



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 021 839.1**

(22) Anmeldetag: **28.05.2010**

(43) Offenlegungstag: **01.12.2011**

(51) Int Cl.: **G05B 19/401 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Dörries Scharmann Technologie GmbH, 41236,
Mönchengladbach, DE**

(74) Vertreter:
**Gottschald Patentanwaltskanzlei, 40489,
Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

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

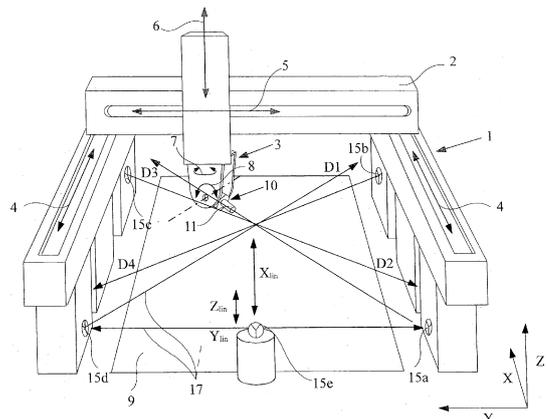
DE	102 60 256	B4
DE	199 47 374	A1
DE	100 29 383	A1
DE	24 41 984	A1
US	69 60 052	B2
US	45 61 776	A1
WO	2009/0 30 585	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Maschinenvermessung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Maschinenvermessung einer NC-Bearbeitungsmaschine, wobei die Bearbeitungsmaschine einen insbesondere als Gabelkopf ausgestalteten Maschinenkopf (3) aufweist, wobei dem Maschinenkopf (3) eine mechanische sowie elektrische Spindel-Wechselschnittstelle (10) zur Aufnahme einer Motorspindel zugeordnet ist, wobei ein Laser-Interferometer (11) mit Strahlerzeuger (12) und Strahldetektor (13) sowie mindestens eine mit dem Laser-Interferometer (11) zusammenwirkende, insbesondere als Reflektor ausgestaltete Meßoptik (15) vorgesehen sind und wobei zur Maschinenvermessung stets auf eine Meßoptik (15) ausgerichtete Laser-Interferenzmessungen, insbesondere Entfernungsmessungen, durchgeführt werden. Es wird vorgeschlagen, dass das Laser-Interferometer (11) eine zu der Spindel-Wechselschnittstelle (10) korrespondierende Schnittstelle (16) aufweist und dass zur Maschinenvermessung das Laser-Interferometer (11) über die Spindel-Wechselschnittstelle (10) gegen die Motorspindel eingewechselt und mittels der Maschinenachsen (4–8) für die Laser-Interferenzmessungen ausgerichtet wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Maschinenvermessung einer NC-Bearbeitungsmaschine gemäß Anspruch 1, ein System zur Maschinenvermessung gemäß Anspruch 9 sowie eine Verwendung des obigen Systems zur Werkstückvermessung gemäß Anspruch 15.

[0002] In den letzten Jahren sind die Genauigkeitsanforderungen an Bearbeitungsmaschinen ständig gestiegen. Vor diesem Hintergrund kommt der Maschinenvermessung heute eine große Bedeutung zu. Dies betrifft sowohl die Maschinenvermessung beim Einrichten der Bearbeitungsmaschine sowie die regelmäßige Überwachung der Maschinengenauigkeit über die gesamte Lebensdauer der Bearbeitungsmaschine.

[0003] Zur Maschinenvermessung sind zahlreiche Verfahren bekannt geworden (Fachbuch „Werkzeugmaschinen – Meßtechnische Untersuchung und Beurteilung“, Manfred Weck, 6. Auflage, 2001, Springer-Verlag, Kapitel 3 „Geometrisches und kinematisches Verhalten von Werkzeugmaschinen“).

[0004] Die bekannten Verfahren beruhen zu einem wesentlichen Teil auf der Nutzung von Laser-Interferometern zur Ermittlung von Positionierabweichungen, Geradheitsabweichungen, Winkelabweichungen o. dgl.

[0005] Das bekannte Verfahren zur Maschinenvermessung (WO 2009/030585 A1), von dem die Erfindung ausgeht, zeigt eine Vertikal-Bearbeitungsmaschine mit einem permanent installierten Laserstrahlerzeuger, dessen Meßstrahl durch die Spindelinheit hindurchläuft. Hierfür ist die Spindel als Hohlspindel ausgebildet, so dass der Meßstrahl zur Maschinenvermessung durch die Spindel hindurchtreten kann.

