



(10) **DE 11 2006 001 920 B4** 2013.10.10

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2006 001 920.1**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/AT2006/000296**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/012093**  
(86) PCT-Anmeldetag: **11.07.2006**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **01.02.2007**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **10.10.2013**

(51) Int Cl.: **B25J 9/10** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**A 1284/2005**      **29.07.2005**    **AT**

(73) Patentinhaber:  
**Ehrenleitner, Franz, 72213, Altensteig, DE**

(74) Vertreter:  
**Bülow, Tam von, Dipl.-Ing.Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Dr.rer.pol., 81547, München, DE**

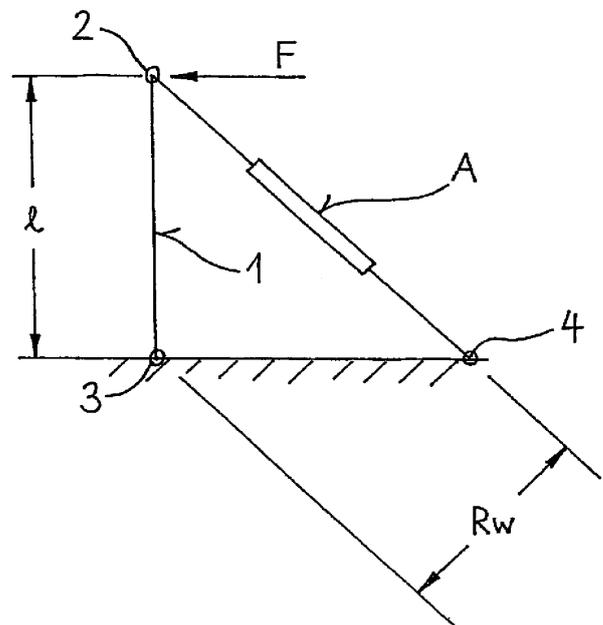
(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

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

FR	2 723 386	A1
US	6 425 303	B1
US	5 378 282	A
US	3 289 866	A
EP	1 052 071	A2
EP	1 234 632	A1
WO	2003/ 004 223	A2
WO	2003/ 059 581	A1

(54) Bezeichnung: **Parallelkinematische Vorrichtung mit Mitteln zur Kompensation der Haltekraft**

(57) Hauptanspruch: Parallelkinematische Vorrichtung, mit zwei Kinematiken mit einer festen Plattform und einer beweglichen Plattform auf der Basis von Stäben (11, 21, 41) und Aktuatoren mit Fußpunkten und Kopfpunkten, wobei die erste Kinematik mit zumindest einem Aktuator (A, A1) als Stab konstanter Länge mit einem gegenüber der festen Plattform verschieblichen Fußpunkt (16, 46) ausgebildet ist und mit einem Stab konstanter Länge und festem Fußpunkt (11, 41) auf der festen Plattform einen gemeinsamen Kopfpunkt (23, 42) aufweist, wobei der verschiebliche Fußpunkt (16, 46) des Aktuators (A, A1) von einem Lenkstab (17, 47) mit festem Fußpunkt (18, 48) auf der festen Plattform, mit dem er gelenkig verbunden ist, entlang eines Kreisbogens geführt ist, und wobei ein Betätigungsorgan (B, B1) am Lenkstab (17) oder an einem mit ihm über ein Kräfteinleitungselement (49) fest verbundenen Angriffspunkt (40) angreift, wobei die zweite Kinematik ein Betätigungsorgan (B2) aufweist, dessen Fußpunkt (24) an der festen und dessen Kopfpunkt (26) an der beweglichen Plattform angreift.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine parallelkinematische Vorrichtung mit zwei Kinematiken und Mitteln zur Kompensation der Haltekraft.

**[0002]** Die US 3,289,866 A zeigt einen Antrieb für eine Baggerschaufel mit einer Kinematik. An einem als Basisplattform anzusehenden Träger sind ein erster und ein zweiter Stab konstanter Länge schwenkbar angeschlossen, wobei die freien Enden des ersten und zweiten Stabes jeweils gelenkig durch einen dritten Stab miteinander verbunden sind. Am Verbindungspunkt zwischen dem ersten und dem dritten Stab ist ein Betätigungsorgan in Form eines Hydraulikzylinders angeschlossen. An den ersten Stab ist eine Baggerschaufel angeschlossen, die um eine parallel zur Längsachse des ersten Stabes verlaufende Achse schwenkbar ist.

**[0003]** Die FR 2 723 386 A1 zeigt ebenfalls einen kinematischen Antrieb für einen Bagger, an dessen Chassis ein erster Arm konstanter Länge schwenkbar befestigt ist. Am freien Ende des ersten Armes ist ein zweiter Arm angebracht, der um eine Achse schwenkbar ist. Am Ende des zweiten Armes ist wiederum eine Achse angeordnet, um die eine Baggerschaufel geschwenkt werden kann. Zur Verschwenkung des ersten Armes ist am Chassis ein weiterer Arm konstanter Länge schwenkbar angebracht, dessen Ende über einen Lenkhebel konstanter Länge mit dem ersten Arm verbunden ist. Am gemeinsamen Verbindungspunkt zwischen dem weiteren Arm und dem Lenkhebel ist ein Hydraulikzylinder angeschlossen, dessen Fußpunkt wiederum am Chassis befestigt ist.

**[0004]** Die US 6,425,303 B1 zeigt eine Kinematik zur Bewegung eines Rahmens gegenüber einem Inertialsystem. Der Antrieb erfolgt vom Inertialsystem ausgehend über drei Antriebselemente, die rotatorisch wirken und ein Drehmoment auf ein mit ihnen drehfest verbundenes Element ausüben. Jedes dieser direkt angetriebenen Elemente wirkt auf weitere Zwischenelemente ein, die entweder erneut auf Zwischenelemente oder auf den Rahmen einwirken.

**[0005]** Die EP 1 234 632 A1 beschreibt einen kinematischen Antrieb für einen Werkzeughalter, der über ein Parallelogrammgestänge gegenüber einer Basis gehalten ist. Die Stangen des Parallelogrammgestänges sind über Schlitten gegenüber der Basis verschieblich. Weitere Stangen, die gegenüber der Basis in Schlitten verschieblich sind, greifen an einer Schwenkplatte an, die ihrerseits schwenkbar an dem Werkzeughalter befestigt ist.

**[0006]** Die EP 1 052 071 A2 zeigt einen Manipulator mit einem feststehenden Rahmen mit einer Vielzahl von Stäben konstanter Länge, die jeweils gelen-

kig miteinander oder mit dem feststehenden Rahmen verbunden sind. Drehantriebe an einigen der mit dem feststehenden Rahmen gekoppelten Stäbe bewirken Verschiebungen einer beweglichen Plattform gemäß mindestens zwei Freiheitsgraden.

**[0007]** Bei der Erfindung geht es um eine parallelkinematische Vorrichtung mit zwei Kinematiken mit einer festen Plattform und einer beweglichen Plattform auf der Basis von Stäben und Aktuatoren, wobei zumindest ein Aktuator als Stab konstanter Länge mit einem gegenüber der festen Plattform verschieblichen Fußpunkt ausgebildet ist und mit einem Stab konstanter Länge und festen Fußpunkt auf der festen Plattform einen gemeinsamen Kopfpunkt auf der beweglichen Plattform aufweist.

**[0008]** Derartige parallelkinematische Vorrichtungen werden auch als Scheren oder Zeigerpaare bezeichnet und sind allgemein bekannt. Dabei kann sich einer der beiden Stäbe (oder auch beide) über den Kopfpunkt hinaus erstrecken, ohne dass die kinematischen Eigenschaften der Vorrichtung dadurch beeinträchtigt werden. Üblicherweise ist der feste Fußpunkt in einem Gebilde gelegen, das als „feste Plattform“ bezeichnet wird und zumindest ein lokales Inertialsystem, jedenfalls aber ein als fest angenommenes Bezugssystem, darstellt. Gegenüber diesem System wird auch der verschiebliche Fußpunkt des Aktuators bewegt. Der gemeinsame Kopfpunkt der Vorrichtung ist im allgemeinen Teil einer sogenannten „beweglichen Plattform“, wobei die Distinktion „beweglich“ zur Unterscheidung von der festen Plattform dient und auch auf die Relativbewegung zwischen diesen beiden Plattformen verweist.

