem Zusammenprall nur sehr kleine Kräfte auftreten können.

Bevorzugt besitzt der Stoßfänger zwei, drei oder mehr protagonistische Wirkglieder. Diese Wirkglieder können beispielsweise in äquidistanten Winkelschritten um einen Abtrieb angeordnet sein, so dass Kippmomente auf den Abtrieb vermieden werden.

Besonders bevorzugt umfasst der Stoßfänger ein zweites, mit dem Fluid beaufschlagbares, in bzw. entgegen der Antriebsrichtung wirkendes, antagonistisches Wirkglied, das ausgebildet ist, um dem ersten Wirkglied entgegenzuwirken. Auf diese Weise kann durch geeignetes Beaufschlagen der beiden Wirkglieder mit Fluid eine voreingestellte Steifigkeit des Stoßfängerseingestellt werden.

Es ist zudem vorteilhaft, zwei, drei oder mehr antagonistische Wirkglieder im Stoßfänger vorzusehen. Diese können ebenfalls wie die protagonistischen Wirkglieder in konstanten Winkelschritten um den Abtrieb angeordnet sein und so Kippmomente vermeiden. Besonders günstig ist es, gleich viele antagonistische und protagonistische Wirkglieder vorzusehen, die an einem gemeinsamen Abtrieb abwechselnd in gleichen Winkelschritten angeordnet sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Maschine ein Pneumatiksystem zum Beaufschlagen, insbesondere zum individuellen Beaufschlagen des protagonistischen Wirkglieds und des antagonistischen Wirkglieds mit Druckluft. Das ermöglicht es, durch selektives Beaufschlagen des antagonistischen Wirkglieds oder des protagonistischen Wirkglieds den mit beiden Wirkgliedern verbundenen Abtrieb in seiner Lage zu einem Gehäuse des Stoßfängers zu verändern.

Um durch das Vorhandensein des Stoßfängers keine zusätzliche Ungenauigkeit in der Maschine zu erhalten, weist die Maschine bevorzugt einen mit beiden Wirkgliedern verbundenen Abtrieb und einen Lagesensor zum Erfassen einer Lage des Abtriebs auf. Es kann eine digitale Steuerung der Maschine vorgesehen sein, die das Pneumatiksystem aufgrund von Signalen des Lagesensors so ansteuert, dass der Abtrieb sich stets in einer vorbestimmten Lage befindet.

Da die Steifigkeit des Stoßfängers von dem Luftdruck in den beiden Wirkgliedern abhängt, ist das Pneumatiksystem bevorzugt eingerichtet zum Einstellen eines vorgegebenen Drucks in dem protagonistischen und dem antagonistischen Wirkglied. Auf diese Weise kann die Steifigkeit einfach und schnell anhand des Drucks in den Wirkgliedern eingestellt werden.

Besonders bevorzugt sind die Wirkglieder pneumatische Muskeln bzw. McKibben-Muskeln. Derartige McKibben-Muskeln verkürzen sich, wenn sie mit Druckluft beaufschlagt werden und stellen eine einfache und damit leicht und kostengünstig zu fertigende Variante eines Wirkglieds dar. Vorteilhaft an McKibben-Muskeln ist zudem deren nichtlineare Kennlinie. Bei zunehmendem Druck in den McKibben-Muskeln verkürzt sich der McKibben-Muskel um mit zunehmender Verkürzung abnehmende Beträge. Durch das Verspannen von protagonistischen und antagonistischen McKibben-Muskeln wird so ein Stoßfänger mit einer von der Auslenkung nichtlinear abhängigen Steifigkeit erhalten.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Wirkglieder so ausgebildet, dass bei konstantem Druck eine für eine Auslenkung des Abtriebs des Stoßfängers aufzubringende Kraft auf nichtlineare Weise von der Auslenkung abhängt. Auf diese Weise kann die Steifigkeit des Stoßfängers besonders effektiv eingestellt werden.

Um Stöße in verschiedenen Raumrichtungen abfangen zu können, weist die Maschine bevorzugt zwei, drei oder mehr in ihrer Steifigkeit einstellbare Stoßfänger auf, die sich in den Richtungen unterscheiden, in denen sie Stöße abfangen können. Die Richtungen, in denen die mindestens zwei Stoßfänger Stöße abfangen können, stehen beispielsweise senkrecht aufeinander.

Um, beispielsweise in Werkzeugmaschinen, keine Einbuße an Positionier- und Fertigungsgenauigkeit zu erleiden, weist der Stoßfänger bevorzugt einen in Antriebsrichtung vorne angeordneten Anschlag für den Kolben oder den Abtrieb auf. Wenn sich der Kolben oder Abtrieb am Anschlag befinden, liegt die Position des Abtriebs bzw. des Kolbens relativ zu den übrigen Komponenten des Stoßfängers mit hoher Genauigkeit fest. Ein an dem Abtrieb befestigter Endeffektor kann dann mit einer hohen Positioniergenauigkeit positioniert werden.

In einem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Steifigkeit des Stoßfängers bevorzugt nur dann vermindert, wenn die anzufahrende Position durch eine Stellbewegung angefahren wird. Eine Stellbewegung ist eine Bewegung, bei der nur die Positioniergenauigkeit der anzufahrenden Position, nicht aber die Positioniergenauigkeit entlang der Trajektorie eine Rolle spielt, auf der die anzufahrende Position erreicht wird. Bei Wirkbewegungen, während denen ein Werkstück beeinflusst wird, wird die Steifigkeit des Stoßfängers bevorzugt nicht verändert und/oder hart gehalten. Hierdurch ist eine hohe Genauigkeit beim Durchführen der Wirkbewegung möglich.

