



(10) **DE 10 2010 019 656 B4** 2016.09.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 019 656.8**
(22) Anmeldetag: **03.05.2010**
(43) Offenlegungstag: **03.11.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.09.2016**

(51) Int Cl.: **G01B 11/02 (2006.01)**
G01B 11/14 (2006.01)
G01M 11/08 (2006.01)

Innerhalb von neun 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).

(73) Patentinhaber:
ETALON AG, 38116 Braunschweig, DE

(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbH, 38122 Braunschweig,
DE**

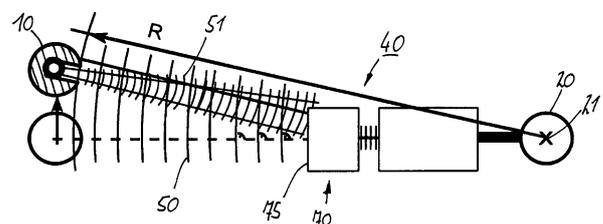
(72) Erfinder:
**Schwenke, Heinrich, Dr.-Ing., 38100
Braunschweig, DE; Wissmann, Mark, Dipl.-Ing.,
38100 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	44 21 783	A1
DE	10 2007 018 865	A1
US	7 110 194	B2
US	5 604 593	A
US	4 435 905	A
US	5 428 446	A
US	5 861 956	A
EP	1 658 471	A1

(54) Bezeichnung: **Messgerät**

(57) Hauptanspruch: Messgerät zur Überprüfung positionierender Maschinen auf geometrische Fehler zwischen zwei Drehgelenken (2) mit Lagerkugellörpern (10, 20), die über ein teleskopierbares Verbindungselement (30) mechanisch miteinander verbunden sind, und einer Einrichtung (40) zur optischen Längenmessung des Abstandes der Lagerkugellkörper (10, 20) voneinander mit zumindest einer Reflektoreinrichtung (12, 22) und einem Messstrahl (50), wobei die zumindest eine Reflektoreinrichtung (12) in einem ersten der Lagerkugellkörper (10) dergestalt angeordnet ist, dass der Bezugspunkt für die optische Längenmessung mit dem Drehpunkt (11) des Drehgelenkes (2) des ersten Lagerkugellkörpers (10) übereinstimmt, dadurch gekennzeichnet, dass dem Messstrahl (50) ein Aktuator (60) zugeordnet ist, um eine Nachführung des Messstrahles (50) für laterale Auslenkungen vorzunehmen, wobei der Drehpunkt der Nachführung in dem Drehpunkt (21) des zweiten Drehgelenkes (2) liegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Messgerät zur Überprüfung positionierender Maschinen auf geometrische Fehler zwischen zwei Drehgelenken mit Lagerkugelnkörpern, die über ein teleskopierbares Verbindungselement mechanisch miteinander verbunden sind, und einer Einrichtung zur optischen Längenmessung des Abstandes der Kugelnkörper voneinander mit zumindest einer Reflektoreinrichtung und einem Messstrahl. Mit einem solchen Messgerät ist es möglich, zwei Drehgelenke mechanisch miteinander zu verbinden, damit eine Kalibrierung und Überprüfung der Genauigkeit von Positioniermaschinen und Robotern oder anderen Werkzeugmaschinen durchgeführt werden kann.

[0002] Bei der Kalibrierung technischer Mehrkörpersysteme werden unterschiedliche Messtechniken eingesetzt. Neben einem Laserinterferometer kann ein Tracking-Interferometer, ein Geradheits-Interferometer, Winkelmesssysteme, Geradheitsnormale, Neigungswaagen, Winkelnormale und Kugelstäbe eingesetzt werden. In der ISO 230-1 werden verschiedene Techniken zur Prüfung und Kalibrierung von Werkzeugmaschinen beschrieben.

[0003] Eine weitere Methode zur Überprüfung und Kalibrierung technischer Mehrkörpersysteme basiert auf dem Multilaterationsverfahren, das eine vollständige Erfassung der geometrischen Fehlerparameter einer Positioniermaschine erlaubt, wenn diese sich hinreichend genau durch ein geeignetes kinematisches Modell beschreiben lässt. Ein solches Verfahren ist in der EP 16 58 471 A1 beschrieben. Auf entsprechend ausgestatteten Maschinensteuerungen können Parameter dann optional als Korrekturdaten hinterlegt werden, wodurch eine volumetrische Kompensation der Abweichung erfolgt und somit die Genauigkeit der Positionierung gesteigert wird. Für die Berechnung der Fehlerparameter werden bei diesen Verfahren zahlreiche Längenmessungen zwischen einem auf der Maschine feststehenden Referenzpunkt und einem durch die Maschine bewegten Referenzpunkt benötigt. Der bewegliche Referenzpunkt befindet sich in der Regel am Tastkopf eines Koordinatenmessgerätes oder an einer Spindel an einer Werkzeugmaschine. Die Längenmessungen finden an zuvor definierten Koordinaten innerhalb des verfügbaren Arbeitsvolumens der Positioniereinrichtung statt. Bei sequenziellen Multilaterationsverfahren wird dieser Messablauf für mehrere Positionen des feststehenden Referenzpunktes wiederholt, um mehrere mathematisch nutzbare Informationen aus verschiedenen Blickrichtungen des Messgerätes auf den bewegten Referenzpunkt zu erhalten.

[0004] Verfahrensbedingt sind keine Absolutdistanzmessungen zwischen den Referenzpunkten erforderlich, wodurch auch der Einsatz von Systemen mit

relativer Längenmessung erlaubt wird. Üblicherweise werden zur Durchführung des Verfahrens mobile Messgeräte verwendet. Ein geeignetes mobiles Messgerät ist ein Lasertracer, das in Kombination mit einer geeigneten Software durch zahlreiche Längenmessungen die für eine Kompensation benötigten Fehlerparameter ermittelt. Die Längenmessung erfolgt mit einem kompakten Laserinterferometer mit einer externen, stabilisierten He-Ne-Laserlichtquelle. Die erforderliche kontinuierliche Ausrichtung des Laserstrahls zu einem optischen Reflektor erfolgt durch eine automatische, motorische Nachführvorrichtung. Nachteilig an dem Lasertracer ist neben seiner kostenintensiven Ausgestaltung aufgrund aufwändiger Komponenten die relativ große Baugröße, was insbesondere bei kleinen Positioniermaschinen zu funktionalen Nachteilen führt. Darüber hinaus sind gegenwärtig nur optische Reflektoren mit einem maximalen Winkelbereich von 160° erhältlich, was den nutzbaren Winkelbereich des Messgerätes einschränkt.

[0005] Neben motorisch nachgeführten Messsystemen existieren auch Längenmesssysteme, bei denen zwei Referenzelemente, überwiegend Kugeln eines Drehgelenkes, durch eine mechanische Verbindung miteinander gekoppelt sind. Bei einem sogenannten Teleskop-Kugelstab handelt es sich um eine etablierte Messvorrichtung zur Prüfung der Positionier- und Bahngenaugigkeit von CNC-gesteuerten Positioniermaschinen, zu denen auch Koordinatenmessmaschinen oder Werkzeugmaschinen zählen. Ein solcher Teleskop-Kugelstab ist in der US 4,435,905 A beschrieben. Eine stabhohe mechanische Steifigkeit mit nur einem Freiheitsgrad für lineare Bewegungen ist an seinen Enden mit Lagerkugelnkörpern versehen. Ein integrierter Wegaufnehmer erfasst kontinuierlich die Abstandsänderung der beiden Kugeln zueinander. Die beiden Kugeln stellen in Kombination mit geeigneten Lagerungen ein Drehgelenk dar, wobei der Drehpunkt dem Mittelpunkt eines Lagerkugelnkörpers entspricht. Befindet sich eine der Kugeln aufnahmen an einem festen Ort und eine weitere an einem bewegten Teil der Positioniermaschine, kann diese sich auf angenähert kugelförmigen oder kreisförmigen Bahnen im Raum soweit bewegen, solange nicht die maximale bzw. minimale Auszugslänge des Kugelstabes überschritten oder unterschritten wird. Bei dem sogenannten Kreisformtest für Werkzeugmaschinen wird der Maschinenkopf, an dem einer der beiden Lagerkugelnkörper befestigt ist, auf einer Kreisbahn um die feststehende Lagerkugelaufnahme bewegt, gleichzeitig wird mit dem Teleskop-Kugelstab die Relativbewegung der Kugeln zueinander gemessen. Die Differenz zwischen den gewonnenen Messdaten und den Sollwerten einer idealen Kreisbahn erlaubt Rückschlüsse auf die lokale Genauigkeit der Bewegung einer Maschine am Ort der Messung. Das integrierte Längenmesssystem weist einen linearen Messbereich von einigen Millimetern auf. Dadurch sind Maschinenbewegungen im We-

sentlichen auf Kreisbahnen oder Kugelschalen beschränkt, das Gerät ist daher für eine Maschinenkalibrierung nach dem Multilaterationsverfahren, das Messdaten aus dem gesamten Volumen verarbeitet, nicht geeignet.

[0006] Die US 5,428,446 A beschreibt ein Messgerät mit einem linearen Messbereich, das eine Verwendung in einem Multilaterationsverfahren ermöglicht. Das System besitzt einen rohrförmigen Teleskopauszug, in dessen Inneren ein Messstrahl eines Laserinterferometers geführt wird. Ein parallel angeordneter Teleskopstab verhindert eine Verdrehung der Lagerkugelnkörper zueinander. Aufgrund des relativ geringen Auszugsbereiches, der durch die Länge des aufnehmenden Teleskoprohres begrenzt ist, ist das System jedoch nicht geeignet, den gesamten Bearbeitungsraum einer Positioniermaschine vollständig zu erfassen. Bei der Verwendung von Teleskopauszügen ist das Messgerät aufgrund von Eigengewicht, Elastizität der Komponenten und Lagerspiel zwangsläufig einem Durchhang unterworfen, der je nach Länge und mechanischer Stabilität zu Abweichungen der Positionierung der ausgezogenen Kugel von einer geraden Linie im Bereich mehrerer Millimeter führen kann. Dies führt bei einem handelsüblichen interferometrischen Längenmesssystem mit einem kollimierten Messstrahl, beispielsweise gemäß US 5,428,446 A bei großen Messlängen zu einem Messfehler. Gleichzeitig führt diese Durchbiegung des Auszuges zu einer Drehbewegung der Lagerkugelnkörper in den Drehgelenken, was die Abweichungen zusätzlich erhöht. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein optisches Messgerät bereitzustellen, das auch bei der unvermeidlichen mechanischen Verformung noch exakte Messwerte für eine Abstandsänderung zwischen zwei Drehgelenken liefert und darüber hinaus ein großes Auszugsverhältnis des Verbindungselementes gewährleistet.