**[0009]** In den meisten Fällen erfolgt die Bewegung zwischen den beiden Plattformen nicht innerhalb einer Ebene, es handelt sich dann um eine räumliche Kinematik, auch die vorliegende Vorrichtung kann Teil einer solchen räumlichen Kinematik sein.

**[0010]** Eine solche erfindungsgemäße Kinematik kann im Rahmen einer ein- oder mehrstufigen allgemein parallelkinematischen Vorrichtung oder als eine Stufe in einer seriellen kinematischen Vorrichtung verwendet werden. Insbesondere ist die erfindungsgemäße Kinematik in Handhabungsrobotern einsetzbar. In der Folge wird zur besseren Lesbarkeit stets nur von „Kinematik“ gesprochen und darunter die entsprechende erfindungsgemäße Vorrichtung verstanden.

**[0011]** Eine parallelkinematische Vorrichtung mit Fußpunktverschiebung aber ohne Ausbildung eines Zeigerpaares ist beispielsweise aus der WO 03/004223 A2, deren Inhalt hiermit durch Bezugnahme dem Inhalt dieser Anmeldung einverleibt wird, bekannt. Diese Druckschrift ist ein umfangreiches Pamphlet, das eine ganz erstaunliche Vorrichtung

betrifft, nämlich eine zentralsymmetrische, parallele Stabkinematik für eine bewegliche Plattform, die durch Fußpunktverschiebung von sechs Stäben entlang von geradlinigen Achsen, die parallel zur Zentralachse verlaufen, betätigt wird. Zusätzlich weist das dargestellte Ausführungsbeispiel einen Drehmechanismus für eine Werkzeugplattform auf der beweglichen Plattform auf, dieser seriell ausgebildete Drehmechanismus wird durch eine Drehstange und einen Motor über eine entsprechende Kupplung betätigt. Es wird auch auf die Möglichkeit eingegangen, kinematisch überbestimmte Systeme zu verwenden und Fußpunktmechanismen in Kombination mit längenveränderlichen Aktuatoren einzusetzen.

**[0012]** Der Aufbau dieser Vorrichtung im Detail ist folgender: An der festen Plattform sind zentralsymmetrisch sechs vertikale Schienen für die Verschiebung der Fußpunkte vorgesehen. Drei Stäbe sind länger, drei kürzer ausgebildet, die kürzeren greifen an einem „tiefer“ liegenden Bereich der beweglichen Plattform an und sind um die Zentralachse um  $60^\circ$  bezüglich der längeren Stäbe versetzt.

**[0013]** Damit erreicht man eine im Wesentlichen entlang der Zentralachse verfahrbare bewegliche Plattform, was auch durch die [Fig. 4](#) dieser Druckschrift belegt wird. Diese zeigt die Anordnung der oben beschriebenen Konfiguration, um sie beweglicher zu gestalten, auf einer Stuartplattform, somit die serielle Kopplung zweier Parallelkinematiken. Es wird aber bei dieser Ausführungsform interessanterweise die Bewegung der einen Parallelkinematik überhaupt nicht zur Bewegung der anderen verwendet, d. h. die gesamte Bewegung der zweiten Parallelkinematik erfolgt von sich heraus auf der Zwischenplattform, sodass hier eigentlich nur eine Aggregation und keine Kombination vorliegt.

**[0014]** Letztlich kann mit dieser Kinematik nur ein Arbeitsbereich innerhalb der Vorrichtungsgrenzen (bzw. Gebiete oberhalb ihres Fundaments) überstrichen werden, d. h., dass diese Vorrichtung als Werkzeugmaschine od. dergl. eingesetzt werden kann, keinesfalls aber als Handhabungsroboter oder für den Transport von Gegenständen verwendbar oder adaptierbar ist.

**[0015]** Auch die WO 03/059581 A1, deren Inhalt hiermit durch Bezugnahme dem Inhalt dieser Anmeldung einverleibt wird, betrifft eine originelle Kinematik, die auf der Basis der Fußpunktverschiebung arbeitet, wobei verschiedentlich Stäbe an den Betätigungsorganen, die die Fußpunktverschiebung bewirken, gemeinsame Fußpunkte aufweisen, die daher identische Verschiebungen erfahren. Diese Betätigungsorgane arbeiten im Wesentlichen rotatorisch, sodass letztlich durch die besondere Ausbildung der Fußpunktverschiebung wieder ein serielles Element in die Kinematik eingebracht wird. Dies

geht auch aus einem Vergleich der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) hervor, da die [Fig. 3](#) die Fußpunktverschiebung in fast perfekter Analogie zur vorstehend abgehandelten WO 03/004223 A2 zeigt. Zeigerpaare gemäß der eingangs angegebenen Definition weist auch diese Vorrichtung nicht auf.

**[0016]** Für die Bewegung größerer Lasten bzw. das Übertragen größerer Kräfte ist aus dieser Druckschrift nichts Vorbildhaftes zu entnehmen, da die Umleitung der Kräfte zwischen den beweglichen Fußpunkten und den Aktuatoren, die diese Fußpunktbewegung durchführen, noch mehr die Umleitung der Kräfte zwischen den Hebeln, die die Fußpunktverschiebung besorgen und ihrer Haltestange, extrem ungünstig sind. Auch für größere Arbeitsbereiche ist diese Vorrichtung nicht zu verwenden, da ihr relativer Platzbedarf (Verhältnis Platzbedarf zu Arbeitsvolumen) sehr groß ist.

**[0017]** Schließlich sei noch die US 5,378,282 A erwähnt, deren Vorrichtung auf Fußpunktverschiebung beruht. Dabei werden durch Spindeltriebe drei an der beweglichen Plattform nahe aneinander angreifende Stäbe passend positioniert. Die bewegliche Plattform ist in Richtung des mittleren Stabes verlängert und trägt an ihrer (gegebenenfalls gebogenen) freien Spitze ein Werkzeug. Somit ist diese Vorrichtung eine seltsames Hybrid, da die Lage der beweglichen Plattform durch die Lage des entsprechenden Punktes des mittleren Stabes und dessen Position definiert wird. Diese Vorrichtung ist nur auf eng begrenztem Raum einsetzbar und zufolge der mehrfachen Kraftumlenkung nicht für hohe Lasten geeignet. Zeigerpaare gemäß der eingangs angegebenen Definition weist auch diese Vorrichtung nicht auf.

**[0018]** Einen hervorragenden Überblick über die geschichtliche Entwicklung und die Grundlagen der parallelkinematischen Vorrichtungen samt Angabe der wichtigsten Patente gibt Illian Bonev im Artikel „The True Origins of Parallel Robots“ auf der Homepage des „The Parallel Mechanisms Information Center“.

**[0019]** Es gibt andererseits Konstruktionen, die der ebenen Kinematik angehören und oft einfach als ebene Kinematik bezeichnet werden, diese treten in der Technik oft und in vielfältiger Form auf. Durch die gute zeichnerische Darstellbarkeit, durch die Möglichkeit der relativ einfachen Berechnung der Bewegungsgleichungen, durch die bestehenden Herstellungsverfahren, die die benötigten reinen Drehgelenke genau und kostengünstig herstellbar machen, und durch die gut vorherbestimmbaren dynamischen Verhältnisse werden ebene Kinematiken bei Werkzeugmaschinen, bei Kraftumwandlungsmaschinen, bei Lasthebemaschinen und auch bei Handhabungsrobotern verwendet, wobei in den meisten Fällen verschiedene Gebilde der ebenen Kinematik als „Offene Kette“ hintereinander angeordnet werden,

um so durch eine Kombination solcher ebener kinematischer Gebilde gewünschtenfalls auch zu räumlichen kinematischen Gebilden zu kommen.

**[0020]** Wenn man sich nun, wie in vielen Fällen üblich, eine solche ebene Kinematik einfachster Art aus einem Stab konstanter Länge und einem Stab veränderlicher Länge gebildet denkt, wobei die beiden Fußpunkte der Stäbe konstanten Abstand voneinander aufweisen und ihre Kopfpunkte zusammenfallen, wobei alle Bewegungen um die Kopf- bzw. Fußpunkte zu Drehungen um Achsen normal auf die durch die beiden Stäbe definierte Ebene stehen, so erkennt man unmittelbar, dass bei der Längenänderung des Aktuators (das ist der Stab mit veränderlicher Länge) eine am Kopfpunkt in der Ebene (andere Kräfte werden hier nicht behandelt) liegende, stets normal auf den Stab fester Länge wirkende Kraft gleichbleibenden Betrags, im Aktuator je nach der Winkellage des Stabs konstanter Länge sehr stark unterschiedlicher Gegenkräfte bedarf, um ein „Halten“ dieser Last zu ermöglichen. Der Unterschied zwischen der minimal notwendigen und der maximal notwendigen Haltekraft kann dabei, schon bei geringen Änderungen der Winkellage, um den Faktor 2 und mehr schwanken.