[0006] Separat von dem einen Strahlerzeuger sind Strahldetektoren vorgesehen, die am Maschinenbett bzw. am Maschinentisch festgelegt sind.

[0007] Sowohl der Strahlerzeuger als auch die Strahldetektoren sind permanent in der Bearbeitungsmaschine installiert. Dies eröffnet grundsätzlich die Möglichkeit einer automatisierten Maschinenvermessung, ohne dass manuell irgendwelche Meßaufbauten eingerichtet werden müssen.

[0008] Das bekannte Verfahren ist für eine dreiaxige Vertikalmaschine vorgesehen, so dass der Meßstrahl stets in der Vertikalen liegt. Um Messungen in der Horizontalen durchzuführen, muss mit einem Umlenkspiegel gearbeitet werden, der über die Werkzeugschnittstelle eingewechselt werden kann. Hier zeigt sich, dass das bekannte Verfahren hinsichtlich der realisierbaren Meßaufgaben beschränkt ist. Bei-

spielsweise lässt sich eine volumetrische Messung mit der üblichen Diagonalmessung nur über zusätzliche Strahldetektoren realisieren. Das führt zu einer kosten- und wartungsintensiven Anordnung.

[0009] Schließlich ist bei dem bekannten Verfahren nachteilig, dass der permanent installierte Laserstrahlerzeuger stets den zuweilen rauen Randbedingungen im Arbeitsraum ausgesetzt ist. Vibrationen, Verschmutzungen und Feuchtigkeit lassen auch hier einen hohen Wartungsaufwand erwarten.

[0010] Es darf der Vollständigkeit halber noch darauf hingewiesen werden, dass zur Maschinenvermessung auch sogenannte „Laser-Tracker“ bekannt sind. Ein solcher Laser-Tracker ist mit einem Laser-Interferometer ausgestattet, der auf einem Träger angeordnet ist. Der Träger weist zur Positionierung des Laser-Interferometers zwei orthogonal zueinander angeordnete NC-Schwenkachsen auf. Durch eine geeignete Sensoranordnung kann das Laser-Interferometer einem Reflektor nachgeführt werden, der in die Werkzeugaufnahme einer Bearbeitungsmaschine eingesetzt ist. Aus den gemessenen Entfernungen und den jeweils eingestellten Schwenkwinkeln lässt sich die absolute Position des Maschinenkopfs der Bearbeitungsmaschine sehr genau bestimmen. Nachteilig insbesondere im Hinblick auf die beiden zusätzlichen NC-Schwenkachsen ist der hohe konstruktive Aufwand.

[0011] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, das bekannte Verfahren derart auszugestalten und weiterzubilden, dass eine hohe Flexibilität in der Maschinenvermessung bei hoher Robustheit und geringen Kosten realisierbar ist.

[0012] Das obige Problem wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst.

[0013] Das vorschlagsgemäße Verfahren ist ausgelegt auf eine NC-Bearbeitungsmaschine mit einem Maschinenkopf, dem eine mechanische sowie elektrische Spindel-Wechselschnittstelle zur Aufnahme einer Motorspindel zugeordnet ist.

[0014] Es ist nun erkannt worden, dass die Nutzung der Spindel-Wechselschnittstelle für die Anbringung des Laser-Interferometers eine Reihe von zum Teil unerwarteten Vorteilen mit sich bringt.

[0015] Vorschlagsgemäß wird das Laser-Interferometer über die ohnehin vorhandene Spindel-Wechselschnittstelle eingewechselt, wenn die Maschinenvermessung durchgeführt werden soll.

[0016] Vorteilhaft bei der Nutzung der Spindel-Wechselschnittstelle für das Einwechseln des Laser-Interferometers ist die Tatsache, dass die Spindel-Wechselschnittstelle nicht nur eine mechanische

Schnittstelle, sondern auch eine elektrische Schnittstelle ist. Damit kann der elektrische Teil der Schnittstelle vorzugsweise auch für das Laser-Interferometer Anwendung finden.