[0007] Die US 5,861,956 A beschreibt einen Lasertracker mit einem Retroreflektor, der auf einem Kugelnkörper aufgesetzt ist. Der Retroreflektor weist eine Sicherungseinrichtung auf, über die die eingestellte Position auf den Kugelnkörper fixiert werden kann.

[0008] Die US 7,110,194 B2 beschreibt eine optische Einrichtung sowie ein Verfahren zum Bestimmen der Lage einer reflektierenden Zielmarke. Wird als Reflektor eine transparente Kugel verwendet, deren Brechungsindex zwischen $\sqrt{2}$ und 2 liegt. Dadurch findet an der Rückseite der Kugel eine Totalreflexion statt.

[0009] Die DE 10 2007 018 865 A1 betrifft ein Längenmesssystem für eine Werkzeugmaschine mit einem Strahlteiler zum Erzeugen eines Referenzlichtstrahls und des Arbeitslichtstrahls aus einem Lichtstrahl, einer Reflexionsvorrichtung zum Reflektieren des Arbeitsstrahls und einem teleskopierbaren Arm, an des-

sen einem Ende die Reflexionsvorrichtung befestigt ist. Die Reflexionsvorrichtung ist dergestalt schwenkbar an dem Arm befestigt, dass sie den Arbeitslichtstrahl auch bei elastischer Durchbiegung des Arms stets so auf den Strahlteiler zurückreflektiert, dass die optische Wellenlänge in linearer Näherung von der Durchbiegung unabhängig ist.

[0010] Die US 5,604,593 A betrifft eine gattungsgemäße Vorrichtung mit einer festgelegten Struktur und einer relativ dazu beweglichen Struktur. Die bewegliche Struktur ist mit der festgelegten Struktur über sechs längenveränderliche Beine miteinander verbunden. Die Länge der Beine legt die relative Position und Orientierung der Strukturen zueinander fest. Die Längen der Beine werden durch Laserinterferometer bestimmt. Um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen, ist ein Retroreflektor im Drehzentrum einer Lagerstelle eines Beines angeordnet.

[0011] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Messgerät mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

[0012] Das erfindungsgemäße Messgerät zur Überprüfung einer positionierenden Maschine auf geometrische Fehler zwischen zwei Drehgelenken mit Lagerkugelnkörpern, die über ein teleskopierbares Verbindungselement mechanisch miteinander verbunden sind, und einer Einrichtung zur optischen Längenmessung des Abstandes der Lagerkugelnkörper voneinander mit zumindest einer Reflektoreinrichtung und einem Messstrahl sieht vor, dass die zumindest eine Reflektoreinrichtung in einem ersten der Lagerkugelnkörper dergestalt angeordnet ist, dass der Bezugspunkt für die optische Längenmessung mit dem Drehpunkt des Drehgelenkes des ersten Lagerkugelnkörpers übereinstimmt. Idealerweise findet eine Längenmessung unmittelbar zwischen den beiden Referenzpunkten statt, vorliegend den Drehpunkten der Drehgelenke, wodurch auf diese Weise wesentliche Fehlereinflüsse vermieden und die Messunsicherheiten verringert werden können. Es ist daher vorgesehen, dass zumindest in einem der beiden Zentren der Lagerkugelnkörper ein optisches Referenzelement angebracht ist, das zur Bestimmung der Verschiebung zwischen den beiden Lagerkugelnkörpern und damit auch der beiden Drehgelenke dient. Durch die konzentrische Anordnung, so dass der Bezugspunkt für die optische Längenmessung mit dem Drehpunkt des Drehgelenkes und damit mit dem Zentrum des ersten Lagerkugelnkörpers zusammenfällt, führen Verformungen des Messgerätes und insbesondere des Verbindungselementes nicht zu Veränderungen der gemessenen Länge, wenn durch das Messgerät der relative Abstand der beiden Referenzelemente zueinander erfasst wird. Die Erfindung sieht vor, dass dem Messstrahl ein Aktuator zugeordnet

ist, um eine Nachführung für laterale Auslenkungen eines Lagerkugellkörpers oder eines Reflektors vorzunehmen, wobei der Drehpunkt der Nachführung in dem Drehpunkt des zweiten Drehgelenkes liegt. Dadurch ist es möglich, die Fehlansrichtung des Messstrahls in Bezug auf die Reflektoreinheit auf einen minimalen Wert auszuregeln.

[0013] Eine Variante der Erfindung sieht vor, dass in beiden Lagerkugellkörpern eine Reflektoreinrichtung dergestalt angeordnet ist, dass die Bezugspunkte für die optische Längenmessung mit den Drehpunkten der beiden Drehgelenke übereinstimmen, so dass bei einer Einspiegelung des Messstrahls eine Reflektion von beiden Reflektoreinrichtungen erfolgt, ohne dass die Verformungen des Verbindungselementes Einflüsse auf die Genauigkeit der Längenmessungen haben. Die Reflektoreinrichtung kann in der Mitte des jeweiligen Lagerkugellkörpers angeordnet sein, wobei in der Mitte des jeweiligen Lagerkugellkörpers beispielsweise ein Tripelspiegelreflektor oder ein Katzenaugen-Reflektor versenkt ist, so dass das optische Zentrum des Reflektors mit dem mechanischen Zentrum der Gelenkkugel oder des Lagerkugellkörpers zusammenfällt. Durch die Ausgestaltung des Reflektors als Tripelspiegelreflektor oder Katzenaugen-Reflektor, z. B. in der Ausgestaltung als hochbrechender und rückwärtig spiegelnd beschichteter Kugelreflektor, ist es möglich, einen einfallenden Lichtstrahl stets parallel zu seiner einfallenden Richtung zurückzuwerfen, auch wenn der Messstrahl unter verschiedenen Winkeln auf den Reflektor fällt. Bei einem nicht zentrischen Auftreffen des Messstrahls wird dieser entsprechend stark parallel versetzt zurückgeworfen. Dadurch ist es möglich, dass durch die Reflektoreinrichtung ein einfallender Messstrahl unabhängig von der Orientierung des Lagerkugellkörpers in die Einfallrichtung reflektiert wird.

[0014] Der Messstrahl kann auf den Kugelmittelpunkt des Lagerkugellkörpers fokussiert sein.

[0015] Dem Aktuator kann eine Steuereinrichtung für die Nachführung zugeordnet sein, wobei der Steuereinrichtung eine Photodetektoreinheit zugeordnet ist, über die die seitliche Auslenkung des Lichtflecks aus der Nulllage heraus ermittelt werden kann. Über diese Photodetektoreinheit ist dann die präzise Nachregelung möglich.

[0016] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass in dem Messstrahl eine Einrichtung zur Aufweitung des Messstrahls angeordnet ist. Der Messstrahl kann entweder parallel aufgeweitet werden, um eine größere Fläche abzudecken, oder zu einer Kugelwelle, deren Mittelpunkt in dem Drehpunkt eines Drehgelenkes angeordnet ist. Dadurch ist es möglich, eine konzentrische Kugelwelle mit dem Mittelpunkt des Drehgelenkes zu realisieren, so dass sich von dort aus der sich aufweitende Messstrahl in

Richtung auf die Reflektoreinheit ausbreitet. Dadurch erhöht sich die laterale Toleranz der Lage der Reflektoreinheit, da auch die Abstandsänderung bei lateraler Verschiebung interferometrisch exakt erfasst werden kann. Durch die Anordnung der Reflektoreinheit im Zentrum des Lagerkugellkörpers wird, solange sich die Reflektoreinheit innerhalb des aufgeweiteten Messstrahls befindet, ein Teilausschnitt des Messstrahls zu der optischen Längenmeseinrichtung, insbesondere der interferometrischen Messeinheit, zurückgeworfen.

[0017] Die Intensität der von den Kugelwellen zurückgeworfenen Strahlung skaliert dabei umgekehrt proportional zum Abstandsquadrat der beiden Lagerkugellkörper und der Drehlager zueinander.

[0018] Bei einer parallelen Aufweitung des Messstrahls durch eine geeignete Optik trifft eine ebene Welle auf die Reflektoreinheit. Dort wird von der Reflektoreinheit ein Teilausschnitt des Messstrahls parallel zum einfallenden Strahl zur optischen Längenmeseinrichtung, insbesondere dem Interferometer zurückgeworfen. Der messtechnisch relevante Lateralversatz des reflektierten Messstrahls wird mit einer positionsempfindlichen Detektoreinrichtung, beispielsweise einer positionsempfindlichen Photodiode registriert. Der durch den Lateralversatz verursachte Längenmessfehler wird in einer Steuerungssoftware oder einer Messsoftware korrigiert.

[0019] Um ein besonders hohes Aspektverhältnis zu erreichen, also das Verhältnis von Maximallänge zur Mindestlänge des Messgerätes, kann das teleskopierbare Verbindungselement zumindest einen der Lagerkugellkörper auf der der gegenüberliegenden Lagerkugellkörper abgewandten Seite überkragen. Dadurch kann die Führungslänge des Teleskopauszuges erhöht werden, ohne den Mindestabstand der beiden Kugelmittelpunkte der Lagerkugellkörper, welche in dem Messgerät als Anfangspunkt und Endpunkt der Längenmessung dienen, zu erhöhen.

[0020] Zur mechanisch steifen Ausgestaltung ist es vorgesehen, dass das teleskopierbare Verbindungselement mehrere, parallel zueinander angeordnete Auszüge aufweist, an denen die Lagerkugellkörper befestigt sind. Dadurch kann die Steifigkeit gegen eine mechanische Verformung vergrößert werden. Es können zwei oder drei Auszüge parallel zueinander angeordnet sein, die durch Verstrebungen miteinander verbunden sein können.

[0021] Ebenfalls ist es möglich, dass zwei parallele Auszüge über eine Scherenkinematik miteinander gekoppelt sind, um eine präzisere Zuordnung der Auszüge mehrerer Auszugselemente zu erreichen.

[0022] Bei einer ungedämpften Bewegung kann eine ungeordnete Auszugsreihenfolge und darüber hinaus

ein harter Endanschlag entstehen, was das Messergebnis beeinträchtigen kann. Daher kann weiterhin vorgesehen sein, dass das Verbindungselement eine Dämpfereinrichtung aufweist, um beispielsweise ein ruckartiges Herunterfallen einzelner Segmente des Verbindungselementes bei einem Wechsel der Blickrichtung der Messvorrichtung in eine senkrechte Position zu vermeiden. Konstruktiv kann dies bei abgeschlossenen Auszügen und Auszugselementen des Verbindungselementes durch variable Luftöffnungen mit einem definierten Durchmesser oder durch eine geschwindigkeitsproportionale Dämpfung über Magnete und einem bremsenden Wirbelstromeffekt in den sich relativ zu dem Magneten bewegenden Auszugssegmenten erreicht werden.