**[0021]** Mit dieser großen Variation der Haltekraft geht auch eine entsprechend große Belastung der gesamten Kinematik, der Lager, der Basis und der Stäbe, einher, was eine entsprechend massive Ausbildung notwendig macht, durch die sich wiederum das tote Gewicht und damit die minimal notwendige Antriebsleistung des Aktuators deutlich erhöht. All dies ist natürlich nachteilig und verursacht Kosten und Energiemehrbedarf.

**[0022]** Im Stand der Technik versucht man diesen Problemen dadurch zu begegnen, dass die Länge der Basis und die Lage und Form des Krafteckes in dem Bereich, in dem – je nach Anwendungsgebiet – entweder die größte Bewegungsgenauigkeit erforderlich ist, oder die größte Last erwartet werden kann, oder die meisten Bearbeitungsschritte stattfinden, etc., so gewählt wird, dass in diesem Bereich die jeweils günstigste dynamische Situation vorliegt, und dass man den Betrieb in den weniger günstigen Bewegungsbereichen entweder nur mit reduzierter Last oder eben möglichst selten etc. durchführt.

**[0023]** Diese Beschränkungen sind insbesondere, aber nicht ausschließlich, bei Handhabungsrobotern unangenehm, da sie die universelle Verwendbarkeit der Roboter beeinträchtigen, die durch deren freien Programmierbarkeit ermöglicht, dass ein und derselbe Roboter beispielsweise sowohl Arbeiten „Überkopf“ als auch seitlich als auch im Bodenbereich durchführt. Bei Lackierrobotern ist dies wegen des relativ geringen Gewichtes des Werkzeuges nicht übermäßig störend, aber bereits bei Schweißrobotern und

besonders bei allen Robotern, die Teile bewegen, stellt dies eine unangenehme Einschränkung dar.

**[0024]** Die Erfindung bezweckt, die genannten Nachteile des oben gewürdigten Standes der Technik zu vermeiden und eine, gegebenenfalls ebene, Parallelkinematik mit zwei Kinematiken anzugeben, bei der die zum Halten einer an einem beweglichen Teil der Kinematiken angreifenden, vorgegebenen Kraft notwendige Haltekraft von der jeweiligen momentanen Winkellage der Kinematiken weitgehend unabhängig bleibt.

**[0025]** Erfindungsgemäß werden diese Ziele durch die Merkmale der Patentansprüche 1 oder 2 erreicht.

**[0026]** Dabei ist festzuhalten, dass der bewegliche Fußpunkt des Aktuators, entsprechend den Kopfpunkt des Lenkstabs, weder Teil der festen noch Teil der beweglichen Plattform ist, sondern sich gegenüber der erstgenannten entlang eines Kreisbogens bewegt.

**[0027]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt

**[0028]** Fig. 1 ein allgemeines ebenes Krafteck gemäß dem Stand der Technik in zwei Darstellungen mit unterschiedlichen Winkellage;

**[0029]** Fig. 2 einen typischen Verlauf der Kolbenkraft bei gleichbleibender Kraft  $F$  in der Fig. 1;

**[0030]** Fig. 3a eine ganz schematisch dargestellte, allgemeine erfindungsgemäße Kinematik;

**[0031]** Fig. 3b eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ebenen Kinematik in drei verschiedenen Stellungen;

**[0032]** Fig. 4 eine Darstellung des Kraftverlaufes im Betätigungsorgan analog zur Fig. 2 allerdings für eine Kinematik gemäß der Fig. 3b;

**[0033]** Fig. 5 eine erfindungsgemäße ebene Kinematik im Schrägriss in einer Ausführung, wie sie für einen Handhabungsroboter verwendet werden kann;

**[0034]** Fig. 6 die Kinematik entsprechend der Fig. 4 in Seitenansicht mit einer weiteren erfindungsgemäßen Kinematik, die seriell dazu angeordnet ist;

**[0035]** Fig. 7 eine Ausbildung eines Handhabungsroboters mit der Kinematik der Fig. 6 in perspektivischer Ansicht; und

**[0036]** Fig. 8 die Verwendung zweier erfindungsgemäßer ebener Kinematiken in zueinander paralleler Anordnung.

[0037] Die Fig. 1 zeigt ein klassisches Krafteck bestehend aus einem Stab 1 konstanter Länge und einem Aktuator A veränderlicher Länge in zwei unterschiedlichen Winkellagen. Eine am gemeinsamen Kopfpunkt 2 angreifende Kraft F, die in der gezeigten Position mit dem Hebelarm 1 um den Fußpunkt 3 angreift, bedarf im Aktuator A einer Kraft Fa, für die gilt:

$$F_a = (F \times l) / R_w$$

wobei  $R_w$  für den winkelabhängigen Kraftarm des Aktuators A um den Fußpunkt 3 steht.

[0038] Die Fig. 1b zeigt die Situation im ausgelenkten Zustand, der Stab 1 weist nach wie vor die Länge l auf, die Kraft F wird als normal zum Stab 1 angreifend angenommen. Wie aus der starken Reduzierung des Hebelarmes der gegenhaltenden Kraft Fa im Aktuator A hervorgeht, ist die im Aktuator A aufzuwendende Kraft zu halten der Kraft F wesentlich größer geworden. Man erkennt, dass bei weiterer Bewegung des Stabes 1 um den Fußpunkt 3 ein singulärer Punkt erreicht wird, wenn der Kopfpunkt 2 in einer Linie mit den Fußpunkten 3 und 4 zu liegen kommt, dann wäre die allerdings nur rein hypothetische Haltekraft Fa unendlich groß.

[0039] Die Fig. 2 stellt, rein schematisch das Verhältnis zwischen der Haltekraft Fa im Aktuator A und der stets in Umfangsrichtung auf den Stab 1 wirkenden Kraft F in Abhängigkeit des Winkels  $\alpha$  des Stabes 1 dar, wobei der Winkel  $\alpha$  auf die Verbindungslinie der beiden Fußpunkte 3, 4 bezogen wird.

[0040] Wenn die Kraft F, was ja insbesondere bei Lasthebemaschinen regelmäßig der Fall ist, nicht dem Stab 1 folgt, sondern konstante Richtung aufweist, so nimmt die Kurve einen anderen Verlauf an, kann aber bei ungünstiger Auslegung des Kraftecks bezüglich der Richtung der Last F auch Singularitäten aufweisen.

[0041] Um diesen Problemen zu entgehen, sieht nun die Erfindung eine ebene Kinematik vor, die prinzipiell den Aufbau hat, wie in Fig. 3 dargestellt: Die Fig. 3 zerfällt in zwei Teilfiguren, die Fig. 3a zeigt dabei das Prinzip, die Fig. 3b eine reale Variante.

[0042] Die Fig. 3a zeigt, dass der Stab 1 mit seinem Fußpunkt 3 und dem Kopfpunkt 2 der Anordnung gemäß Fig. 1 entspricht, dass aber der Aktuator A ein weiterer Stab konstanter Länge ist, der einerseits am Kopfpunkt 2 angreift, andererseits an einem beweglichen Fußpunkt 6, an dem gelenkig auch ein Lenkstab 7 der ebenen Kinematik angreift. Der Lenkstab 7 seinerseits ist mit seinem dem beweglichen Fußpunkt 6 – der seinem Kopfpunkt entspricht – abgewandten Ende an einem ortsfesten Drehpunkt 8 – seinem Fußpunkt – angelenkt.

[0043] Am Lenkstab 7 oder einem mit ihm fest verbundenen Krafteinleitungselement 9 greift nun ein Betätigungsorgan B mit seinem Kopfpunkt 10 an, das mit seinem anderen Ende ebenfalls an einem ortsfesten Anlenkpunkt – seinem Fußpunkt 4 – angreift.