Um für den Fall einer Kollision den größtmöglichen Ausweichweg des Stoßfängers zur Verfügung zu stellen, umfasst der Schritt des Verminderns der Steifig-

keit des Stoßfängers bevorzugt den Schritt des Bewegens des Abtriebs in eine Position, die dichter bei einer Mittelposition liegt, wobei die Mittelposition diejenige Position des Abtriebs ist, in der beide Kolben den gleichen Weg zurücklegen können, bis sie oder der Abtrieb einen Anschlag erreichen.

5

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

10 Figur 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Maschine,

Figur 2 eine Prinzipzeichnung eines in seiner Steifigkeit einstellbaren Stoßfängers,

15 Figur 3 eine weitere Ausführungsform eines Stoßfängers für eine erfindungsgemäße Maschine, der aus sechs Teil-Stoßfängern aufgebaut ist und

20 Figur 4 einen aus sechs McKibben-Muskeln aufgebauten Stoßfänger.

Figur 1 zeigt eine positionierende Maschine in Form eines Roboters 10 mit einem Gestell 12, einem Endeffektor 14, einem ersten Arm 16 und einem zweiten Arm 18. Der erste Arm 16 ist von einem nicht eingezeichneten ersten Motor um einen Drehwinkel φ_1 um eine Drehachse D_1 schwenkbar gelagert. Auf gleiche
25 Weise ist der zweite Arm 18 von einem ebenfalls nicht eingezeichneten zweiten Motor um einen Drehwinkel φ_2 um eine Drehachse D_2 schwenkbar gelagert. An dem zweiten Arm 18 ist um einen Drehwinkel φ_3 um eine Drehachse D_3 ein Stoßfänger 20 schwenkbar gelagert, an dem der Endeffektor 14 in Form eines Greifers befestigt ist. Der erste Motor, der erste Arm 16, der zweite Motor und
30 der zweite Arm 18 sind Teile eines Antriebs 22, mit dem der Endeffektor 14 in eine Antriebsrichtung bewegt werden kann, die durch einen Pfeil A angedeutet ist.

Der Endeffektor 14 umfasst einen Aktuator 24 zum Betätigen eines ersten Greiffingers 26.1 und eines zweiten Greiffingers 26.2. Durch Betätigen des Aktuators 24 kann ein schematisch eingezeichnetes Werkstück 28 von dem Roboter 10 gegriffen werden.

Figur 1 zeigt die Situation, in der das Werkstück 28 in Antriebsrichtung A unmittelbar vor einem feststehenden Objekt 30 platziert werden soll. Durch Ungenauigkeiten im Antrieb 22 kann der Fall eintreten, dass das Werkstück 28 bereits mit dem Objekt 30 in Kontakt steht und der Roboter 10 dennoch versucht, es weiter in Antriebsrichtung A zu bewegen. Der Grund hierfür kann sein, dass der Roboter 10 falsch programmiert ist oder dass eine Positionierungsungenauigkeit des Roboters 10 dazu führt, dass der Roboter 10 versucht, das Werkstück 28 an einer Stelle zu platzieren, in der das Objekt 30 sich befindet. In diesem Fall fängt der Stoßfänger 20 den entstehenden Stoß ab.

Dazu weist der Stoßfänger 20, wie in Figur 2 gezeigt ist, einen Abtrieb 32 auf, der mit dem Endeffektor 14 starr verbunden ist. Der Abtrieb 32 ist in einem Gehäuse 34 über zwei Gleitführungen 36.1, 36.2 gleitend gelagert. Über ein erstes Koppelstück 38.1 ist der Abtrieb 32 mit einem ersten, antagonistischen Wirkglied in Form eines pneumatischen Muskels 40 verbunden, der nach dem McKibben-Prinzip arbeitet. Der Muskel 40 kann über ein nicht eingezeichnetes Pneumatikventil mit Druckluft aus einer ebenfalls nicht eingezeichneten Pneumatikleitung beaufschlagt werden. Wenn der antagonistische Muskel 40 mit Druckluft beaufschlagt wird, so bläst er sich auf und bewegt den Abtrieb 32 um ein Wegstück s in eine Verschieberichtung v .

Über ein zweites Koppelstück 38.2 ist ein zweites, antagonistisches Wirkglied 42 in Form eines pneumatischen Muskels nach dem McKibben-Prinzip ebenfalls mit dem Abtrieb 32 verbunden. Auch der antagonistische Muskel 42 kann über ein nicht eingezeichnetes Pneumatikventil mit Druckluft aus der nicht eingezeichneten Pneumatikleitung mit Druckluft beaufschlagt werden. Wenn der

antagonistische Muskel 42 mit Druckluft beaufschlagt wird, bläst er sich auf und bewegt den Abtrieb 32 in Richtung eines dem Wegstück s entgegengesetzten Wegstücks $-s$ bezüglich der Verschieberichtung v . Durch stärkeres Beaufschlagen des protagonistischen Muskels 40 oder des antagonistischen Muskels
5 42 kann daher die Lage des Abtriebs 32 in Verschieberichtung v eingestellt werden.