[0017] Mit dem Einwechseln des Laser-Interferometers über die Spindel-Wechselschnittstelle lassen sich alle Bewegungs-Freiheitsgrade der Bearbeitungsmaschine zum Ausrichten des Laser-Interferometers für die Laser-Interferenzmessungen nutzen. Der Begriff "Ausrichten des Laser-Interferometers" steht dabei für das Ausrichten des Meßstrahls des Laser-Interferometers. In besonders bevorzugter Ausgestaltung umfaßt das Ausrichten in obigem Sinne nicht nur eine Parallelverschiebung des Meßstrahls, sondern auch eine Änderung der Winkellage des Meßstrahls im Raum (Anspruch 2).

[0018] Insbesondere geht mit der vorschlagsgemäßen Anordnung des Laser-Interferometers die Möglichkeit einher, das Laser-Interferometer – jedenfalls auch – mit einer NC-Schwenkachse oder mit zwei oder mehreren NC-Schwenkachsen des Maschinenkopfes in obigem Sinne auszurichten (Anspruch 3). Interessant hierbei ist die Tatsache, dass mit der Nutzung solcher NC-Schwenkachsen auf Umlenkspiegel ganz verzichtet werden kann.

[0019] Die vorschlagsgemäße Lösung ermöglicht die Durchführung einer nahezu unbegrenzten Anzahl von Meßaufgaben bei einfachem und damit robustem Aufbau durch die Doppelnutzung bereits vorhandener Komponenten wie der Spindel-Wechselschnittstelle und der natürlich der Maschinenachsen.

[0020] Eine mit dem vorschlagsgemäßen Verfahren durchführbare Meßaufgabe ist Gegenstand von Anspruch 5. Sie umfaßt eine volumetrische Messung basierend auf der Vermessung von Raumdiagonalen gemäß ISO 230-6.

[0021] Eine andere vorteilhafte Meßaufgabe ist Gegenstand von Anspruch 6. Hier arbeitet die Bearbeitungsmaschine gewissermaßen nach Art eines Laser-Trackers, wobei die Ausrichtung des Laser-Interferometers auf eine Meßoptik, hier insbesondere auf einen Reflektor, sensorbasiert nachgeregelt wird. Besonders vorteilhaft ist hier die Tatsache, dass die ohnehin vorhandenen Maschinenachsen für die fortlaufende Ausrichtung des Laser-Interferometers genutzt werden. Diese erneute Doppelnutzung von Komponenten führt selbstredend zu einer besonders hohen Kosteneffizienz.

[0022] Die weiter bevorzugten Ausführungsbeispiele gemäß den Ansprüchen 7 und 8 betreffen die Ausstattung der Bearbeitungsmaschine mit einer Parkstation, so dass das Einwechseln des Laser-Interferometers automatisiert nach Art eines Spindelwechsels erfolgen kann. Damit ist grundsätzlich eine voll-

automatische Durchführung der Maschinenvermessung möglich.

[0023] Nach einer weiteren Lehre gemäß Anspruch 9, der eigenständige Bedeutung zukommt, wird ein System zur Maschinenvermessung einer NC-Bearbeitungsmaschine beansprucht.

[0024] Bei dem vorschlagsgemäßen System handelt es sich um eine obige Bearbeitungsmaschine, in dessen Spindel-Wechselschnittstelle das Laser-Interferometer wie oben erläutert eingewechselt ist. Letztlich handelt es sich hierbei um eine Bearbeitungsmaschine, die durch das Einwechseln des Laser-Interferometers und die Umsetzung des obigen, vorschlagsgemäßen Verfahrens in eine Meßmaschine umgewandelt worden ist.

[0025] Auf alle Ausführungen zu dem obigen, vorschlagsgemäßen Verfahren, die geeignet sind, das vorschlagsgemäße System zu beschreiben, darf in vollem Umfange verwiesen werden.

[0026] Nach einer weiteren Lehre gemäß Anspruch 15, der ebenfalls eigenständige Bedeutung zukommt, wird die Verwendung des obigen, vorschlagsgemäßen Systems zur Werkstückvermessung beansprucht.