[0023] Bei einer Kopplung der einzelnen Segmente des Verbindungselementes über eine Scherenkinematik ist eine Bewegungsdämpfung nicht notwendig, da über die Scherenkinematik eine mechanische Zwangskopplung der einzelnen Segmente des Mehrfachauszuges realisiert wird. Sinnvollerweise werden bei der Scherenkinematik geeignete Hebelverhältnisse verwendet, um einen maximalen und minimalen Abstand der Lagerkugelnkörper zu erreichen. Endanschläge beim Erreichen des maximalen bzw. minimalen Verfahrweges sind bei geeigneter Verwendung der Erfindung nicht erforderlich. Alternativ können Zahnräder, Zahnstangen oder Seilzüge und Umlenrollen zur Verwirklichung eines geordneten Auszuges eingesetzt werden.

[0024] Bei der Verwendung teleskopierbarer Auszüge mit mehr als einem ausziehbaren Element und einem ungeordneten Auszug, beispielsweise ohne eine Scherenkinematik, kann das Problem eines mechanischen Anschlages auftreten. Die einzelnen Segmente können auf andere Segmente aufschlagen, wenn die einzelnen Segmente ihren maximalen bzw. minimalen Verfahrbereich beim Auseinanderziehen oder beim Zusammenschieben des Messgerätes erreichen.

[0025] Alternativ kann aufgrund der Schwerkrafteinwirkung einzelner Segmente das Anschlagen erfolgen. Ungedämpfte Anschläge von Segmenten können durch das Messgerät sowohl auf das interferometrische Messsystem als auch auf die zu kalibrierende Maschine übertragen werden, was zu vermeiden ist. Daher werden harte Endanschläge durch eine gleichpolige Anordnung von Magneten innerhalb des Verbindungselementes bzw. innerhalb der Segmente der Auszüge verhindert. Magnete haben den Vorteil einer progressiven Kraft-Weg-Kennlinie bei ihrer Annäherung, darüber hinaus benötigen sie nur einen geringen zusätzlichen Bauraum. Ebenfalls sind Federelemente oder dergleichen vorgesehen.

[0026] Durch eine unterschiedliche räumliche Ausrichtung des Messgerätes bei dem Abfahren ver-

schiedener Positionen durch den Endeffektor der Maschine wirkt das Messgerät über das Drehgelenk und den Endeffektor mit unterschiedlichen Kräften auf die zu kalibrierende Positioniermaschine ein. Gegengewichte auf der zum Endeffektor entgegengesetzten Seite des feststehenden Drehgelenkpunktes können die unterschiedlichen Kräfte ausgleichen, da über die Hebelwirkung die Krafteinleitung auf den Endeffektor reduziert oder vermieden wird.

[0027] Vorzugsweise wird der Abstand der Gegengewichte von dem Drehpunkt des feststehenden Drehgelenkpunktes automatisch derartig eingestellt, dass die sonst wechselnde Krafteinwirkung am Endeffektor der zu kalibrierenden Positioniermaschine konstant und/oder nahe Null gehalten wird. Dies kann entweder durch eine rein mechanische Vorrichtung geschehen, die mit dem Endeffektor mechanisch gekoppelt ist, oder durch eine motorische Einheit, die den notwendigen Abstand des Gegengewichtes zum Drehpunkt aus der aktuellen Auszugslänge und gegebenenfalls aus dem Neigungswinkel des Verbindungselementes ermittelt. Ebenfalls können Kraftsensoren in dem Endeffektor integriert sein, wodurch eine unabhängige elektronische Regelstrecke realisiert werden kann, die sich stets auf eine konstante Kraftwirkung auf die Positioniermaschine einregelt.

[0028] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass Lateralversätze und kleine Drehbewegungen des Reflektors am Endeffektor des Teleskopauszuges aufgrund mechanischer Verformungen durch zum Beispiel sich verändernde Lastsituationen und auftretende Lagerspiele automatisch ausgeriegelt oder durch die Strahlgeometrie vermieden werden. Durch die Kenntnis des Lateralversatzes kann die Längenmessung korrigiert werden, wobei gleichzeitig das bei einigen anderen Vorrichtungen notwendige manuelle Feinausrichten eines Laserstrahls, der als Messstrahl häufig verwendet wird, vollkommen entfällt. Dadurch können Teleskop-Mehrfachauszüge verwendet werden, da eine hohe mechanische Steifigkeit und Präzision der Linearführung des Verbindungselementes zum Erreichen kleiner Messunsicherheiten nicht mehr erforderlich ist. Ebenso ist es dadurch möglich, einen jeweils für die Messanforderungen idealen Teleskopauszug zu verwenden, wenn eine Einheit aus Interferometer und Strahlnachführung vom Teleskop aus mittels einer geeigneten mechanischen Koppelvorrichtung abnehmbar ist. Dann kann diese Einheit auf einen anderen Teleskopauszug aufgesetzt werden, ebenfalls ist ein Betrieb des Interferometers und der Strahlnachführung ohne Teleskopauszug mit einer stationären Vorrichtung möglich.

[0029] Durch die konzentrische Anordnung der optischen Reflektoren in den Drehmittelpunkten, wodurch die Messstrecke der direkten Verbindungslinie beider Referenzpunkte entspricht, wird der so-

genannte Sinus- und Kosinusfehler vermieden, der durch kleine Abweichungen zwischen dem Referenzpunkt und dem Drehpunkt des Kugelgelenkes bei Winkelbewegungen entsteht. Dadurch wird die Messgenauigkeit gewährleistet. Die Anordnung erlaubt zudem eine freie thermische Ausdehnung des Messgeräts, da die Messstrecke zwischen den beiden Referenzpunkten unabhängig davon ist. Daher ist es auch möglich, für den Geräteaufbau ein breites Materialspektrum einzusetzen und die Auszugslängen den messtechnischen Gegebenheiten anzupassen, ohne dabei die Funktion zu beeinträchtigen.

[0030] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0031] Fig. 1a eine perspektivische Darstellung des teleskopierbaren Verbindungselementes mit Lagerkugelnkörpern;

[0032] Fig. 1b das Verbindungselement in unterschiedlichen Auszugslängen;

[0033] Fig. 2a eine schematische Darstellung eines Drehgelenks;

[0034] Fig. 2b eine Draufsicht auf eine mechanische Dreipunktlagerung für Kugeln;

[0035] Fig. 3a eine Idealdarstellung eines Verbindungselementes;

[0036] Fig. 3b eine übertriebene Darstellung der Verformung eines teleskopierten Verbindungselementes;

[0037] Fig. 4a Beispiele von Reflektoreinheiten;

[0038] Fig. 4b eine Erläuterung der Längenmessfehler durch Exzentrizität;

[0039] Fig. 5 einen Grundaufbau eines Interferometers mit Strahlengang;

[0040] Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Messgerätes mit automatischer Messstrahlennachführung;

[0041] Fig. 7 ein Messgerät mit konzentrischer Kugelwelle;

[0042] Fig. 8 ein Messgerät mit einem aufgeweiteten Messstrahl;

[0043] Fig. 9a einen Endanschlag mit gleichpoligen Magneten;

[0044] Fig. 9b einen Endanschlag mit einem Federelement;

[0045] Fig. 10a eine Darstellung von Auszugsegmenten mit Luftdämpfung;

[0046] Fig. 10b eine Darstellung einer Bewegungsdämpfung mit Wirbelstrom;

[0047] Fig. 11 ein Verbindungselement mit Scherenkinematik im teleskopierten und ausgefahrenen Zustand;

[0048] Fig. 12 ein Messgerät mit Gegengewicht im teleskopierten Zustand sowie im eingefahrenen Zustand.

[0049] In der Fig. 1 ist in einer perspektivischen Darstellung der Grundaufbau eines Verbindungselementes **30** mit zwei daran befestigten Lagerkugelnkörpern **10**, **20** gezeigt. Das Verbindungselement **30** besteht im dargestellten Ausführungsbeispiel aus zwei parallelen Auszügen, die aus mehreren Auszugselementen **32**, **34**, **36**, **32'**, **34'**, **36'** bestehen, wobei das erste Auszugselement **32**, **32'** einen über die erste Querstrebe **31** hinausragenden Abschnitt **38**, **38'** aufweist. Alternativ kann der nach hinten überstehende Abschnitt **38**, **38'** auch als separates Element ausgebildet sein, in das das erste Auszugselement **32**, **32'** einschickbar ist. Die beiden Auszüge sind über Querversteifungen **31**, **33**, **35**, **37** miteinander verbunden. Die Lagerkugelnkörper **10**, **20** sind an den äußeren Querversteifungen **31**, **37** festgelegt. Üblicherweise wird ein Lagerkugelnkörper **20** an einem Lager innerhalb eines Arbeitsraumes einer Positioniermaschine positioniert, während der andere Lagerkugelnkörper **10** an einem Endeffektor befestigt wird und über den Endeffektor verschiebende Positionen anfährt. Der nicht an dem Endeffektor angeordnete Lagerkugelnkörper **20** wird nachfolgend als stationärer Lagerkugelnkörper bezeichnet, auch wenn der Lagerort im Verlauf der Messungen verändert werden kann. Die Bezeichnung dient daher lediglich zur Unterscheidung der beiden Lagerkugelnkörper **10**, **20** und ist nicht einschränkend auszulegen.

[0050] In der Fig. 1 ist zu erkennen, dass auf Seiten des stationären Lagerkugelnkörpers das Verbindungselement über den Lagerkugelnkörper **20** herausragt, so dass die übrigen Segmente **32**, **34**, **36**, **32'**, **34'**, **36'** in die überkragenden Segmente **38**, **38'** hinein verschoben werden können. Die unterschiedlichen Positionen und Auszugslängen sind in der Fig. 1b dargestellt. In der oberen Darstellung ist eine minimale Auszugslänge dargestellt, in der unteren Darstellung eine maximale Auszugslänge. Durch die mehrstufige Ausführung der teleskopierbaren Auszüge ist es möglich, ein sehr großes Aspektverhältnis, also ein großes Verhältnis zwischen der maximalen Auszugslänge und der minimalen Auszugslänge zu realisieren. Das aufnehmende Segment **38**, **38'** des jeweiligen Auszuges erstreckt sich über den Drehpunkt des stationären Lagerkugelnkörpers **20** hinaus, so dass die

teleskopierbaren Auszüge **32**, **34**, **36**, **32'**, **34'**, **36'** vollständig aufgenommen werden können. Das übertragende Segment **38** dient ebenfalls als Gegengewicht, so dass auch im ausgezogenen Zustand der Endeffektor mit einer möglichst geringen Gewichtskraft belastet wird. Alternativ ist es möglich, dass die ersten Segmente **32**, **38**, **32'**, **38'** als ein einteiliges Rohr ausgebildet sind, so dass die übrigen Segmente **34**, **36**, **34'**, **36'** in das beidseitig über den stationären Lagerkugellkörper **20** hinausstehende Segment eingeschoben werden können.