[0044] Wie aus einer kurzen Betrachtung der Fig. 3a hervor geht, ist es nun möglich, durch entsprechende Wahl der ortsfesten Anlenkpunkte bzw. Fußpunkte 4 und 8, der Länge des Lenkstabs 7 und des Aktuators A und durch Wahl der Form und Größe des Krafteinleitungselementes 9 und damit die Festlegung des Kopfpunktes 10 des Betätigungsorgans B einen Zusammenhang zwischen einer am Kopfpunkt 2 angreifenden Kraft F und der zu Ihrer Neutralisierung notwendigen Haltekraft Fa im Betätigungsorgan B herzustellen, der eine weitgehend konstante Belastung über den gesamten nutzbaren Bereich erlaubt.

[0045] Die damit erzielten kinematischen und vor allem dynamischen Vorteile sind so groß, dass der Mehraufwand an Elementen im Vergleich zur vorbekannten Vorrichtung gemäß Fig. 1 nicht ins Gewicht fällt. Es wurde auch in Fig. 3a, zur klareren Darlegung des erfindungsgemäßen Grundgedankens, ein Schema dargestellt, dessen Platzbedarf bei weitem übertrieben ist, die Fig. 3b zeigt, wie kompakt und elegant die tatsächlich ausführbaren Lösungen sind:

Wie aus Fig. 3b hervorgeht, kann durch passende Wahl der Form und Positionen einer ortsfesten Lagerplatte 35 (feste Plattform), an der die Anlenkpunkte 3 und 8 des Stabes 1 und des Lenkstabs 7 und der Fußpunkt 4 des Betätigungsorgans B ausgebildet sind, eine sehr kompakte Konstruktion erreicht werden, die dennoch einen großen Zugänglichkeitsbereich des Kopfpunktes 2 (Teil der nicht dargestellten beweglichen Plattform) über nahezu 180° bezüglich eines raumfesten Koordinatensystems eröffnet.

[0046] Die Fig. 4 zeigt für eine erfindungsgemäße Kinematik die Kraft Fb über dem Schwenkwinkel des Stabes 1, woraus hervorgeht, dass trotz dessen nahezu 180°-igen Verschwenkung die Haltekraft Fb im Betätigungsorgan B nur um etwa 15% um ihren Mittelwert schwankt.

[0047] Die Fig. 5 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Anwendung der Erfindung bei einem Handhabungsroboter mit einer Symmetrieebene für die wesentlichsten Bauteile. Nicht der Symmetriebedingung gehorchen nur Bauteile, die der Versteifung der Vorrichtung in Richtungen mit Normalkomponente zur Symmetrieebene dienen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist hier virtuell in der Symmetrieebene verwirklicht, da in realita die einzelnen Stäbe zur Erhöhung der mechanischen Stabilität schief zur Symmetrieebene verlaufen. Die Drehachsen, durch die die Bewegungen festgelegt werden, verlaufen allesamt lotrecht (normal) zur Symmetrieebene, sodass

die Bewegung der einzelnen Bauteile stets parallel zur Symmetrieebene erfolgt.

**[0048]** Die Drehachsen der einzelnen Stäbe erhielten die jeweils mit einer vorangestellten „1“ versehenen Bezeichnungen der **Fig. 3a**, die Versteifung zwischen den symmetrischen Stäben **11** wurde nicht bezeichnet, die weitere Versteifung mit dem dritten Auge um die Achse **13** wurde mit **19** bezeichnet, was nicht in das genannte Schema passt, aber für die Nummerierung günstig ist.

**[0049]** Das Betätigungsorgan B greift im dargestellten Ausführungsbeispiel direkt am Gelenk **16** zwischen dem Lenkstab **17** und dem Aktuator A an, das Krafteinleitungselement **9** der **Fig. 3a** fällt somit mit der Welle dieses Gelenks zusammen.

**[0050]** Es ist leicht ersichtlich, dass es ein Leichtes ist, beispielsweise den Lenkstab **17** als zwei getrennte Stäbe auszubilden und einen davon als längenveränderlichen Aktuator auszugestalten. Selbstverständlich sind dann auch die Lagerungen der Stäbe darauf einzurichten, dass beim Betätigen dieses Aktuators Verwindungen und Verdrehungen der anderen Stäbe erfolgen, dies kann beispielsweise durch Kardanische Aufhängungen oder ähnliches, wie es bei parallelkinematischen Vorrichtungen bekannt ist, erfolgen. Auf diese einfache Weise kann die erfindungsgemäße Vorrichtung selbst dazu benutzt werden, dreidimensionale Parallelkinematiken zu schaffen.

**[0051]** Die **Fig. 6** zeigt in Seitenansicht die Kinematik entsprechend der **Fig. 5** und eine an deren ortsfester Achse **13** (**Fig. 5**) angreifende, analog zu ihr ausgebildete, zweite Kinematik, durch die ein zweiter Freiheitsgrad in Form einer Parallelkinematik bedient wird. Die Elemente dieser zweiten Parallelkinematik werden analog zur **Fig. 3a**, aber mit vorgestelltem „2“ bezeichnet, wobei die Elemente, die auch Teil der ersten Parallelkinematik sind, in der **Fig. 5** ohne die Bezeichnung, die ihnen nach dem Schema der ersten Kinematik zustünde, bleiben. So wird in **Fig. 6** die Achse **13** der **Fig. 5** nicht mit diesem Bezugszeichen, sondern mit dem für die zweite Kinematik gültigen Bezugszeichen **24** versehen.

**[0052]** Die Basis der zweiten Kinematik ist durch die Achsen **23** und **28**, die auf dem Stab **11** ausgebildet sind, gegeben, sodass für die zweite Kinematik der Stab **11** als Basis anzusehen ist. Der Stab **27** zwischen den Achsen **28** und **26** bildet den Lenkstab für den Aktuator A2. Der Stab **21**, nur durch einen einfachen Strich angedeutet, bildet zwischen den Achsen **22** und **23** den Stab konstanter Länge der erfindungsgemäßen parallelkinematischen Vorrichtung. Betätigt wird der Fußpunkt des Aktuators A2 durch ein Betätigungsorgan B2, das mit seinem Fußpunkt am Fußpunkts des Stabs **11** schwenkbar ange-

lenkt ist und am andern Endes an der Verbindungsachse zwischen dem Aktuator A2 und dem Lenkstab **27** angreift und die Koppel **25** bzw. den Stab **21** auch bei kleinem Hub relativ stark verschwenkt.

**[0053]** Die **Fig. 7** zeigt im Schrägriss ein Ausführungsbeispiel einer solchen doppelten Kinematik an Hand eines Handhabungsroboters mit aufgesetztem Arm **30**, bei dem jedoch zur besseren Anschaulichkeit die Drehachsen und ihre Lager der jeweiligen Fußpunkte nicht eingezeichnet sind. Diese werden nur durch die dazugehörigen Bezugszeichen angegeben. Der Arm **30** ist mit dem Aktuator A2 (**Fig. 6**) fest verbunden und macht deren Bewegung mit, das Chassis **31** ist um eine nicht dargestellte Hochachse drehbar auf einem Fundament **32** angeordnet. Am Arm **30** ist, um dessen Längsachse und eine Querachse verdrehbar, rein schematisch ein Werkzeugträger **33** dargestellt. Es ist somit bei diesem Anwendungsbeispiel die erfindungsgemäße Parallelkinematik als eigener Abschnitt in einer seriellen Kinematik angeordnet.

**[0054]** Man erkennt aus den Figuren den leichten Aufbau und die gute Zugänglichkeit zu allen Elementen der erfindungsgemäßen Kinematik und kann, insbesondere aus **Fig. 3b**, die großen überstreichbaren Arbeitsbereiche und Arbeitswinkel erkennen.

**[0055]** Die **Fig. 8** zeigt, in perspektivischer Ansicht, ein Beispiel dafür, wie erfindungsgemäße Kinematiken in dreidimensionalen parallelkinematischen Vorrichtungen in paralleler Anordnung eingesetzt werden können, wobei den Bezugszeichen der Bauteile, die mit Bauteilen der **Fig. 3a** bzw. **Fig. 3b** korrespondieren, eine „4“ vorangestellt wurde: Zwei Kinematiken **34**, **34'** sind, in der gezeigten „Normalstellung“ parallel zueinander, aber einzeln betätigbar und daher gegeneinander schwenkbar, vorgesehen. Es ist daher der Begriff „parallel“ nicht mathematisch, sondern technisch zu verstehen, denn es müssen die einzelnen Kinematiken auch nicht gleich aufgebaut sein, sondern nur in ihrer Lage zwischen der festen Plattform und der beweglichen Plattform „parallel“ angeordnet sein.