[0027] Wesentlich ist hier die Erkenntnis, dass die Bearbeitungsmaschine mit dem in die Spindel-Wechselschnittstelle eingewechselten Laser-Interferometer genutzt werden kann, um die Geometrie von unbearbeiteten oder schon bearbeiteten Werkstücken zu vermessen. Hierfür ist es erforderlich, die mindestens eine Meßoptik, hier insbesondere den mindestens einen Reflektor, an den relevanten Stellen am Werkstück zu positionieren. Hierdurch wird eine besonders weitreichende Doppelnutzung von Komponenten, insbesondere des Laser-Interferometers sowie der Maschinenachsen erreicht, was im Ergebnis zu einer ganz besonders kosteneffektiven Anordnung führt.

[0028] Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich Ausführungsbeispiele darstellenden Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt

[0029] [Fig. 1](#) eine fünfachsigige Bearbeitungsmaschine in Gantry-Bauweise zur Durchführung eines vorschlagsgemäßen Verfahrens mit schematisch dargestellten Meßrichtungen für die Linear- und Diagonalmessung,

[0030] [Fig. 2](#) die Bearbeitungsmaschine gemäß [Fig. 1](#) mit schematischer Darstellung von Meßpositionen für eine Tracker-Messung,

[0031] [Fig. 3](#) die Bearbeitungsmaschine gemäß [Fig. 1](#) bei der Werkstückvermessung und

[0032] [Fig. 4](#) das Laser-Interferometer eines vorschlagsgemäßen Systems zur Maschinenvermessung in einer ganz schematischen Darstellung.

[0033] Die in der Zeichnung dargestellte Bearbeitungsmaschine ist so konfiguriert, dass sie als solche ein System zur Maschinenvermessung bildet.

[0034] Von ihrem grundsätzlichen Aufbau her ist die Bearbeitungsmaschine eine fünfschichtige Vertikalmaschine in Gantry-Bauweise. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die Bearbeitungsmaschine ein stationäres Portal **1** und einen verfahrbaren Querträger **2** auf. Grundsätzlich sind zahlreiche andere Bauweisen von Werkzeugmaschinen für die Umsetzung des vorschlagsgemäßen Verfahrens anwendbar.

[0035] Die Bearbeitungsmaschine ist als NC-Bearbeitungsmaschine ausgestaltet. Entsprechend verfügt sie über eine NC-Steuerung, die mit entsprechenden Wegaufnehmern an den jeweiligen Achsen zusammenwirkt.

[0036] Für die Realisierung einer fünfschichtigen Bewegung weist die Bearbeitungsmaschine drei NC-Linienachsen **4**, **5**, **6** sowie zwei NC-Schwenkachsen **7**, **8** auf. Dabei sind die zwei, hier orthogonal zueinander angeordneten NC-Schwenkachsen **7**, **8** dem Maschinenkopf **3** zugeordnet, der hier und vorzugsweise als Gabelkopf ausgestaltet ist.

[0037] Ferner ist in der Zeichnung ein feststehender Maschinentisch **9** dargestellt. Denkbar ist auch, dass der Maschinentisch **9** motorisch verstellbar ist und einen Teil der linearen Verfahrbarkeit oder der Schwenkbarkeit bereitstellt.

[0038] Der Maschinenkopf **3** ist mit einer mechanischen sowie elektrischen, in der Zeichnung lediglich angedeuteten Spindel-Wechselschnittstelle **10** zur Aufnahme einer nicht dargestellten Motorspindel ausgestattet, was vorliegend von besonderer Bedeutung ist. Dies wird weiter unten erläutert.

[0039] Zur Maschinenvermessung ist ein Laser-Interferometer **11** mit Strahlerzeuger **12** und Strahldetektor **13** vorgesehen. Solche Laser-Interferometer sind grundsätzlich bekannt. Mit ihnen lassen sich Entfernungsänderungen sehr genau erfassen. Das Prinzip dieser Entfernungsmessung basiert stets auf der Interferenz eines am Meßobjekt reflektierten Meßstrahls mit einem Referenz-Meßstrahl. Die bekannteste Umsetzung eines solchen Laser-Interferometers ist das Michelson-Interferometer, bei dem am Meßobjekt ein sogenannter Retro-Reflektor angeordnet ist. Dieser Retro-Reflektor sorgt dafür, dass ausgesendeter und reflektierter Strahl zueinander parallel versetzt sind und erst im Interferometer über eine Optik zur Interferenz gebracht werden. Denkbar ist

aber auch, dass der Meßstrahl am Meßobjekt in sich selbst reflektiert wird.