[0051] In den **Fig. 2a** und **Fig. 2b** sind ein Drehgelenk **2** in Gestalt eines sogenannten Kugelnestes mit dem darauf angeordneten Lagerkugellkörper **20** dargestellt. Das Drehgelenk weist zumindest zwei rotatorische Freiheitsgrade auf, vorteilhafterweise sind drei rotatorische Freiheitsgrade vorgesehen. In der **Fig. 2** ist die Ausbildung des Drehgelenkes an dem stationären Lagerkugellkörper **20** dargestellt. Die Ausbildung des Drehgelenkes mit dem mobilen Lagerkugellkörper **10** an dem Endeffektor ist nicht dargestellt, auch hier sind zumindest zwei rotatorische Freiheitsgrade, vorzugsweise drei rotatorische Freiheitsgrade vorgesehen, so dass das Verbindungselement **30** eine mechanische Verbindung in veränderlicher Länge zwischen den beiden Drehgelenken herstellt, die durch die Lagerkugellkörper **10**, **20** und durch die jeweiligen Aufnahmen realisiert werden. In der **Fig. 2b** ist eine Draufsicht auf eine mögliche Lagerstelle gezeigt. Es handelt sich dabei um eine magnetisch vorgespannte, mechanische Dreipunktlagerung mit drei Lagerpunkten **3**, wobei sich der Drehpunkt des Drehgelenkes im Mittelpunkt des Lagerkugellkörpers **20** befindet.

[0052] In den **Fig. 3a** und **Fig. 3b** ist die Auswirkung einer mechanischen Deformation des Verbindungselements **30** dargestellt. In der **Fig. 3a** ist die geometrisch ideale Ausgestaltung des Verbindungselements **30** gezeigt. Ebenfalls ist dargestellt, dass im Bereich des stationären Lagerkugellkörpers **20** eine Einrichtung **40** zur optischen Längenmessung angeordnet ist. Eine solche Einrichtung ist insbesondere als ein Lasereinterferometer ausgebildet. In der oberen Darstellung ist die ideale gerade Ausgestaltung des Verbindungselements **30** im maximal ausgefahrenen Zustand gezeigt. In der Realität ist das Verbindungselement **30** aufgrund von Eigengewicht, Materialelastizitäten und Lagerspielen innerhalb der Segmente der Auszüge einem Durchhang unterworfen, so dass der von der Einrichtung zur optischen Längenmessung ausgesendete Messstrahl **50** nicht mehr auf den zu messenden Punkt, nämlich den Mittelpunkt des mobilen Lagerkugellkörpers **10** trifft, sondern diesen verfehlt. Wird der Messstrahl **50** dennoch reflektiert, ergibt sich aufgrund der Verdrehung des beweglich gelagerten Lagerkugellkörpers **10** in Verbindung mit dem Versatz des Auftreffpunktes des Messstrahls zu einer Längenabweichung von eini-

gen Mikrometern, wenn der Lateralversatz oder die Durchbiegung im Bereich von einigen Millimetern liegt. Eine Korrektur ist bei einer nicht zentrischen Anordnung nur bedingt möglich, da der durch die Drehung entstandene Messfehler ggf. nicht bekannt ist und nicht ermittelt werden kann.

[0053] Die Ermittlung des Längenmessfehlers aufgrund der Exzentrizität eines Reflektors auf der Kugeloberfläche ist in der **Fig. 4b** dargestellt. Bei einem nahezu senkrechten Auftreffen des Messstrahls ergibt sich eine Länge L_1 , wird der Reflektor um den Winkel α verdreht, ergibt sich eine Länge L_2 . Die Differenz beider Längen ergibt den Längenmessfehler.

[0054] In der **Fig. 4a** ist die zentrale Anordnung einer Reflektoreinrichtung **12** innerhalb des Lagerkugellkörpers **10** gezeigt. Die linke obere Darstellung zeigt die Ausgestaltung der Reflektoreinrichtung **12** als sogenannten Katzenaugen-Reflektor, bei dem der Bezugspunkt für die optische Längenmessung mit dem Drehpunkt **11** des Drehgelenkes und damit mit dem Mittelpunkt des Lagerkugellkörpers **10** übereinstimmt. Die obere rechte Darstellung zeigt eine Ausgestaltung der Reflektoreinrichtung **12** als Tripel Spiegelreflektor, dessen Bezugspunkt für die optische Längenmessung ebenfalls mit dem Drehpunkt des Drehgelenkes und dem Mittelpunkt des Lagerkugellkörpers **10** übereinstimmt. Beide Reflektoreinrichtungen sind so ausgebildet, dass sie in der Kugelmitte der Lagerkugellkörper **10** angebracht sind und so ausgerichtet und angeordnet sind, dass sie den einfallenden Messstrahl **50** unabhängig von der Ausrichtung der jeweiligen Reflektoreinrichtung **12** in die Einfallsrichtung reflektieren. Dies ist durch den jeweiligen Strahlengang angedeutet.

[0055] In der unteren Darstellung ist gezeigt, dass die Reflektoreinrichtung **12** auch bei einem Verdrehen des Lagerkugellkörpers **10** um den Winkel α den einfallenden Lichtstrahl stets parallel zu seiner einfallenden Richtung zurückwirft, bei einem nicht zentrischen Auftreffen des Messstrahls **50** wird dieser lediglich entsprechend stark parallel versetzt zurückgeworfen, ohne dass sich ein Längenmessfehler ergibt.

[0056] In der **Fig. 5** ist der Grundaufbau der Einrichtung **40** zur optischen Längenmessung in Gestalt eines Interferometers gezeigt. Eine solche Einrichtung **40** kann fest an dem Verbindungselement **30** montiert oder aber abnehmbar daran angeordnet sein, so dass eine Anpassung an unterschiedliche Messräume leicht erfolgen kann. Die Einrichtung **40** zur optischen Längenmessung weist einen Aufbau auf, der auf dem des Michelson-Interferometers basiert. Stabilisiertes, kohärentes Laserlicht wird über eine polarisationserhaltende Glasfaser **41** von außen zugeführt, so dass die Einrichtung **40** insgesamt kompakt aufgebaut werden kann. Ein polarisationsoptischer Strahlteilerwürfel **42** teilt das Laserlicht in einen

Referenzstrahl und einen Messstrahl **50** auf. Weitere polarisationsoptische Bauteile sorgen dafür, dass der Messstrahl **50** zwischen den Reflektoreinrichtungen **12**, **22** der beiden Lagerkugellkörper **10**, **20** oder dem jeweiligen Referenzelement verläuft, so dass die Abstandsänderungen dieser Elemente **10**, **20** mit hoher Auflösung und Genauigkeit gemessen werden. Der Messstrahl **50** wird direkt nacheinander zu den Lagerkugellkörpern **10**, **20** geführt, bevor er sich mit dem Referenzstrahl überlagert und die sich ergebende Interferenz in einer optoelektronischen Einheit **43** ausgewertet wird. Bei der Auswertung der Interferenz ergibt sich die Verschiebung der beiden Kugelzentren **11**, **21** zueinander, wenn der bewegliche Lagerkugellkörper **10** entlang des Messstrahls bewegt wird.

[0057] In der **Fig. 6** ist eine Variante des Messgeräts schematisch dargestellt. Das Messgerät sieht dabei wie oben beschrieben zwei Lagerkugellkörper **10**, **20** vor, von denen nur die Lagerung in dem Drehlager **2** an einem Ort innerhalb des Messraumes einer positionierenden Maschine dargestellt ist. Der Messstrahl **50** wird auf die Reflektoreinrichtung **12** innerhalb des beweglichen Lagerkugellkörpers **10** gerichtet und reflektiert und in der Einheit **40** ausgewertet. Zusätzlich zu der Längenbestimmung innerhalb der Einrichtung **40** über eine nicht näher dargestellte optoelektronische Einheit ist eine Photodetektoreinheit **55** vorgesehen, der einen Teil des reflektierten Messstrahls zugeleitet wird. Die Photodetektoreinheit **55** ist positionsempfindlich und gibt ein Regelsignal für die Nachführung des Messstrahls **50** aus. Dieses wird an eine Steuereinrichtung **65** geleitet, die einen Aktuator **60** ansteuert. Über den Aktuator **60** wird die Einrichtung **40** zur optischen Längenmessung in zwei Winkeln so nachgeführt, dass der Messstrahl **50** nach Möglichkeit zentrisch zur Reflektoreinheit in den beweglichen Lagerkugellkörper **10** ausgerichtet ist. Der Drehpunkt der Nachführung ist dabei idealerweise der Drehpunkt **21** des stationären Drehgelenks, also der Mittelpunkt des Lagerkugellkörpers **20**, in dem auch die zweite Reflektoreinrichtung angeordnet ist. Über die Auswertung des reflektierten Messstrahls **50** aus seiner Nulllage heraus auf der Photodetektoreinheit **55** können beispielsweise zwei motorische Nachführungen geregelt werden, die die Winkelbewegung der Einrichtung **40** bewirken, um die Fehlaustrichtung des Messstrahls auszugleichen und Längenmessfehler aufgrund des Lateralversatzes des Lagerkugellkörpers **10** auszuschließen. Der **Fig. 6** ist zu entnehmen, dass der Aktuator **60** an dem Verbindungselement **30**, genauer an dem ersten Segment **32**, befestigt ist und nicht von dem stationären Lagerkugellkörper **20** verschoben wird, wenn das Verbindungselement **30** teleskopiert wird. Der Aktuator folgt somit den Bewegungen des Verbindungselementes **30** während der Messungen, eine Verstellung erfolgt über eine Verschwenkung der Einrichtung **40** um eine Schwenkachse, die durch den Drehpunkt **21** des Lagerkörpers **20** verläuft.

[0058] Eine Variante des Messgeräts ist in der **Fig. 7** dargestellt. Der ausgesendete Messstrahl **50** wird auf den Mittelpunkt **21** des stationären Lagerkugellkörpers **20** fokussiert, so dass der Messstrahl **50** als eine Kugelwelle, also ein sich aufweitender Strahl in Richtung des beweglichen Lagerkugellkörpers **10** ausbreitet. Dadurch erhöht sich die laterale Toleranz der Lage des beweglichen Lagerkugellkörpers **10**, da auch die Abstandsänderung bei einer lateralen Verschiebung interferometrisch exakt erfasst wird. Durch die konzentrisch angeordnete Reflektoreinrichtung im Inneren des Lagerkugellkörpers **10** wird ein Teilausschnitt, solange sich der Lagerkugellkörper **10** innerhalb des aufgeweiteten Messstrahls **50** befindet, in Richtung auf den stationären Lagerkugellkörper **20** zurückgeworfen. Die Aufweitung erfolgt in einem weiteren optischen Bauteil **70**, das ein Teil der Einrichtung **40** zur optischen Längenmessung ist. An diesem Bauteil **70** kann eine Detektoreinrichtung **75** angeordnet sein, um den reflektierten Messstrahl **51** zu erfassen.