Der Stoßfänger 20 umfasst einen schematisch eingezeichneten Lagesensor 44, mit dem eine Lage des Abtriebs 32 in Verschieberichtung v erfasst werden
10 kann. Der Lagesensor 44 steht in Verbindung mit einer nicht eingezeichneten digitalen Steuerung, die ihrerseits mit den beiden nicht eingezeichneten Pneumatikventilen verbunden ist. Die digitale Steuerung ist eingerichtet, um durch Beaufschlagen des protagonistischen Muskels 40 bzw. des antagonistischen Muskels 42 mit Druckluft oder durch Ablassen von Druckluft aus einem der bei-
15 den Muskel 40, 42 die Lage des Abtriebs 32 auf eine voreingestellte Lage einzustellen.

Der Stoßfänger 20 umfasst zudem für jeden der beiden Muskel 40 bzw. 42 einen nicht eingezeichneten Drucksensor zum Messen des Luftdrucks p in dem
20 jeweiligen Muskel. Die beiden Drucksensoren sind ebenfalls mit der digitalen Steuerung verbunden, so dass bei einer vorgegebenen Lage des Abtriebs 32 auch der in den beiden Kolben 40 bzw. 42 herrschende Luftdruck p_1 bzw. p_2 einstellbar variierbar ist.

25 Wenn an Stelle des protagonistischen Muskels 40 und des antagonistischen Muskels 42 jeweilige Kolben verwendet werden, so hängt die Steifigkeit, wie durch die nachfolgende Rechnung gezeigt wird, von dem in beiden Kolben herrschenden Druck ab. Nur für die Zwecke der Rechnung werden im Folgenden die Muskeln als Kolben bezeichnet und als Kolben modelliert.

30

Der erste Kolben 40 und der zweite Kolben 42 haben in ihrer Nulllage, in der sie keinen Gasaustausch mit der Umgebung haben, eine Länge L und einen Quer-

schnitt Q . Daraus folgt jeweils das Volumen $V = LQ$. Es herrsche in beiden Kolben 40, 42 der Druck p_0 .

- 5 Wenn der Abtrieb um den Weg s entgegen dem Druck p verschoben werden soll, so verbleibt in dem ersten Kolben 40 das Volumen $V_1 = (L_0 - s)Q$ und es stellt sich der Druck p_1 ein.

Aus der kinetischen Gasgleichung $p_0 V_0 = N k_B T = pV$ folgt im isothermen Fall mit der Näherung $(1 - x)^{-1} \approx 1 + x$ für kleine x

$$10 \quad p_1 = p_0 \frac{V_0}{V_1} = p_0 \frac{L_0 Q}{(L_0 - s)Q} = p_0 \frac{L_0}{L_0 \left(1 - \frac{s}{L_0}\right)} = p_0 \frac{1}{1 - \frac{s}{L_0}} \approx p_0 \left(1 + \frac{s}{L_0}\right)$$

Für den Druck p_2 im zweiten Kolben 42 gilt

$$p_2 = p_0 \frac{V_0}{V_2} = p_0 \frac{L_0 Q}{(L_0 + s)Q} = p_0 \frac{L_0}{L_0 \left(1 + \frac{s}{L_0}\right)} = p_0 \frac{1}{1 + \frac{s}{L_0}} \approx p_0 \left(1 - \frac{s}{L_0}\right)$$

- 15 Daraus resultiert eine auf den Abtrieb 32 aufzubringende Gesamtkraft F , um den Abtrieb 32 um die Auslenkung s zu verschieben:

$$F = F_1 + F_2 = p_1 Q - p_2 Q = Q(p_1 - p_2) = p_0 \left(1 + \frac{s}{L_0}\right) - p_0 \left(1 - \frac{s}{L_0}\right) = 2p_0 \frac{s}{L_0}$$

Für die Steifigkeit ζ folgt: $\zeta = \left. \frac{dF}{ds} \right|_{s=0} = Q \left. \frac{dp}{ds} \right|_{s=0} = 2 \frac{p_0}{L_0}$.

- 20 Die Steifigkeit ζ ist im Idealfall also proportional zu dem Druck p_0 , der in den beiden Kolben in der Nulllage herrscht. Für größere Auslenkungen s gilt die Näherung $\frac{1}{1 - \frac{s}{L_0}} \approx 1 + \frac{s}{L_0}$ nicht mehr, so dass die Kraft F auf nichtlineare Weise von der Auslenkung s abhängt. Es ergibt sich eine nichtlineare Kraft-Weg- bzw. Kraft-Auslenkungs-Beziehung.

Wenn Muskeln statt der Kolben eingesetzt werden, kann die Rechnung nicht mehr so einfach durchgeführt werden, da die Verkürzung der Muskeln auf eine andere nichtlineare Weise von dem Druck p abhängig ist. Durch die Nichtlinearität der Abhängigkeit der Verkürzung der Muskeln vom Druck p erhöht sich die Nichtlinearität der Abhängigkeit der Steifigkeit des Stoßfängers von der Auslenkung s .

10 Sofern also der Endeffektor 14 mit einer geringen Steifigkeit angekoppelt werden soll, reduziert die digitale Steuerung den Druck p in beiden Muskeln 40, 42 so, dass sich die Lage des Abtriebs 32 nicht ändert. Umgekehrt erhöht die digitale Steuerung den Druck p in beiden Muskeln 40, 42, wenn eine hohe Steifigkeit gewünscht ist.