**[0056]** Für jede der beiden Kinematiken **34**, **34'** stellt die jeweilige Befestigungsplatte **35**, **35'** die (lokale) feste Plattform dar, der Bezugsrahmen (Inertialsystem), der die feste Plattform der Parallelkinematik insgesamt darstellt, ist durch die Fußpunkte der Aktuatoren **37** und **38** und beispielsweise die Befestigungsplatte **35** gegeben, die Befestigungsplatte **35'** ist sodann um zwei Achsen schwenkbar bezüglich dieses Bezugsrahmens montiert. Es kann aber auch die Ebene jeder ebenen Kinematik **34**, **34'**, beispielsweise gegeben durch die Symmetrieebene der beiden Befestigungsplatten **35**, **35'** die jeweils für ihre Vorrichtung die feste Plattform darstellen, um eine in dieser Ebene liegende, oder zu dieser Ebene parallel

verlaufende Achse schwenkbar gelagert sein. Dabei kann die Orientierung der Achsen in weiten Grenzen frei gewählt werden, Singularitäten sind bei Achsen, die in möglichen Stellungen der Vorrichtung parallel zur Achse der Aktuatoren **37** oder **38** liegen, zu vermeiden, aus praktischen Gründen – hohes Anwachsen der Kräfte – auch nahezu parallele Orientierungen, doch ist dies dem Fachmann auf dem Gebiet der parallelkinematischen Vorrichtungen bekannt.

**[0057]** Selbstverständlich kann dieser Bezugsrahmen (das ist die feste Plattform der gesamten Vorrichtung), beispielsweise um eine vertikal verlaufende Achse drehbar, beweglich gelagert sein und ist sodann kein Inertialsystem im streng physikalischen Sinn mehr, kann aber für die Zwecke dieser Beschreibung weiter als solches angesehen werden. Eine bewegliche Plattform **36** ruht auf der Parallelkinematik.

**[0058]** Die ebene Kinematik **34'** ist gegenüber den bisher erläuterten Vorrichtungen insofern abgeändert, als der an seinen Fußpunkt verschiebliche Aktuator A' darüber hinaus als längenveränderlicher Stab ausgebildet ist. Dies scheint auf den ersten Blick überflüssig zu sein, da ja die Lage des Kopfpunktes **42'** immer auf einer Kreisbahn um die Achse **43** liegt und das Betätigungselement B über das Krafteinleitungselement **49** und einen Aktuator fester Länge jede mögliche Bewegung des Kopfpunktes bewirken kann. Es gibt allerdings, speziell wenn die Fußpunkte **43, 46** großen Abstand voneinander aufweisen (flaches Krafteck), Positionen, in denen ein Verschwenken des Kopfpunktes **42'** durch Längenänderung des Stabes/Aktuators **45'** sowohl von der Dynamik her als auch von der erzielbaren Lagegenauigkeit her vorteilhaft ist.

**[0059]** Die ebene Kinematik **34** weist keinen derartigen „doppelt-aktiven“ Aktuator auf, hier ist ein Aktuator A fester Länge vorgesehen. Im Bereich des Kopfpunktes **42** greift ein Aktuator **37** an, um die Lage der beweglichen Plattform **36** in der Richtung quer zu den zueinander (fast) parallelen, schwenkbaren Kraftecken **34, 34'** zu definieren.

**[0060]** Zur endgültigen Definition der Lage der beweglichen Plattform **36** ist noch ein Aktuator **38** vorgesehen. Zur besseren Übersichtlichkeit der Zeichnung sind die Befestigungen (Lager, Gelenke, wellen, etc.) der einzelnen Bauteile am Inertialsystem (Fundament, Lafette, Rollwagen, etc.) nicht dargestellt.

**[0061]** Man erkennt auch hier die gute Zugänglichkeit aller Teile, die Möglichkeit, als Bauteile Standardelemente zu verwenden und eine hohe Beweglichkeit zu erreichen.

**[0062]** Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten, und erläuterten Ausführungsbeispiele beschränkt. Diese demonstrieren ganz allgemein, dass es leicht

und übersichtlich möglich ist, erfindungsgemäße Kinematiken parallel zueinander oder seriell hintereinander anzuordnen, wobei durch passende kinematische Verknüpfungen nicht einfach Verdoppelungen sondern, wie an den Beispielen dargelegt, weitere Effekte erzielt werden können.

**[0063]** Insbesondere können die Abstände der Fußpunkte und die Längenverhältnisse der Stäbe und Aktuatoren an die jeweilige Notwendigkeit angepasst werden, wodurch eine große Variation von Bewegungen möglich und eine große Anzahl von Anwendungsgebieten erschlossen wird. In Verbindung mit den der Parallelkinematik eigenen Eigenschaften wie geringes Eigengewicht und hohe Präzision der Bewegung schafft die Erfindung eine universell anwendbare Grundeinheit kinematischer Vorrichtungen.

### Patentansprüche

1. Parallelkinematische Vorrichtung, mit zwei Kinematiken mit einer festen Plattform und einer beweglichen Plattform auf der Basis von Stäben (**11, 21, 41**) und Aktuatoren mit Fußpunkten und Kopfpunkten, wobei die erste Kinematik mit zumindest einem Aktuator (A, A1) als Stab konstanter Länge mit einem gegenüber der festen Plattform verschieblichen Fußpunkt (**16, 46**) ausgebildet ist und mit einem Stab konstanter Länge und festem Fußpunkt (**11, 41**) auf der festen Plattform einen gemeinsamen Kopfpunkt (**23, 42**) aufweist, wobei der verschiebliche Fußpunkt (**16, 46**) des Aktuators (A, A1) von einem Lenkstab (**17, 47**) mit festem Fußpunkt (**18, 48**) auf der festen Plattform, mit dem er gelenkig verbunden ist, entlang eines Kreisbogens geführt ist, und wobei ein Betätigungsorgan (B, B1) am Lenkstab (**17**) oder an einem mit ihm über ein Krafteinleitungselement (**49**) fest verbundenen Angriffspunkt (**40**) angreift, wobei die zweite Kinematik ein Betätigungsorgan (B2) aufweist, dessen Fußpunkt (**24**) an der festen und dessen Kopfpunkt (**26**) an der beweglichen Plattform angreift.

2. Parallelkinematische Vorrichtung, mit zwei Kinematiken mit einer festen Plattform und einer beweglichen Plattform auf der Basis von Stäben (**11, 21, 41**) und Aktuatoren mit Fußpunkten und Kopfpunkten, wobei die erste Kinematik mit zumindest einem Aktuator (A, A1) als Stab konstanter Länge mit einem gegenüber der festen Plattform verschieblichen Fußpunkt (**16, 46**) ausgebildet ist und mit einem Stab konstanter Länge und festem Fußpunkt (**11, 41**) auf der festen Plattform einen gemeinsamen Kopfpunkt (**23, 42**) aufweist, wobei der verschiebliche Fußpunkt (**16, 46**) des Aktuators (A, A1) von einem Lenkstab (**17, 27**) mit festem Fußpunkt (**18, 48**) auf der festen Plattform, mit

dem er gelenkig verbunden ist, entlang eines Kreisbogens geführt ist, und wobei:

ein Betätigungsorgan (B, B1) am Lenkstab (17) oder an einem mit ihm über ein Krafteinleitungselement (49) fest verbundenen Angriffspunkt (40) angreift, die zweite Kinematik ein Betätigungsorgan (B2) aufweist, dessen Fußpunkt (24) an der festen Plattform angreift und zum anderen auf zwei Stäbe konstanter Länge (27, A2) wirkt, der eine dieser Stäbe, der Stab (27), mit dem Stab (11) konstanter Länge und festem Fußpunkt auf der festen Plattform verbunden ist und der andere der Stäbe, der Stab (A2), an der beweglichen Plattform angreift.

zu einer Symmetrieebene einer der Kinematiken (34, 34') verläuft.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenkstab (47) flächig oder rahmenartig ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenkstab (47) samt Krafteinleitungselement (49) im wesentlichen die Form eines Dreieckes aufweist und dass die verschieblichen Fußpunkte (46) oder Kopfpunkte (46; 40) und der Fußpunkt (48) des Lenkstabs in den Eckbereichen des Dreiecks vorgesehen sind.

5. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ortsfester Fußpunkte (43, 44, 48) der Stäbe (41), des Lenkstabs (47) und des Betätigungsorgans (A') auf einer Lagerplatte (35) ausgebildet sind.

6. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Betätigungsorgan (A, A') als Spindel-Mutter-Antrieb ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kinematik den Festpunkt (14) für das Betätigungsorgan (B1), den Festpunkt (18) für den Lenkstab (17) und den Festpunkt (13) für den Stab (11) aufweist, dass der Festpunkt (24) für das Betätigungsorgan (B2) der zweiten Kinematik mit dem Festpunkt (13) der ersten ebenen Kinematik zusammenfällt, und dass der Festpunkt (28) des Lenkstabs (27) ebenso wie der Festpunkt (23) des Stabes (21) im Bereich des Kopfpunktes (12) des Stabes (11) der ersten Kinematik vorgesehen ist.

8. Kombinierte Parallelkinematik mit zumindest zwei parallel angeordneten Kinematiken nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Kinematiken (34, 34') bezüglich des ortsfesten Systems der kombinierten Parallelkinematik um eine Achse schwenkbar ist, die parallel

Anhängende Zeichnungen

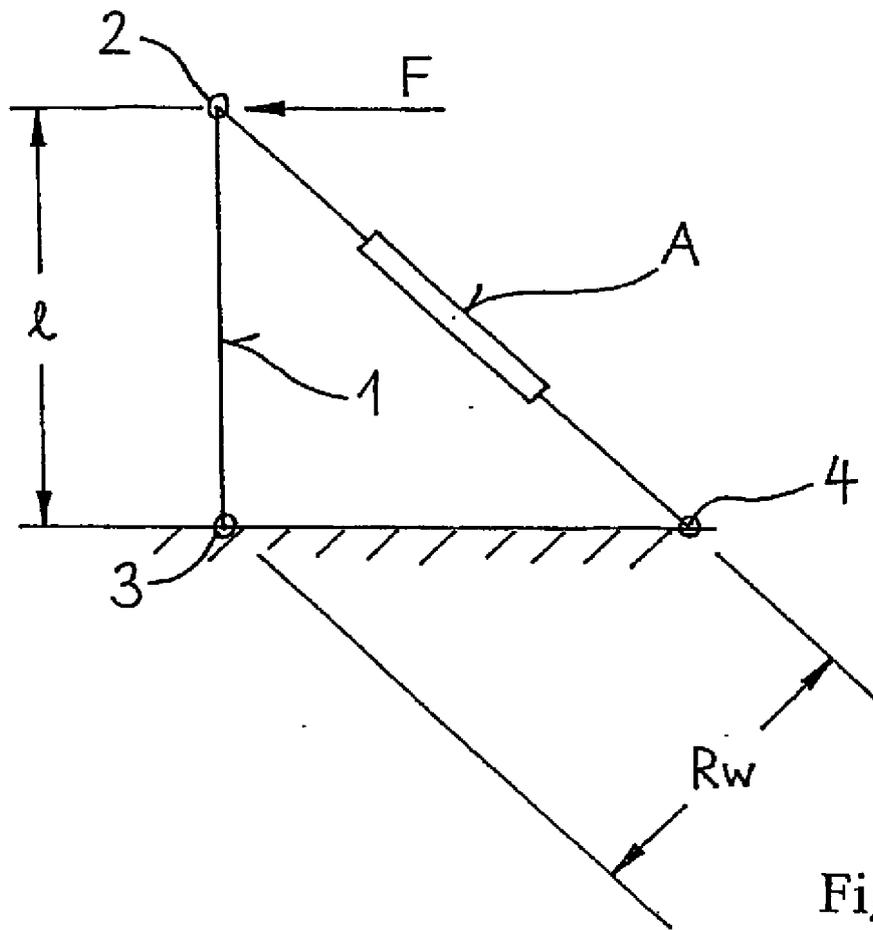


Fig. 1a

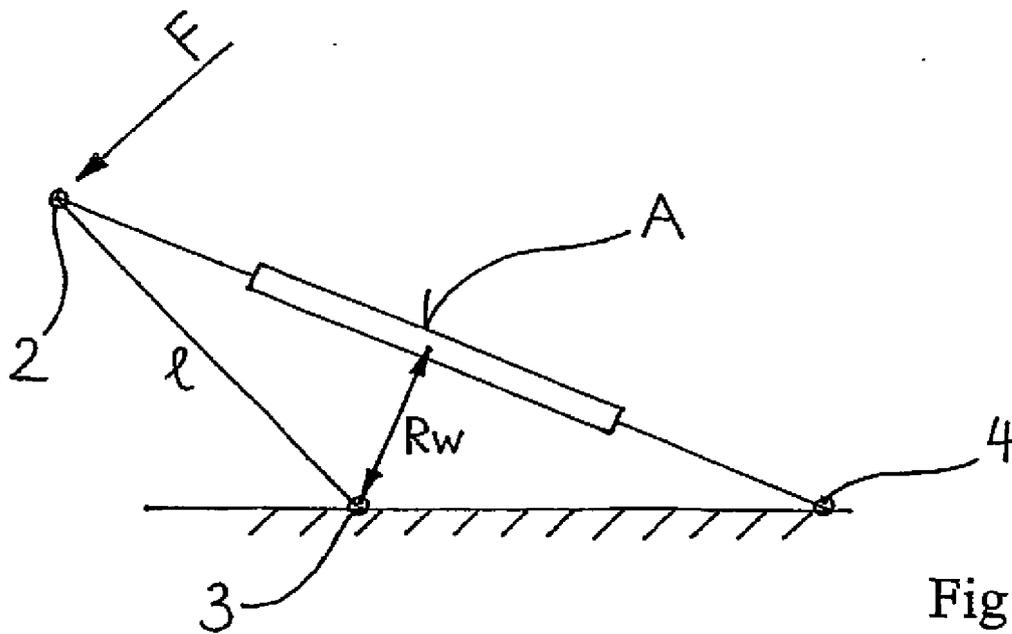


Fig. 1b

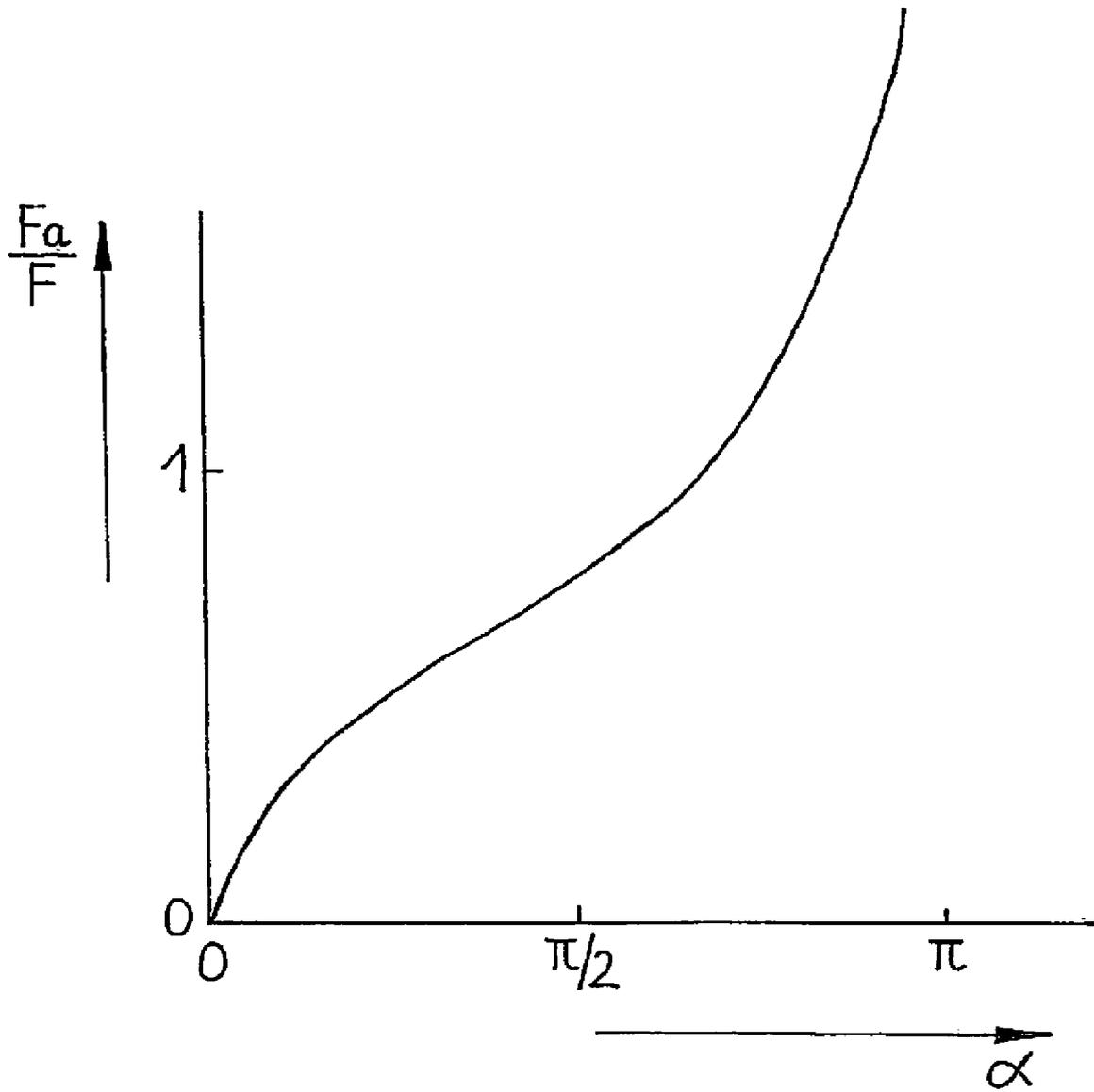


Fig. 2



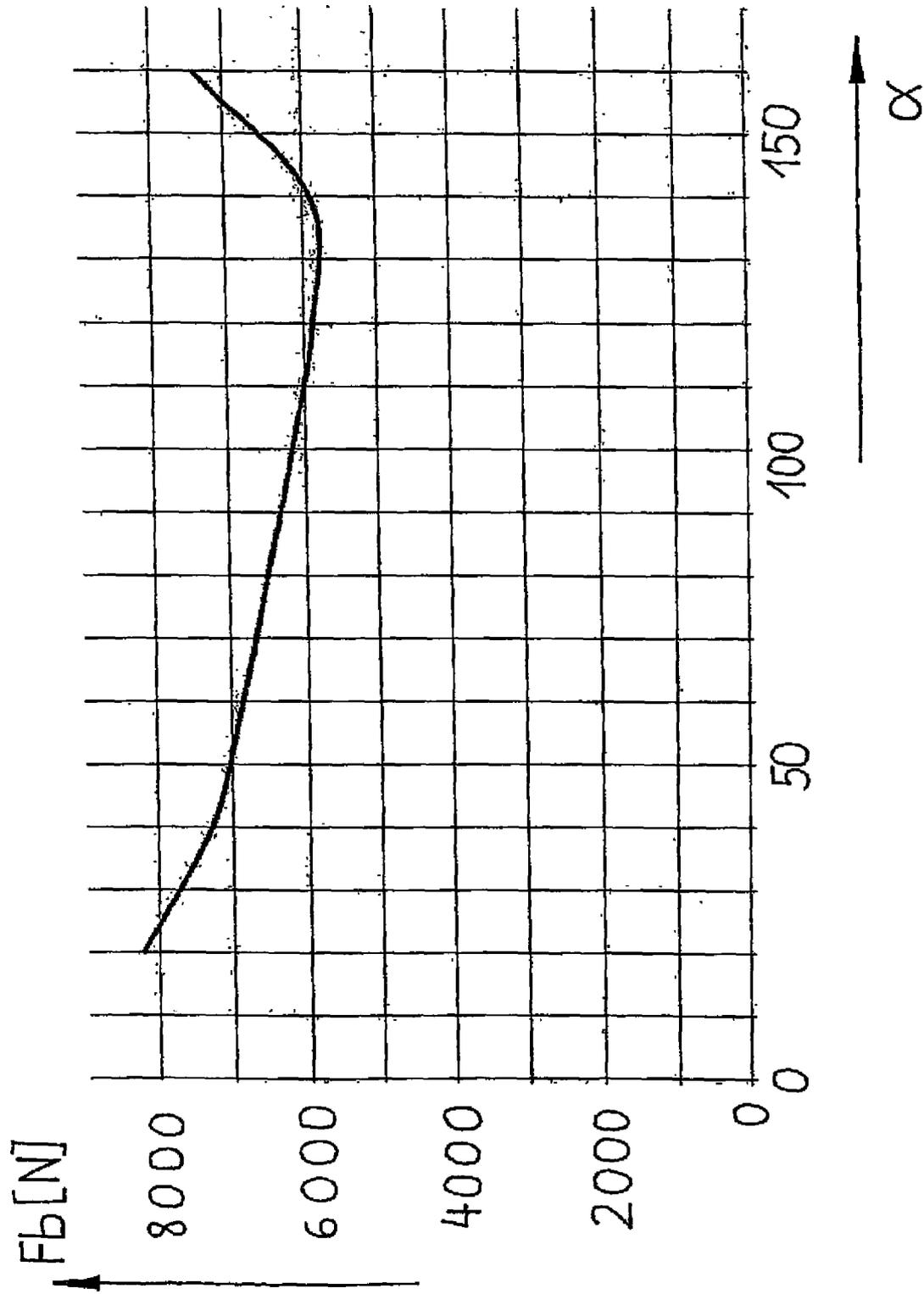


Fig. 4



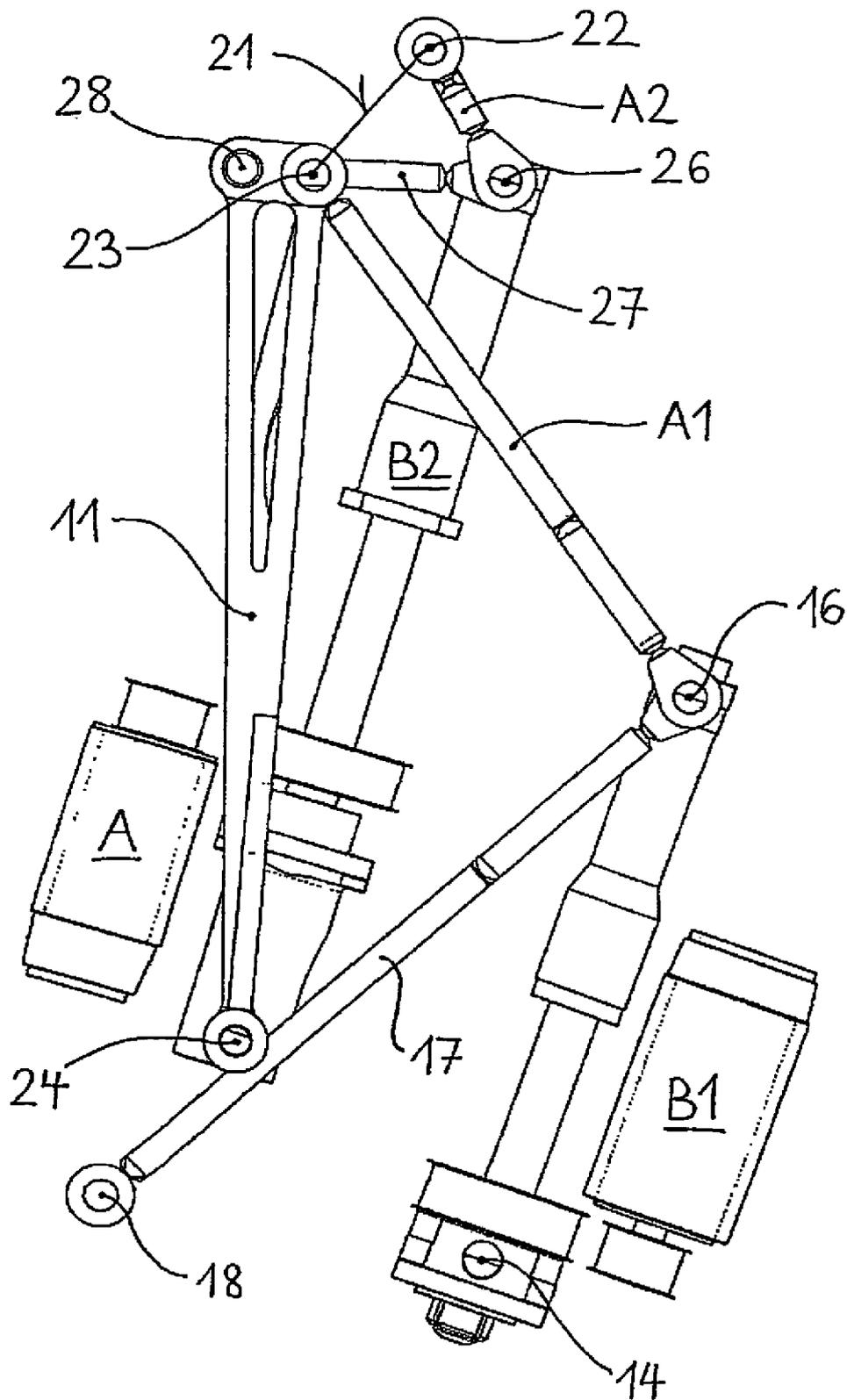


Fig. 6

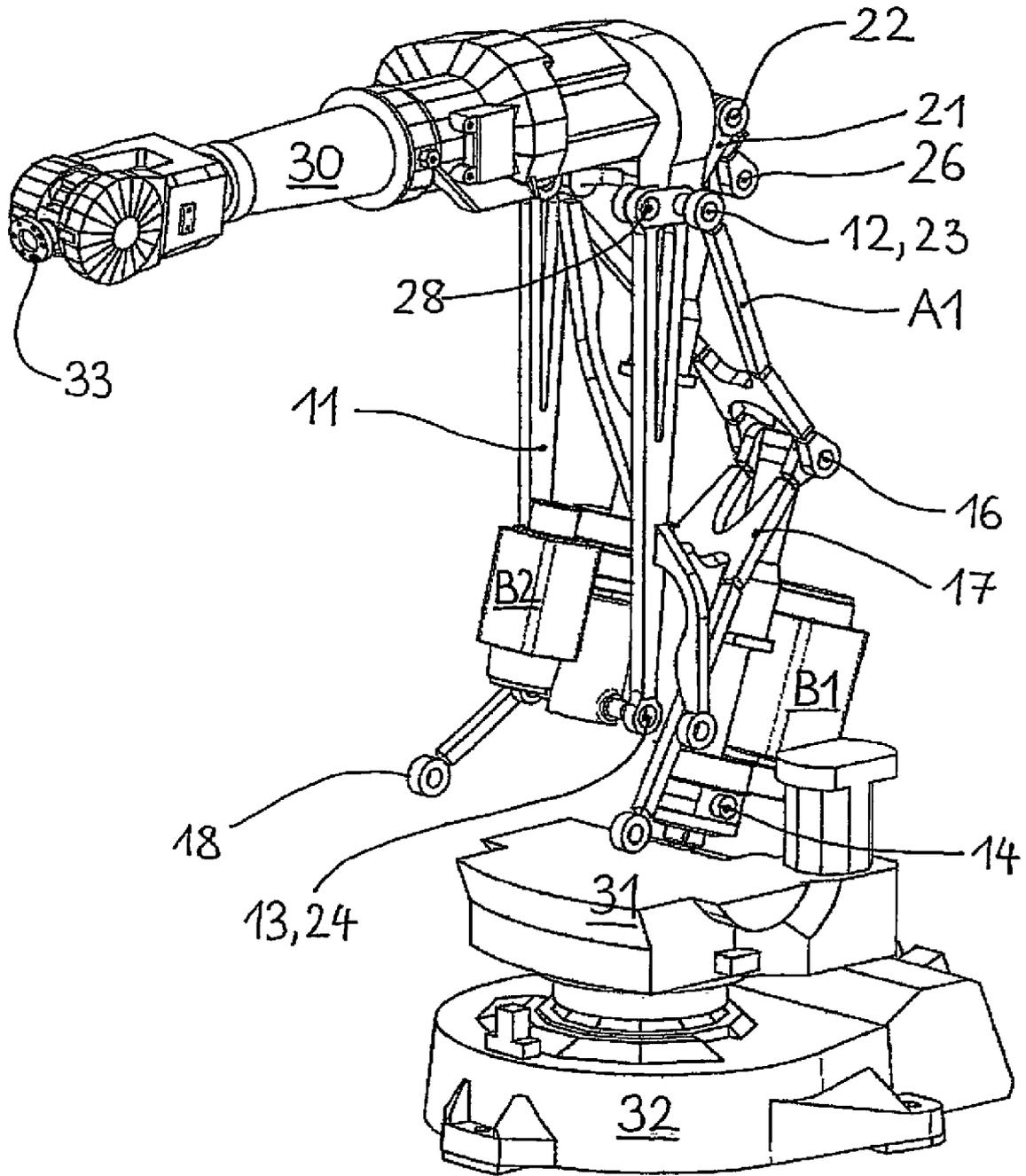


Fig. 7

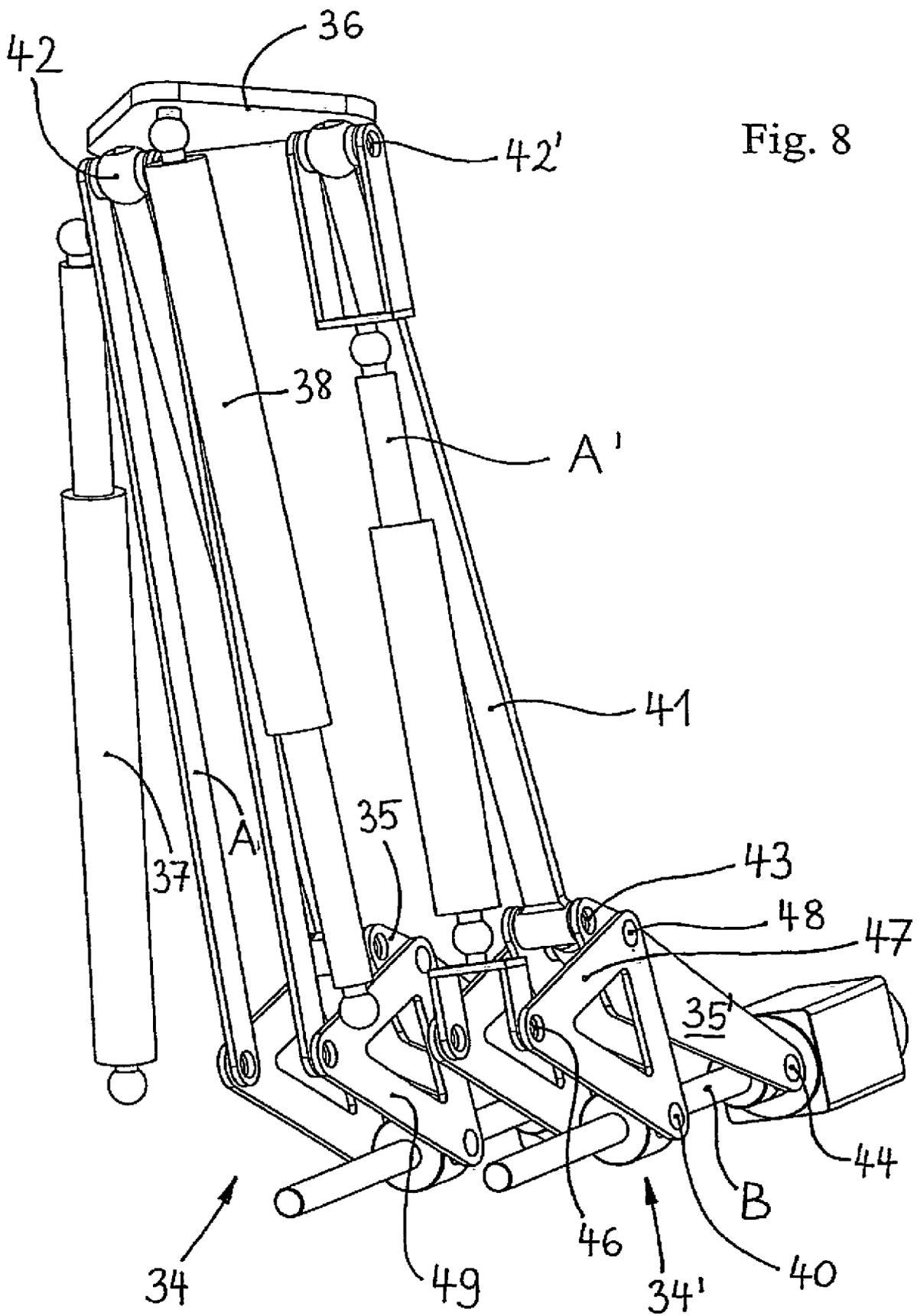


Fig. 8