[0059] Eine weitere Variante der Erfindung ist in der **Fig. 8** dargestellt, bei der durch eine geeignete optische Einrichtung **70** der Messstrahl **50** derart aufgeweitet wird, dass eine ebene Welle auf die Reflektoreinrichtung **12** in dem beweglichen Lagerkugellkörper auftrifft. Von dort wird ein Teilausschnitt des Messstrahls als reflektierter Messstrahl **51** parallel zu dem einfallenden Messstrahl **50** auf die Einrichtung **40** zurückgeworfen und mit einer positionsempfindlichen Detektoreinheit **75**, die beispielsweise als Photodiode ausgebildet sein kann, registriert. Der durch den Versatz verursachte Längenmessfehler wird in der Steuerungssoftware oder in der Messsoftware hinreichend genau korrigiert.

[0060] Lateralversätze und Drehbewegungen der Reflektoreinheit **12** am Endeffektor des Teleskopauszuges aufgrund mechanischer Verformungen können automatisch ausgeglichen werden, durch die Laserstrahlgeometrie vermieden werden oder durch Kenntnis des Lateralversatzes korrigiert werden, wobei gleichzeitig das ggf. erforderliche manuelle Feinausrichten des Messstrahls **50** vollständig entfällt. Dadurch können Mehrfachauszüge verwendet werden, da eine hohe mechanische Steifigkeit der Linearführung zum Erreichen kleiner Messunsicherheiten nicht mehr erforderlich ist. Ebenso ist es möglich, einen jeweils für die Messanforderungen ideal geeigneten Teleskopauszug als Verbindungselemente **30** zu verwenden, wenn die Einheit **40** zur optischen Längenmessung und Strahlnachführung von dem Verbindungselement **30** mittels einer geeigneten mechanischen Koppelvorrichtung abnehmbar ist und auf andere Teleskopauszüge aufgesetzt werden kann. Mit einer stationären Vorrichtung wäre ein Betrieb der Längenmeseinrichtung auch ohne Verbindungselement möglich.

[0061] Durch die konzentrische Anordnung der optischen Reflektoreinheiten **12**, **22** in den Mittelpunkten **11**, **21** der Lagerkugellkörper **10**, **20** wird der sogenannte Sinus- und Kosinusfehler vermieden, da die Messstrecke der direkten Verbindungslinien beider Referenzpunkte, hier die der Mittelpunkte **11**, **21** entspricht. Die zentrische Anordnung erlaubt zudem eine freie thermische Ausdehnung des Messgerätes, da die Messstrecke zwischen den beiden Referenzpunkten **11**, **22** unabhängig davon ist. Dadurch ist es möglich, für das Messgerät ein sehr breites Materialspektrum einzusetzen und die Auszugslängen des Verbindungselementes **30** den messtechnischen Gegebenheiten optimal anzupassen, ohne dabei deren Funktion zu beeinträchtigen.

[0062] In der **Fig. 9a** ist eine Querschnittsdarstellung durch einen Teleskopauszug mit Teleskopsegmenten **38**, **32**, **34** gezeigt. An den rückwärtigen Endbereichen der aufgenommenen Auszugselemente **32**, **34** sind Permanentmagnete **80** angeordnet, denen auf der Innenseite der aufnehmenden Auszugselemente **32**, **38** gleichpolig gegenüberliegend angeordnete Permanentmagnete gegenüberliegen. Durch diese Anordnung der Permanentmagnete **80** innerhalb der Auszüge wird ein harter Endanschlag der einzelnen Segmente bei einer entsprechenden Auszugslänge und Verfahrbewegung des Verbindungselementes **30** verhindert. Permanentmagnete haben den Vorteil einer progressiven Kraft-Weg-Kennlinie bei ihrer Annäherung und können mit einem geringen Bauaufwand innerhalb der Teleskopführungen angeordnet werden.

[0063] Eine alternative Ausgestaltung eines Endanlasses ist in der **Fig. 3b** gezeigt, bei der eine Druckfeder **85** ein zu hartes Auftreffen des aufgenommenen Segmentes **34** in dem aufnehmenden Segment **32** verhindert. Darüber hinaus kann die Auszugsbewegung durch die Feder **85** in beiden Auszugsrichtungen gedämpft werden, was in der unteren Darstellung gezeigt ist.

[0064] Eine Bewegungsdämpfung ist in den **Fig. 10a** und **Fig. 10b** dargestellt. In den Endbereichen der einzelnen Teleskopsegmente **32**, **34** sind Luftöffnungen **84**, gegebenenfalls mit einem variablen Durchmesser angeordnet, um ein ruckartiges Herunterfallen einzelner Segmente bei einem Wechsel der Orientierung des Messgerätes beispielsweise von einer waagerechten Position in eine senkrechte Position zu vermeiden. Die Dämpfung wird durch die Ausgestaltung geschlossener, rohrförmig ausgebildeter Teleskopsegmente mit darin befindlichen Luftöffnungen realisiert. Eine alternative Ausgestaltung der Dämpfung kann über Magnete und einen Wirbelstromeffekt in den gegenläufigen Auszugselementen **32**, **34** realisiert werden. Die Dämpfung über Magnete **86** und den Wirbelstromeffekt kann geschwindigkeitsproportional erfolgen.

[0065] In der **Fig. 11** ist ein Verbindungselement **30** mit zwei Teleskopauszügen mit verschiedenen Segmenten **36**, **34**, **32**, **36'**, **34'**, **32'** dargestellt. Der Aufbau entspricht ungefähr dem der **Fig. 1**. Zwischen den Querstreben **31**, **33**, **35**, **37** ist eine Scherenkinematik **39** angeordnet, um einen gekoppelten Auszug der einzelnen Segmente **32**, **34**, **36** des dargestellten Mehrfachauszuges zu ermöglichen. Durch den gekoppelten oder geordneten Auszug kann auf Endanschlüsse oder eine Bewegungsdämpfung verzichtet werden, da stets eine definierte Zuordnung der Abstände der einzelnen Auszugssegmente zueinander und der Querstreben **31**, **33**, **35**, **37** zueinander durch die mechanische Kopplung der Scherenkinematik **39** gewährleistet ist. Es müssen lediglich Endanschlüsse beim Erreichen des maximalen oder minimalen Verfahrbereiches vorgesehen sein; wenn man ein komplettes Herausziehen und/oder Einschieben beispielsweise durch die Positioniermaschine verhindern kann, kann auf die Endanschlüsse auch verzichtet werden. Alternative Kopplungen können über Zahnräder und Zahnstangen oder Seilzüge und Umlenkrollen erfolgen.

[0066] In der **Fig. 12** ist ein Messgerät mit einem Gegengewicht **90** an dem übertragenden Segment **38** oder Segmentabschnitt dargestellt. Durch die unterschiedliche räumliche Ausrichtung des Messgerätes, wird der Endeffektor, an dem der bewegliche Lagerkugellkörper **10** angeordnet ist, über das Drehgelenk **2'** mit unterschiedlichen Kräften belastet, die dann auf die zu kalibrierende Positioniermaschine einwirken, wenn kein Ausgleich erfolgt. Zum Ausgleich sind gemäß **Fig. 12** Gegengewichte **90** auf der entgegengesetzten Seite des feststehenden Drehgelenks **2** angeordnet. Idealerweise wird der Abstand der Gegengewichte **90** vom Drehpunkt **21** automatisch derart eingestellt, dass die sonst wechselnde Krafteinwirkung am Endeffektor auf die zu kalibrierende Positioniermaschine konstant und/oder nahe Null gehalten wird. Dies kann durch eine rein mechanische Vorrichtung erreicht werden, die mit dem Endeffektor in mechanischer Weise gekoppelt ist. Alternativ kann eine motorische Einheit, die den notwendigen Abstand des Gegengewichts **90** zum Drehpunkt **21** aus der aktuellen Auszugslänge und gegebenenfalls den Neigungswinkel ermittelt, eingestellt werden. Eine weitere Möglichkeit bieten Kraftsensoren, die in dem Endeffektor der Positioniermaschine integriert sein können, womit eine unabhängige, elektronische Regelstrecke realisiert werden kann, die sich stets auf eine konstante Krafteinwirkung auf die Positioniermaschine einregelt.

Patentansprüche

1. Messgerät zur Überprüfung positionierender Maschinen auf geometrische Fehler zwischen zwei Drehgelenken (**2**) mit Lagerkugellkörpern (**10**, **20**), die über ein teleskopierbares Verbindungselement (**30**)

mechanisch miteinander verbunden sind, und einer Einrichtung (40) zur optischen Längenmessung des Abstandes der Lagerkugellkörper (10, 20) voneinander mit zumindest einer Reflektoreinrichtung (12, 22) und einem Messstrahl (50), wobei die zumindest eine Reflektoreinrichtung (12) in einem ersten der Lagerkugellkörper (10) dergestalt angeordnet ist, dass der Bezugspunkt für die optische Längenmessung mit dem Drehpunkt (11) des Drehgelenkes (2) des ersten Lagerkugellkörpers (10) übereinstimmt, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Messstrahl (50) ein Aktuator (60) zugeordnet ist, um eine Nachführung des Messstrahles (50) für laterale Auslenkungen vorzunehmen, wobei der Drehpunkt der Nachführung in dem Drehpunkt (21) des zweiten Drehgelenkes (2) liegt.

2. Messgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in beiden Lagerkugellkörpern (10, 20) je eine Reflektoreinrichtung (12, 22) dergestalt angeordnet ist, dass die Bezugspunkte für die optische Längenmessung mit den Drehpunkten (11, 21) der beiden Drehgelenke (2) übereinstimmen.

3. Messgerät nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflektoreinrichtung (12, 22) in der Mitte des jeweiligen Lagerkugellkörpers (10, 20) angeordnet ist.

4. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflektoreinrichtung (12, 22) so ausgebildet ist, dass ein einfallender Messstrahl (50) unabhängig von der Orientierung des mit einer Reflektoreinrichtung (12, 22) versehenen Lagerkugellkörpers (10, 20) in die Einfallrichtung des Messstrahles (50) reflektiert wird.

5. Messgerät nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflektoreinrichtung (12, 22) einen hochbrechenden und rückwärtig spiegelnd beschichteten Kugelreflektor oder ein Katzenauge aufweist oder als Tripelreflektor ausgebildet ist.

6. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Messstrahl (50) auf den Kugelmittelpunkt fokussiert ist.

7. Messgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass einer Steuereinrichtung (65) für die Nachführung eine Photodetektoreinheit (55) zugeordnet ist.

8. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Messstrahl (50) eine Einrichtung (70) zur Aufweitung des Messstrahls (50) angeordnet ist.

9. Messgerät nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Messstrahl (50) zu einer Kugellwelle mit dem Mittelpunkt in einem Drehpunkt (21) ei-

nes Drehgelenkes (2) oder als paralleler Messstrahl (50) aufgeweitet ist.

10. Messgerät nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Strahlengang des reflektierten Messstrahls eine positionsempfindliche Detektoreinrichtung (75) angeordnet ist.

11. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das teleskopierbare Verbindungselement (30) zumindest einen der Lagerkugellkörper (20) auf der dem gegenüberliegenden Lagerkugellkörper (10) abgewandten Seite überkragt.

12. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das teleskopierbare Verbindungselement (30) mehrere, parallel zueinander angeordnete Auszüge (32, 32', 34, 34', 36, 36', 38, 38') aufweist.

13. Messgerät nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei parallele Auszüge (32, 32', 34, 34', 36, 36') über eine Scherenkinematik (39) miteinander gekoppelt sind.

14. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungselement (30) eine Dämpfungseinrichtung (84, 86) aufweist.

15. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungselement (30) zumindest einen mehrstufigen Auszug (32, 32', 34, 34', 36, 36', 38, 38') aufweist.

16. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Verbindungselement (30) als Endanschlag eine Feder (85) oder gleichpolig zueinander ausgerichtete Magnete (80) angeordnet sind.

17. Messgerät nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gegengewicht (90) auf der dem feststehenden Drehgelenk (2) abgewandten Seite angeordnet ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