15 Für eine besonders hohe Steifigkeit wird einer der beiden Muskeln mit dem maximal möglichen Luftdruck beaufschlagt, wohingegen der andere Muskel druckfrei bleibt. Dadurch wird der Abtrieb 32 gegen einen Anschlag 46 gedrückt, so dass die relative Lage des Abtriebs 32 zu dem Gehäuse 34 mit einer hohen Genauigkeit festliegt. Der mit dem Abtrieb 32 verbundene Endeffektor 14 kann
20 dann mit einer genau so hohen Positioniergenauigkeit positioniert werden, wie es ohne das Vorhandensein des Stoßfängers 20 möglich wäre.

Figur 3 zeigt eine alternative Ausführungsform eines Stoßfängers 20 für eine erfindungsgemäße Maschine. Der Stoßfänger 20 umfasst 6 Teil-Stoßfänger
25 48.1, 48.2, 48.3, 48.4, 48.5 und 48.6, die alle jeweils an einer Basisplattform 50 und einer Abtriebsplattform 52 über jeweilige Kardangelenke 54.1 ... 54.6 und 56.1 ... 56.6 verbunden. Es ergibt sich ein Hexapod-Aufbau, bei dem die Steifigkeit bezüglich aller drei Raumrichtungen x , y und z und aller Drehfreiheitsgrade einstellbar ist, indem die jeweiligen Drücke p in den Muskeln der Teil-
30 Stoßfänger 48.1 bis 48.6 entsprechend eingestellt werden.

Figur 4 zeigt einen Stoßfänger 20, der drei antagonistische Muskeln aufweist, von denen in Figur 4 nur die beiden Muskeln 40.1 und 40.2 sichtbar sind. Die drei antagonistischen Muskeln sind in Winkelschritten von 120° versetzt angeordnet und wirken gemeinsam auf eine Aufnahmeplatte 58, die ihrerseits mit dem Abtrieb 32 verbunden ist. Der Stoßfänger 20 nach Figur 4 umfasst zudem drei antagonistische Muskeln, von denen jedoch nur der Muskel 42.1 sichtbar ist. Die drei antagonistischen Muskeln sind ebenfalls um 120° versetzt angeordnet und sind über eine zweite Aufnahmeplatte 60 ebenfalls mit dem Abtrieb 32 verbunden.

10

Der Abtrieb 32 ist an seinem dem Endeffektor 14 abgewandten Ende mit einer zentralen Ausnehmung 62 versehen, in dem ein Messkopf 64 aufgenommen ist. Der Messkopf 64 ist an dem Gehäuse 34 befestigt und ausgebildet, um eine Relativbewegung des Abtriebs 32 relativ zum Gehäuse 34 zu messen.

15

Die antagonistischen Muskeln 40.1, ... werden über ein erstes Pneumatikventil 66 mit Luftdruck versorgt und die antagonistischen Muskeln 42.1, ... werden über ein zweites Pneumatikventil 68 mit Druckluft versorgt. Beide Pneumatikventile 66, 68 sind mit der nicht eingezeichneten Steuerung verbunden.

20

Ein erfindungsgemäßes Verfahren wird dadurch durchgeführt, dass zunächst eine mit dem Endeffektor 14 anzufahrende Position erfasst wird. Um zu verhindern, dass auf die Arme 16, 18 und die mit den Armen verbundenen Motoren im Fall einer Kollision des Endeffektors 14 hohe Kräfte wirken, wird die Steifigkeit des Stoßfängers 20 dadurch vermindert, dass die Drücke p in allen Muskeln des Stoßfängers 20 beispielsweise im Wesentlichen auf Umgebungsdruck reduziert werden. Anschließend wird die anzufahrende Position mit dem Endeffektor 14 angefahren und es wird mit dem Lagesensor 44 erfasst, ob sich der Abtrieb 32 relativ zu dem jeweiligen Gehäuse 34 verschoben hat, was auf eine Kollision hindeuten würde. Ist dies nicht der Fall, wird der Druck p in den Muskeln des Stoßfängers 20 erhöht und so die gewünschte erhöhte Steifigkeit eingestellt.

Wenn es sich bei dem Roboter 10 beispielsweise um einen Füge-roboter handelt, der ein erstes Werkstück in ein zweites Werkstück einpassen soll, wie beispielsweise ein Zylinderkopf in eine Laufbuchse eines Kolbenmotors, so kann während des Einführens des Zylinderkopfs in die Laufbuchse die Steifigkeit des Stoßfängers verringert bleiben, um Schäden an Zylinderkopf und Laufbuchse aufgrund von Positionierfehlern des Roboters zu vermeiden.

Es ist auch möglich, dass ein aus mehreren Teil-Stoßfängern aufgebauter Stoßfänger, wie er in Figur 3 gezeigt ist, nur hinsichtlich einzelner Bewegungsfreiheitsgrade in seiner Steifigkeit erhöht bzw. vermindert wird. So ist es im beispielhaft genannten Fall möglich, dass der Freiheitsgrade des Stoßfängers, der sich auf die Einführrichtung des Zylinderkopfs in die Laufbuchse bezieht, eine hohe Steifigkeit aufweist, wohingegen Kipp- und seitliche Verschiebefreiheitsgrade eine geringe Steifigkeit aufweisen, so dass der Zylinderkopf zwar mit einer vorgegebenen Kraft in die Laufbuchse eingeschoben werden kann, es jedoch nicht zu einem Verkanten kommt, weil entsprechende Kippbewegungen von dem Stoßfänger aufgenommen werden.