[0040] Die vorschlagsgemäße Lösung ist mit allen Arten von Laser-Interferometern umsetzbar. Hier und vorzugsweise sind der Strahlerzeuger **12** und der Strahldetektor **13** in einem gemeinsamen Gehäuse **14** untergebracht, das weiter vorzugsweise im Wesentlichen identisch zu dem Gehäuse der Motorspindel ausgebildet ist.

[0041] Zur Maschinenvermessung mittels des Laser-Interferometers **11** sind eine Reihe von Meßoptiken **15**, hier Reflektoren **15** vorgesehen. Je nach Meßaufgabe kann eine unterschiedliche Anzahl und Anordnung von Reflektoren **15** vorgesehen sein.

[0042] Bei der in [Fig. 1](#) dargestellten Konfiguration sind insgesamt fünf Reflektoren **15a–15e** vorgesehen, die am Rande des Arbeitsraums der Bearbeitungsmaschine angeordnet sind.

[0043] Bei dem in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Meßaufgabe so getroffen, dass auf den Reflektor **15e** verzichtet werden kann.

[0044] Für den Fall einer automatisierten Maschinenvermessung ist es vorteilhafterweise vorgesehen, dass die Reflektoren **15** fest an der Bearbeitungsmaschine angeordnet sind. Gegebenenfalls ist dann eine Abdeckung oder dergleichen für den jeweiligen Reflektor **15** vorzusehen, die für die Maschinenvermessung entsprechend zu entfernen ist.

[0045] Interessant ist nun, dass das Laser-Interferometer **11** eine zu der Spindel-Wechselschnittstelle **10** korrespondierende, in der Zeichnung ebenfalls nur angedeutete Schnittstelle **16** aufweist, wobei in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) das Laser-Interferometer **11** über die Spindel-Wechselschnittstelle **10** bereits gegen die Motorspindel eingewechselt ist und mittels der Maschinenachsen **4–8** für die Laser-Interferenzmessungen ausrichtbar ist.

[0046] Das Ausrichten des Laser-Interferometers **11** in obigem Sinne umfaßt dabei vorzugsweise nicht nur Parallelverschiebungen des Meßstrahls, sondern auch Änderungen der Winkellage des Meßstrahls im Raum, wie im allgemeinen Teil der Beschreibung erläutert wurde.

[0047] Ein Blick auf die Zeichnung verrät, dass aufgrund der Fünfschichtigkeit und insbesondere der Ausgestaltung des Maschinenkopfs **3** mit zwei NC-Schwenkachsen **7**, **8** neue Freiheitsgrade für die Umsetzung von Meßaufgaben entstehen. Dies wurde im allgemeinen Teil der Beschreibung erläutert.

[0048] Ähnliche Vorteile lassen sich erreichen, wenn der Maschinenkopf **3** nur eine einzige NC-Schwen-

kachse **7, 8** aufweist, die vorzugsweise mittels eines Gabelkopfes realisiert ist. Dabei ist die Schwenkachse **7, 8** vorzugsweise so ausgelegt, dass durch ihre Ansteuerung ein Ausrichten des Laser-Interferometers **11** in obigem Sinne möglich ist.

[0049] Grundsätzlich lässt sich das vorschlagsgemäße Verfahren aber auch vorteilhaft auf eine Bearbeitungsmaschine anwenden, die im Maschinenkopf **3** keine NC-Schwenkachse aufweist.

[0050] Um die weiter oben angesprochenen Freiheitsgrade bei der Auslegung der Meßaufgaben auch bei den beiden letztgenannten Ausgestaltungen zu erreichen, ist es vorzugsweise vorgesehen, dass die mindestens eine Meßoptik **15** an einem Maschinentisch angeordnet ist bzw. sind, der in einer Schwenkachse oder in zwei Schwenkachsen schwenkbar ist.

[0051] Wesentlich für das vorschlagsgemäße Verfahren ist nun die Tatsache, dass zur Maschinenvermessung das Laser-Interferometer **11** über die Spindel-Wechselschnittstelle **10** gegen die Motorspindel eingewechselt und mittels der Maschinenachsen **4–8** für die Laser-Interferenzmessungen ausgerichtet wird. Das Einwechseln des Laser-Interferometers **11** erfolgt vorzugsweise automatisiert nach Art eines Spindelwechsels, wie ebenfalls noch erläutert wird. Grundsätzlich kann das Einwechseln des Laser-Interferometers **11** aber auch manuell erfolgen.