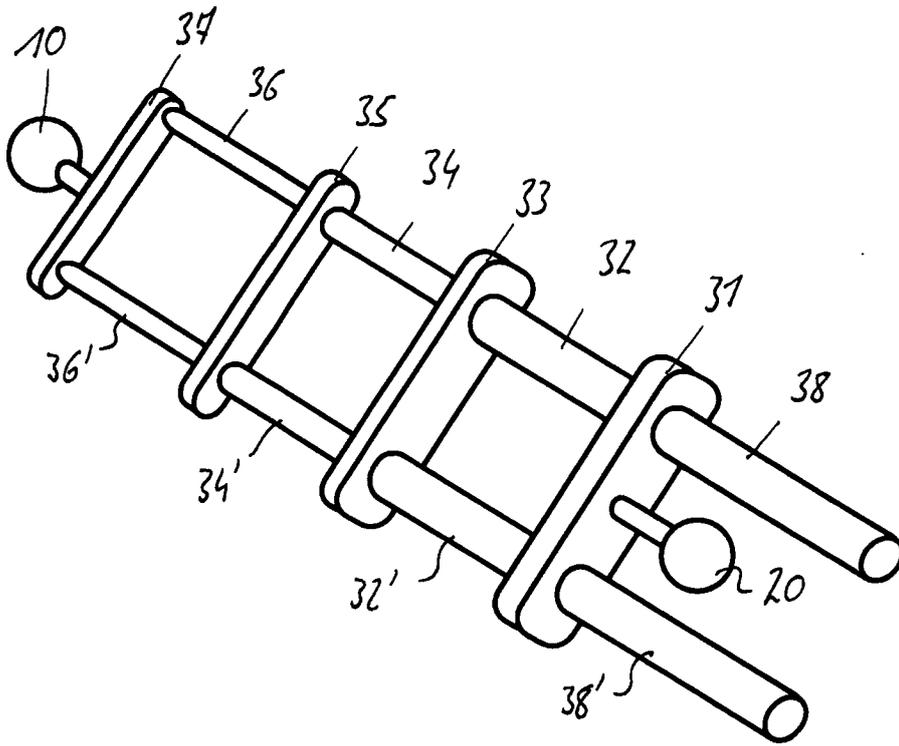


Fig 1a

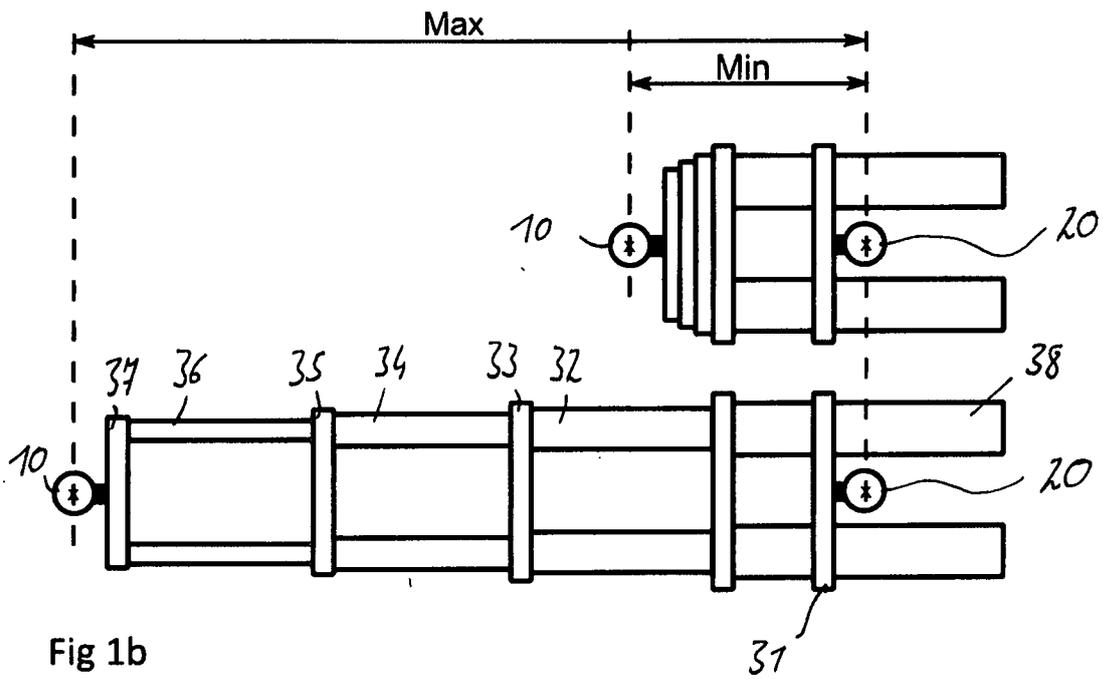


Fig 1b

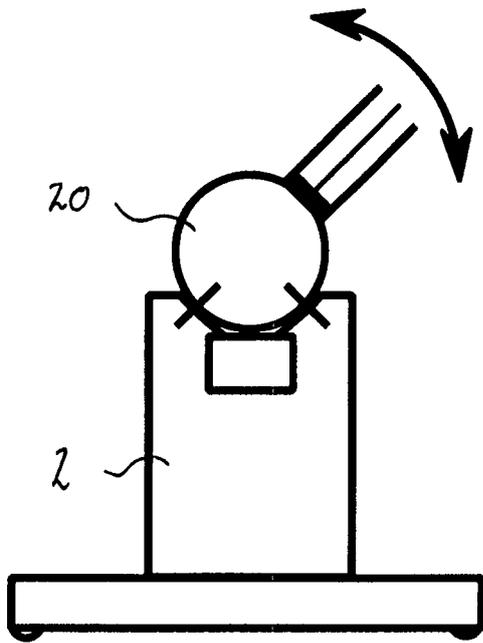


Fig 2a

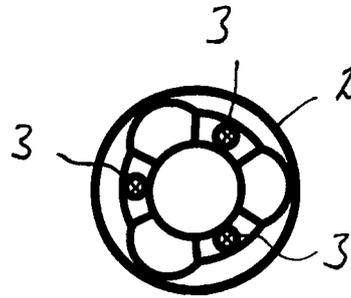


Fig. 2b

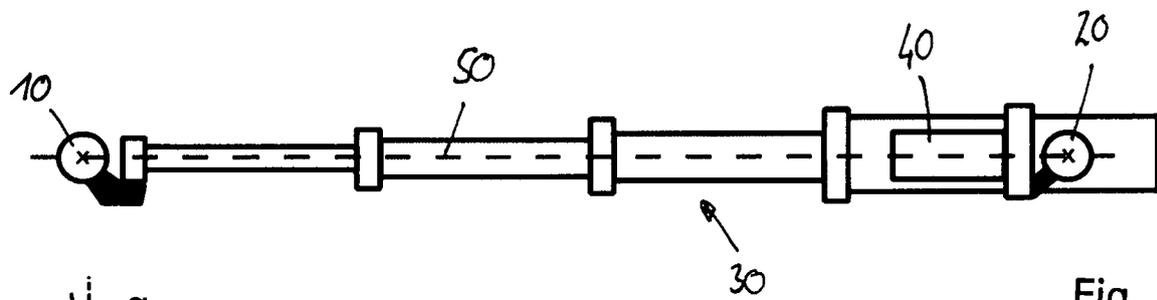


Fig. 3a

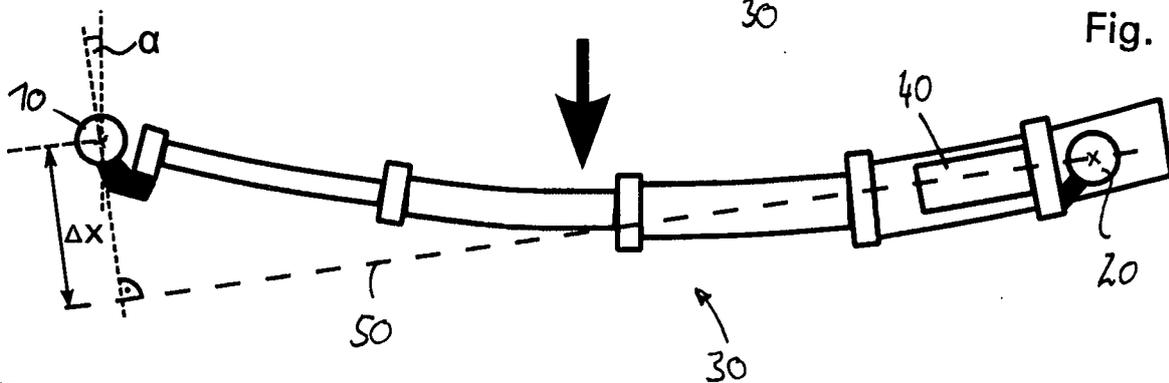


Fig. 3b

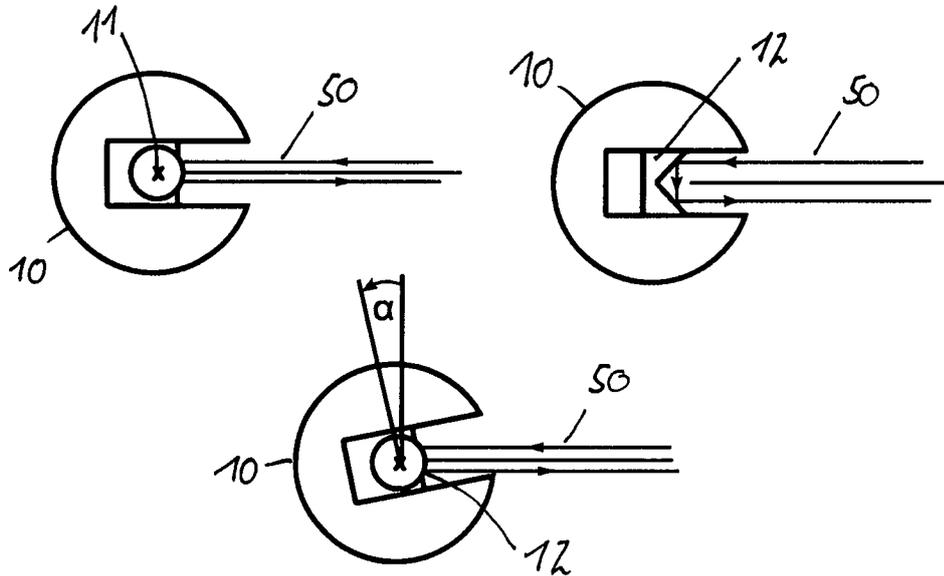


Fig 4a

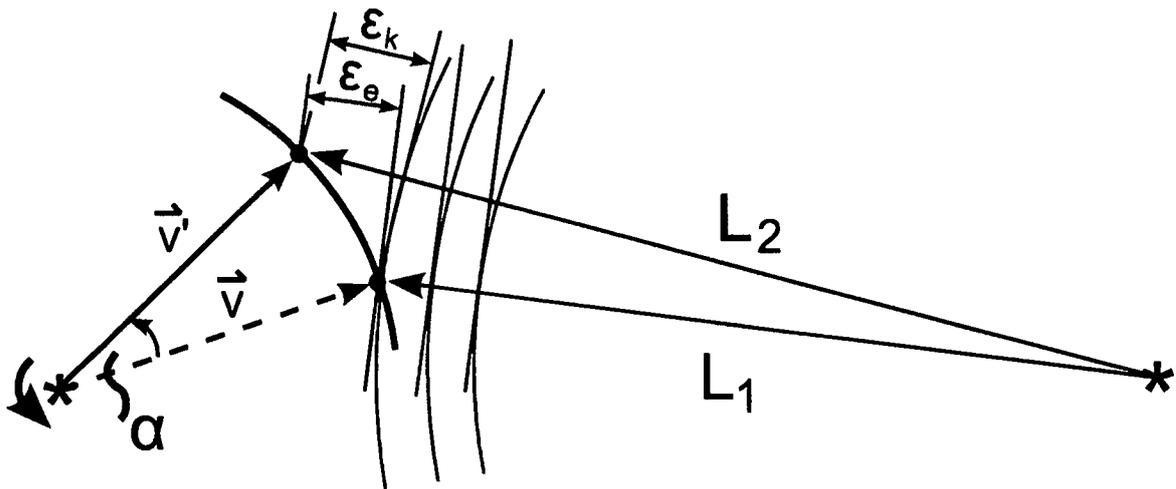


Fig 4b

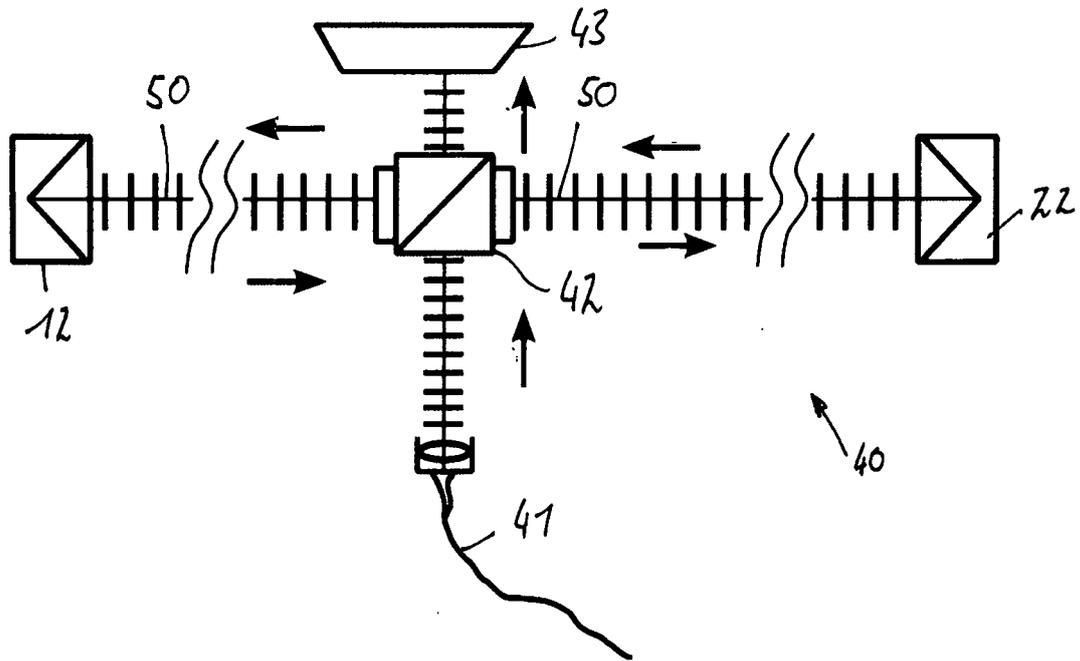


Fig 5

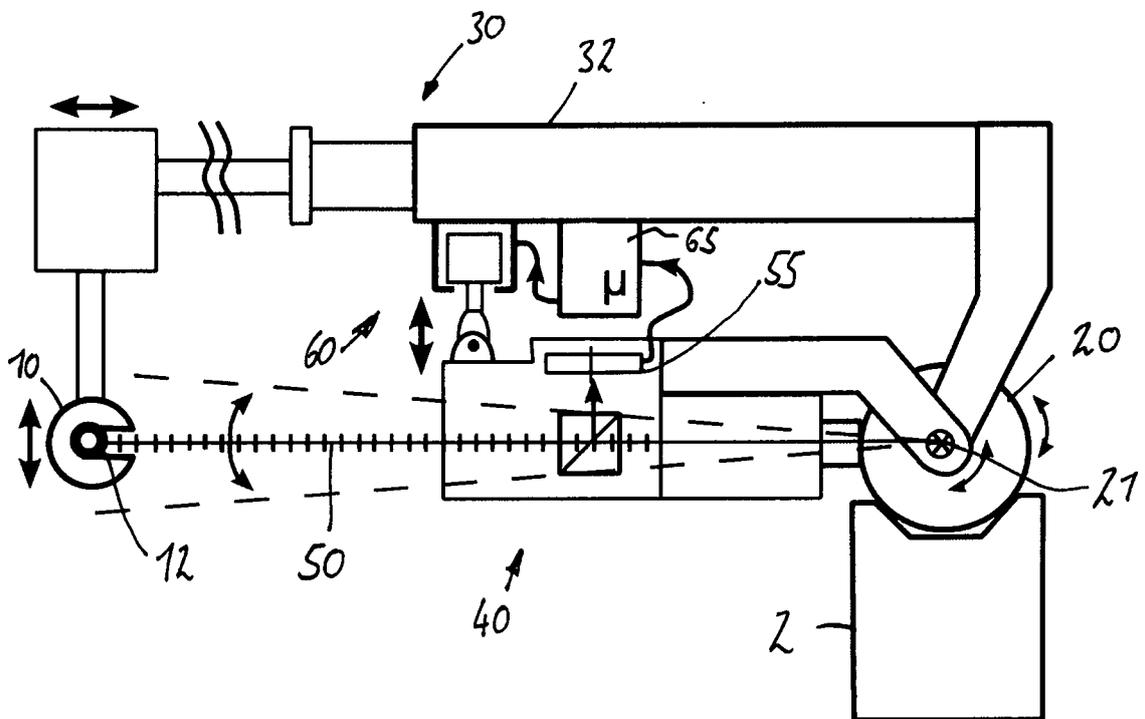
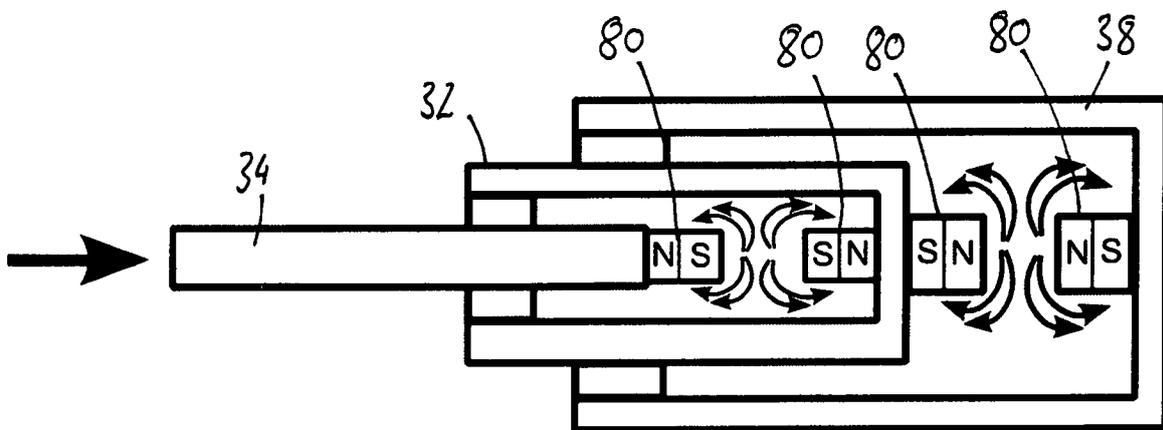
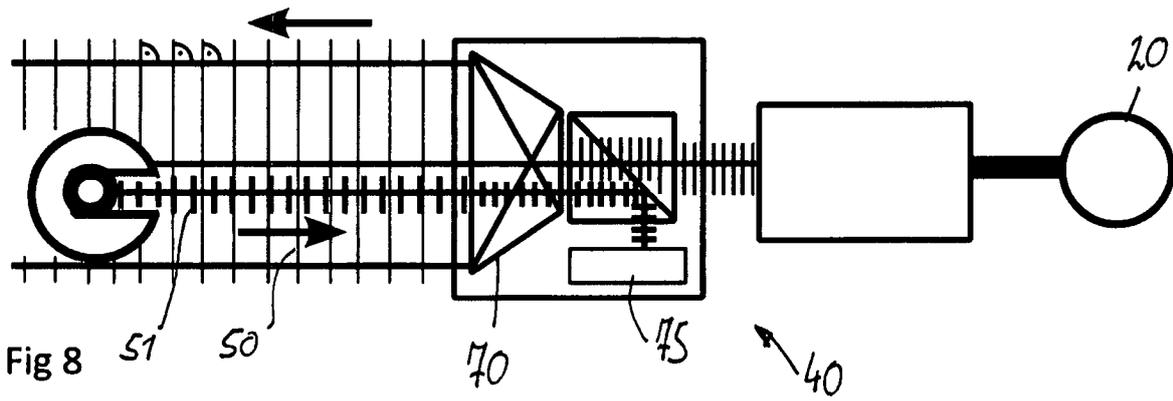
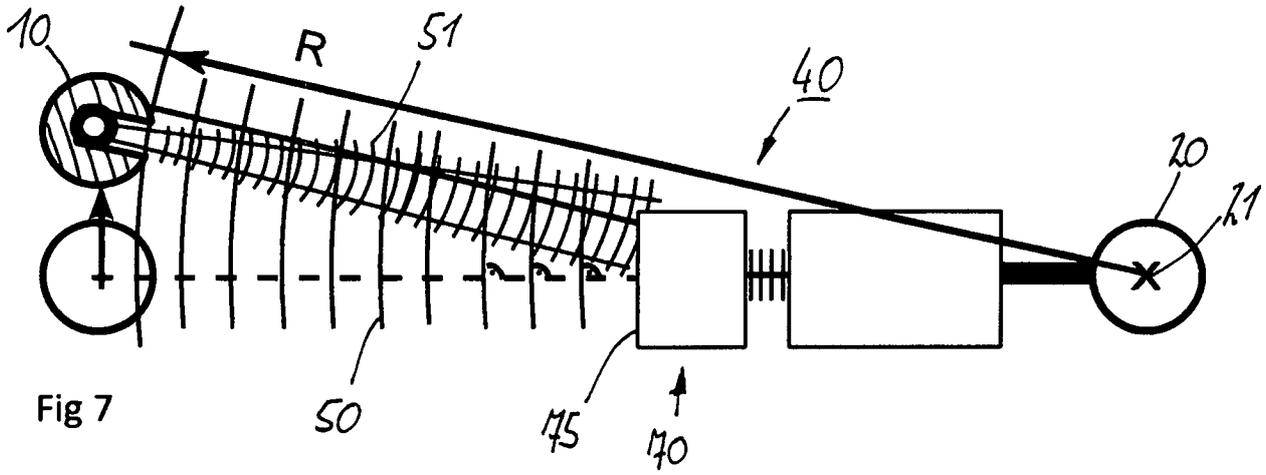