Bezugszeichenliste

	10	Roboter
	12	Gestell
5	14	Endeffektor
	16	erster Arm
	18	zweiter Arm
	20	Stoßfänger
10	22	Antrieb
	24	Aktuator
	26	Greiffinger
	28	Werkstück
15	30	Objekt
	32	Abtrieb
	34	Gehäuse
	36.1, 36.2	Gleitführung
	38.1	Koppelstück
20	40	protagonistischer Muskel
	42	antagonistischer Muskel
	44	Lagesensor
	46	Anschlag
25	48.1... 48.6	Teil-Stoßfänger
	50	Basisplattform
	52	Antriebsplattform
	54.1 ... 54.6	Kardangelenk
30	56.1 ... 56.6	Kardangelenk
	58	Aufnahmeplatte

	60	Aufnahmeplatte
	62	Ausnehmung
	64	Messkopf
5	66	erstes Pneumatikventil
	68	zweites Pneumatikventil
	$\varphi_{1, 2, 3}$	Drehwinkel
	ζ	Steifigkeit
10	A	Antriebsrichtung
	D_1, D_2	Drehachse
	L	Länge
	F	Kraft
15	$p_{1, 2}$	Luftdruck
	Q	Querschnitt
	s	Wegstück
	v	Verschieberichtung
20	V	Volumen
	x, y, z	Raumkoordinaten

Ansprüche

1. Maschine, insbesondere positionierende Maschine (10), mit
5 (a) einem Gestell (12),
(b) einem Endeffektor (14) und
(c) mindestens einem Antrieb (22) zum Bewegen des Endeffektors
(14) in eine Antriebsrichtung (A),
gekennzeichnet durch
(d) einen in Antriebsrichtung (A) in seiner Steifigkeit einstellbaren
10 Stoßfänger (20).
2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoßfänger
(20) in einer kinematischen Kette zwischen Antrieb (22) und Endeffektor
(14) angeordnet ist.
15
3. Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass der Stoßfänger (20) ein erstes mit einem Fluid beaufschlagbares,
in Antriebsrichtung (A) wirkendes protagonistisches Wirkglied (40) umfasst.
20
4. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoßfänger
(20) zwei, drei oder mehr protagonistische Wirkglieder (40) umfasst.
5. Maschine nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,
25 dass der Stoßfänger (20) ein zweites, mit dem Fluid beaufschlagbares,
antagonistisches Wirkglied (42) umfasst, das ausgebildet ist, um dem
ersten Wirkglied (40) entgegenzuwirken.
6. Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoßfänger
30 (20) zwei, drei oder mehr antagonistische Wirkglieder (42) umfasst.

7. Maschine nach einem der Ansprüche 3 bis 6, gekennzeichnet durch ein Pneumatiksystem zum Beaufschlagen, insbesondere zum individuellen Beaufschlagen, des mindestens einen ersten Wirkglieds (40) und des zweiten mindestens einen Wirkglieds (42) mit Druckluft.
- 5
8. Maschine nach einem der Ansprüche 5 bis 7, gekennzeichnet durch einen mit allen Wirkgliedern (40, 42) verbundenen Abtrieb (32) und einem Lagesensor (44) zum Erfassen einer Lage des Abtriebs (32).
- 10
9. Maschine nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen Druckregler zum Beaufschlagen der Wirkglieder (40, 42) mit Fluid, insbesondere mit Druckluft, so, dass der Abtrieb (32) eine voreingestellte Lage einnimmt.
- 15
10. Maschine nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Pneumatiksystem eingerichtet ist zum Einstellen eines vorgegebenen Drucks (p) in den Wirkgliedern (40, 42).
- 20
11. Maschine nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Wirkglieder eine von dem Druck (p) abhängige Verkürzung aufweisen, die auf nichtlineare Weise von dem Druck (p) abhängt, insbesondere, dass die Wirkglieder McKibben-Muskeln (40, 42) sind.
- 25
12. Maschine nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Wirkglieder (40, 42) so ausgebildet sind, dass bei konstantem Druck (p) eine für eine Auslenkung (s) des Abtriebs (32) aufzubringende Kraft (F) auf nichtlineare Weise von der Auslenkung (s) abhängt.
- 30
13. Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zwei, drei oder mehr in ihrer Steifigkeit einstellbare Stoßfänger (20; 48).

14. Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoßfänger (20) einen Anschlag (46) für die Wirkglieder (40) oder den Abtrieb (32) aufweist.
- 5 15. Maschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoßfänger einen zweiten in Antriebsrichtung (A) entgegengesetzt zum ersten Anschlag (46) angeordneten Anschlag für die Wirkglieder (40, 42) oder den Abtrieb (32) aufweist.
- 10 16. Verfahren zum Betreiben einer positionierenden Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche mit den Schritten:
- (a) Erfassen einer mit dem Endeffektor (14) anzufahrenden Position,
 - (b) Vermindern der Steifigkeit des Stoßfängers (20),
 - (c) Anfahren der anzufahrenden Position mit dem Endeffektor (14)
- 15 und
- (d) Erhöhen der Steifigkeit des Stoßfängers (20).
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Steifigkeit des Stoßfängers (20) nur dann vermindert wird, wenn die anzufahrende Position durch eine Stellbewegung angefahren wird.
- 20
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Verminderns der Steifigkeit des Stoßfängers den Schritt umfasst: Bewegen des Abtriebs (32) in eine Position, die dichter bei einer Mittelposition liegt, wobei die Mittelposition diejenige Position ist, in der beide Wirkglieder (40, 42) den gleichen Weg bis zu dem jeweiligen Anschlag (46) zurücklegen können.
- 25
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Verminderns der Steifigkeit des Stoßfängers (20) den Schritt umfasst:
- 30