[0052] Im Zuge der Maschinenvermessung werden hier ganz allgemein Korrekturparameter ermittelt, die dem Positioniersystem der Bearbeitungsmaschine zugeführt werden. Dies kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen. Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist es so, dass die Korrekturparameter maschinenachswise ermittelt werden und in den Meßwert des der jeweiligen Maschinenachse zugeordneten Wegaufnehmers eingemischt werden. Denkbar ist aber auch, dass die Korrekturparameter der Maschinensteuerung zugeführt und dort entsprechend im Zuge der Bahnplanung oder dergleichen berücksichtigt werden.

[0053] [Fig. 1](#) zeigt schematisch die Durchführung einer Meßaufgabe, die Diagonalmessungen nach ISO 230-6 umfaßt. Hier wird davon ausgegangen, dass die Bearbeitungsmaschine drei lineare, orthogonal zueinander angeordnete Maschinenachsen **4, 5, 6** aufweist, was bei der dargestellten Bearbeitungsmaschine offensichtlich der Fall ist. Wesentlich ist nun, dass zur Maschinenvermessung in vorbestimmter Weise ein Teil der Laser-Interferenzmessungen im Arbeitsraum entlang der drei linearen Achsen **4, 5, 6** und ein Teil der Laser-Interferenzmessungen diagonal durch den Arbeitsraum vorgenommen werden.

[0054] Im Einzelnen ist es zunächst einmal vorgesehen, dass das Laser-Interferometer **11** auf einen der

Reflektoren **15** ausgerichtet wird und anschließend unter Beibehaltung dieser Ausrichtung eine lineare Meßbahn **17** abfährt. Dabei ist die Meßbahn so vorgegeben, insbesondere programmiert, dass die Ausrichtung des Laser-Interferometers **11** auf den einen Reflektor **15** unverändert bleibt, ohne dass es einer sensorgestützten Nachführung bedarf.

[0055] Je nach Detailausgestaltung kann es vorgesehen sein, dass das Fahren auf der Meßbahn **17** zur Entfernungsmessung mindestens einmal, vorzugsweise zyklisch, angehalten wird. Denkbar ist aber auch, dass die Entfernungsmessungen dynamisch, also während des Abfahrens der Meßbahn **17** erfolgen. Die Korrekturparameter lassen sich hier aus den NC-Positionswerten und den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten ermitteln. Mit „NC-Positionswert“ ist jeweils der Positionswert gemeint, der in der NC-Steuerung als Basis für die Ansteuerung der jeweiligen Maschinenachse **4–8** vorliegt.

[0056] Es ergibt sich aus der Darstellung gemäß [Fig. 1](#), dass jedenfalls drei Meßbahnen **17** entlang der drei linearen Achsen **4, 5, 6** und vier diagonale Meßbahnen **17** (D1–D4) vorgesehen sind.

[0057] [Fig. 2](#) zeigt schematisch die Durchführung einer weiteren Meßaufgabe. Bei dieser weiteren Meßaufgabe wird der Maschinenkopf **3** auf eine Anzahl vorbestimmter Positionen im Arbeitsraum positioniert, die in [Fig. 2](#) durch ein mit Strichlinien dargestelltes Volumen angedeutet sind.

[0058] Als Bezugspunkt dient hier vorzugsweise der Werkzeugbezugspunkt. Wesentlich ist hier, dass ein nicht dargestellter Sensor zur Erfassung der Abweichung in der Ausrichtung des Laser-Interferometers **11** auf die jeweilige Meßoptik **15**, hier auf den jeweiligen Reflektor **15**, vorgesehen ist. Solche Sensoren sind aus dem Bereich der Laser-Tracker bekannt geworden. Vorteilhafterweise findet hier ein optischer Positionssensor (PSD, Position Sensitive Detector) Anwendung, mit dem die zweidimensionale Position eines Lichtpunktes auf einem Sensorplättchen ermittelbar ist.