Fig 6



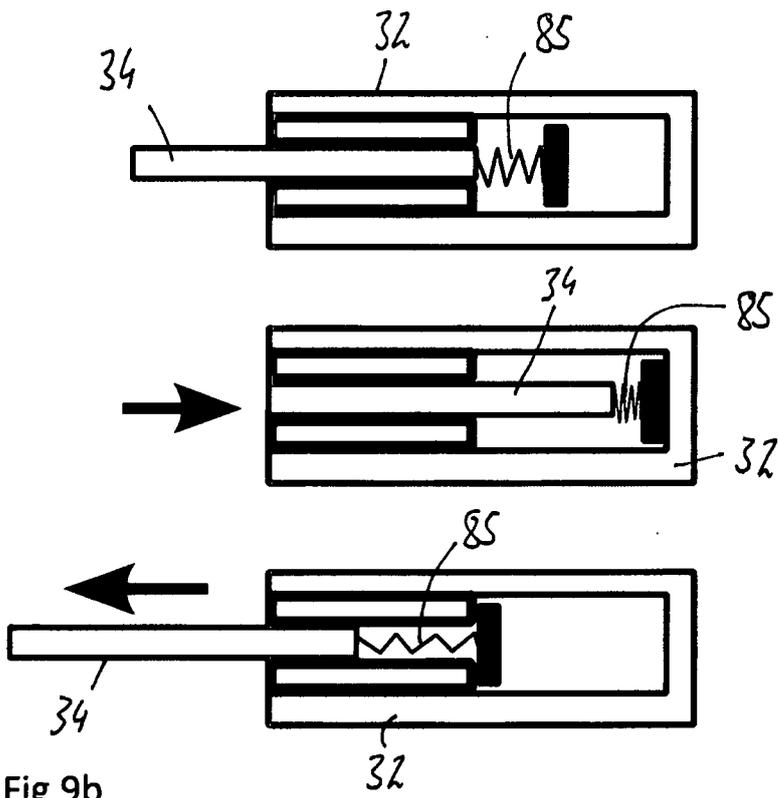


Fig 9b

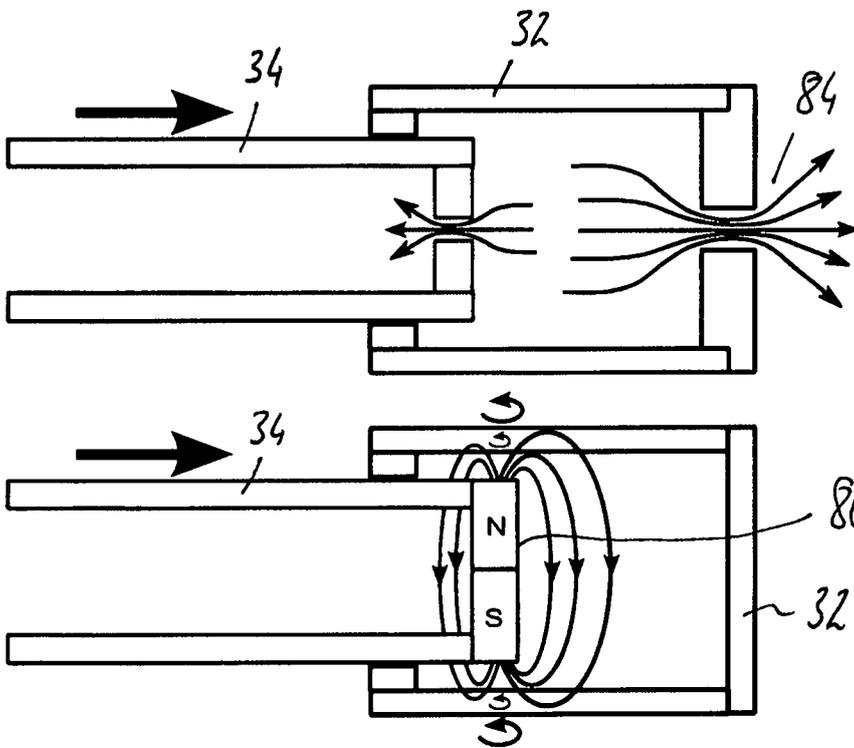


Fig. 10 a,

Fig. 10b

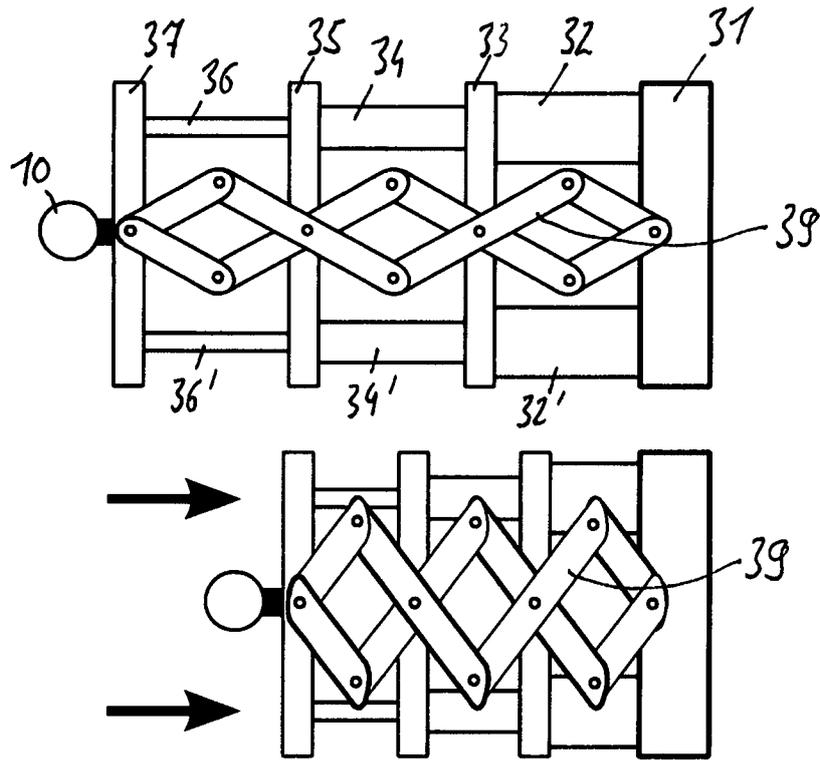


Fig 11

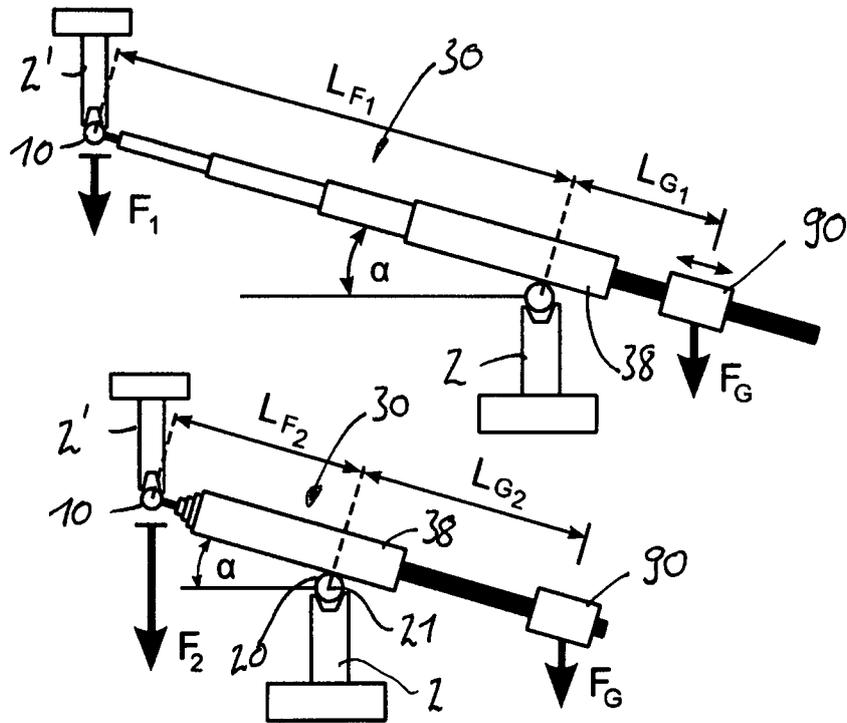


Fig 12