- (b1) Erfassen einer Anschlagstellung des Stoßfängers (20) an einem von zwei Anschlägen,
- (b2) Ermitteln, ob der Endeffektor (14) bei einem Weg zu der anzufahrenden Position sich so bewegt, dass ein Zusammenprall des Endeffektors (14) den Abtrieb (32) gegen den Anschlag (46) drücken würde, und
- 5 (b3) Bewegen des Abtriebs (32) auf eine vom Anschlag (46) beabstandete Position, wenn das der Fall ist.
- 10 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Vermindern der Steifigkeit ein Vermindern eines Drucks (p), insbesondere eines Luftdrucks, umfasst.
- 15 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass eine am Endeffektor anliegende Kraft ermittelt wird.
22. Rechnerprogramm mit Programmcode, der auf einem Träger gespeichert ist, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 16 bis 21.

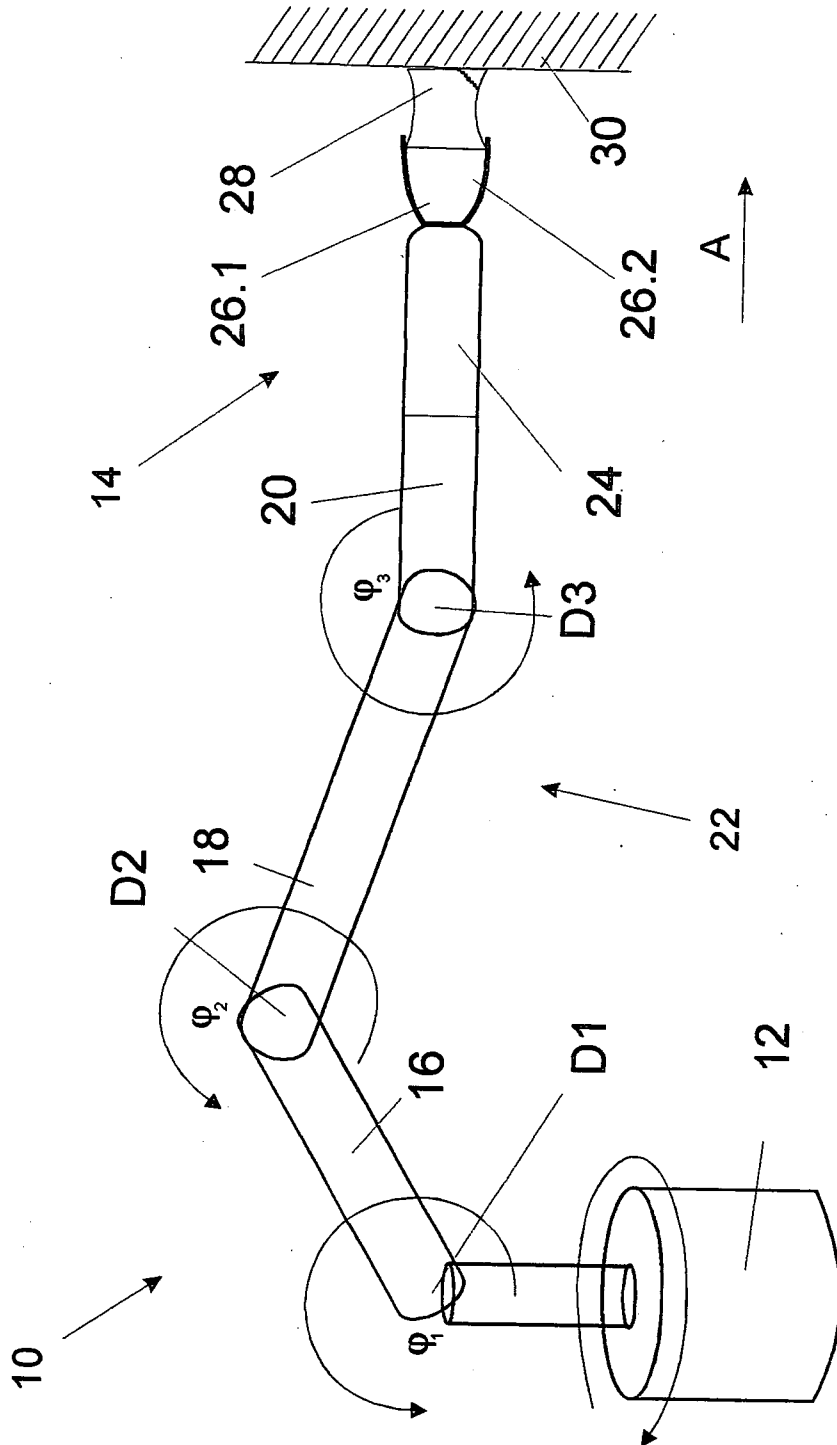


Fig. 1

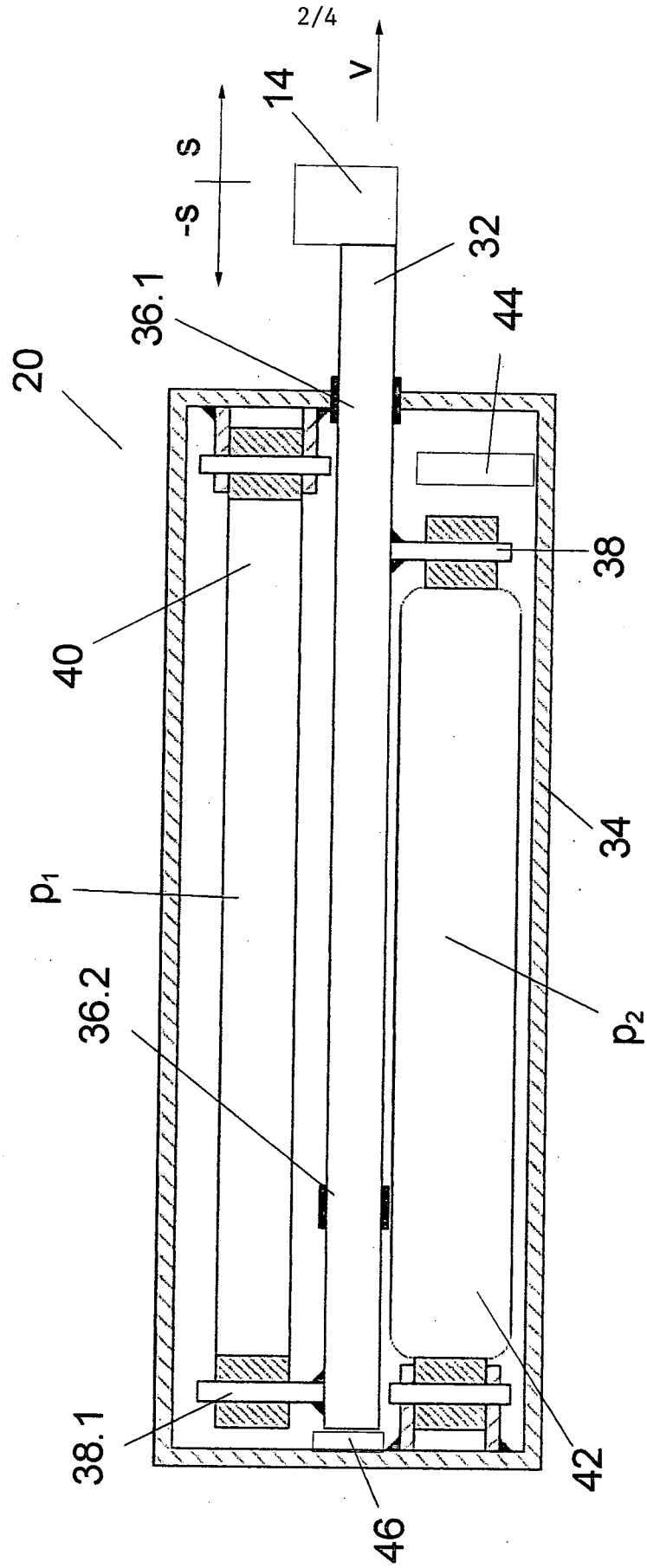


Fig. 2

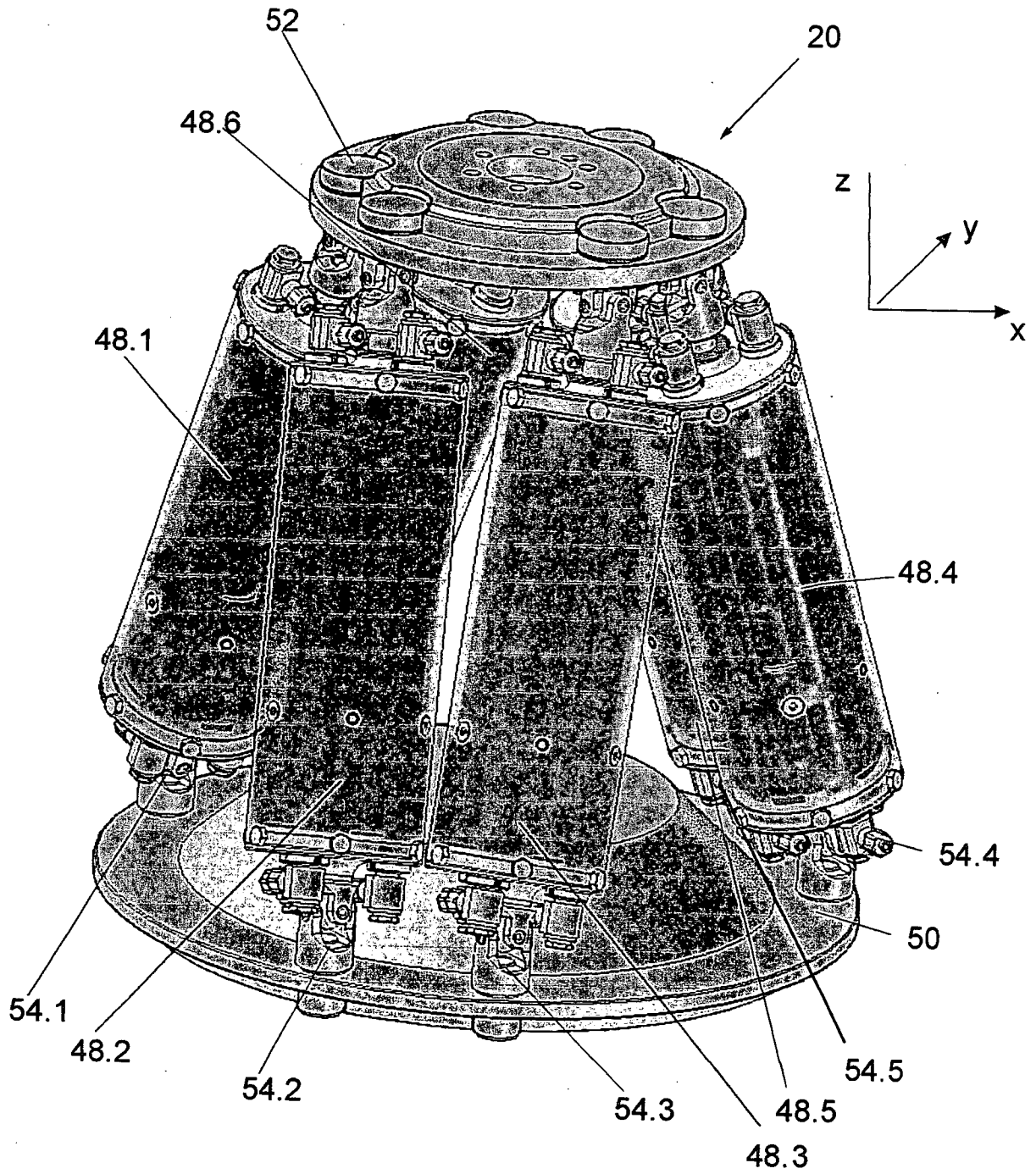


Fig. 3

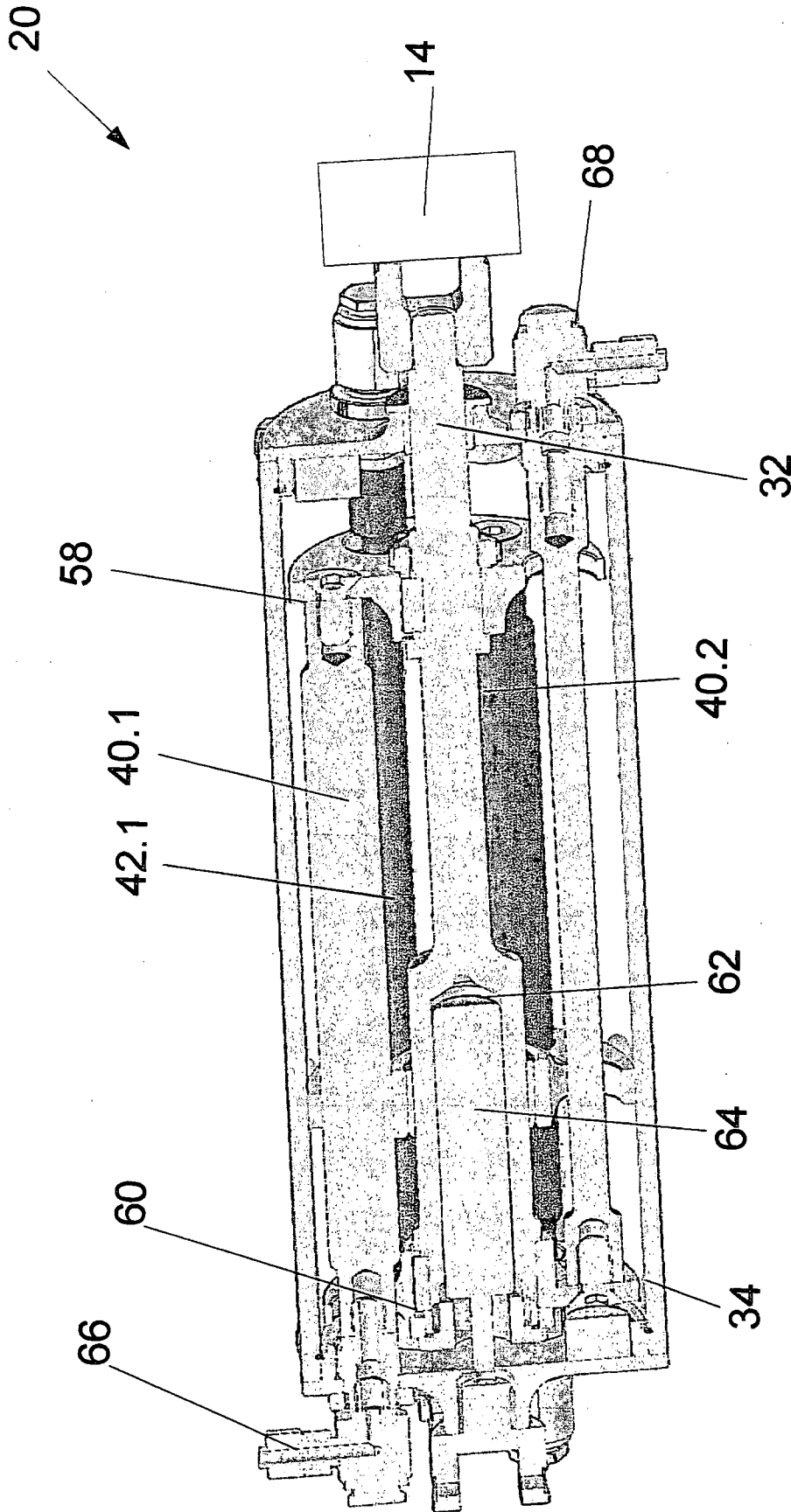


Fig. 4