[0059] Vorschlagsgemäß ist es nun so, dass die Ausrichtung des Laser-Interferometers **11** basierend auf den Sensor-Meßwerten mittels der Maschinenachsen **4–8** jeweils nachgeregelt wird. Während der Positionierung des Maschinenkopfes **3** wird die Konfiguration der Maschinenachsen **4–8** also derart nachgeregelt, dass das Laser-Interferometer **11** auf den jeweiligen Reflektor **15** ausgerichtet bleibt. Die Korrekturparameter lassen sich dann aus den NC-Positionswerten und den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten und/oder aus dem Nachregelvorgang ermitteln.

[0060] Es wurde schon darauf hingewiesen, dass eine automatisierte Maschinenvermessung mit dem vorschlagsgemäßen Verfahren ohne weiteres möglich ist. In besonders bevorzugter Ausgestaltung ist hierfür eine nicht dargestellte Parkstation vorgesehen, wobei das Laser-Interferometer **11** vor der Maschinenvermessung aus der Parkstation entnommen und in den Maschinenkopf **3** eingewechselt wird und wobei das Laser-Interferometer **11** nach Abschluss der Maschinenvermessung zurück in die Parkstation eingesetzt wird. In besonders bevorzugter Ausgestaltung erfolgt das Einwechseln automatisiert nach Art eines Spindelwechsels.

[0061] Es versteht sich, dass vor dem Einwechseln des Laser-Interferometers **11** die Motorspindel ausgewechselt werden muss. Hierfür ist vorzugsweise eine zweite, zu der Motorspindel korrespondierende Parkstation vorgesehen. Angesichts der Tatsache, dass die Motorspindel und das Laser-Interferometer **11** vorzugsweise zumindest in Teilen identische Schnittstellen aufweisen, können beide Parkstationen sogar identisch ausgestaltet sein.

[0062] In besonders bevorzugter Ausgestaltung weist die Parkstation eine elektrische und mechanische Wechselschnittstelle für das Laser-Interferometer **11** auf. Vorzugsweise ist es dabei so, dass vor Beginn der Maschinenvermessung das noch in der Parkstation befindliche Laser-Interferometer **11** über den elektrischen Teil der Wechselschnittstelle vorgeheizt wird. Damit kann das Vorheizen des Laser-Interferometers **11** beispielsweise schon zu einem Zeitpunkt erfolgen, in dem noch ein Bearbeitungsauftrag von der Bearbeitungsmaschine abgearbeitet wird.

[0063] Nach einer weiteren Lehre, der ebenfalls eigenständige Bedeutung zukommt, wird ein System zur Maschinenvermessung beansprucht. Wesentlich dabei ist, dass ein Laser-Interferometer **11** in obiger Weise in die Spindel-Wechselschnittstelle **10** eingesetzt und mittels der Maschinenachsen **4–8** für die Laser-Interferenzmessungen ausrichtbar ist. Insofern darf zunächst auf die obigen Erläuterungen zu dem vorschlagsgemäßen Verfahren verwiesen werden.

[0064] Es hat sich als besonders vorteilhaft herausgestellt, dass die Bearbeitungsmaschine in Gantry-Bauart ausgeführt ist, wobei das Laser-Interferometer **11** zur Maschinenvermessung mittels der mindestens fünf Maschinenachsen **4–8** ausrichtbar ist. Grundsätzlich können hier aber auch andere Maschinenarten Anwendung finden.

[0065] Interessant ist vorliegend auch die Ausgestaltung der Spindel-Wechselschnittstelle **10** bzw. der dazu korrespondierenden Schnittstellen **16** der Motorspindel und des Laser-Interferometers **11**. Vorschlagsgemäß ist es vorgesehen, dass der elektri-

sche Teil der Spindel-Wechselschnittstelle **10**, der zur elektrischen Versorgung und/oder Ansteuerung und/oder Überwachung der Motorspindel dient, während der Maschinenvermessung, also bei eingewechseltem Laser-Interferometer **11**, zur elektrischen Versorgung und/oder Ansteuerung und/oder Überwachung des Laser-Interferometers **11** dient. Der elektrische Teil der Spindel-Wechselschnittstelle **10** wird entsprechend doppelt genutzt, was unter Kostengesichtspunkten besonders vorteilhaft ist.

[0066] Ähnliches gilt für den mechanischen Teil der Spindel-Wechselschnittstelle **10**. Dabei ist der mechanische Teil der Spindel-Wechselschnittstelle **10**, der zur mechanischen Fixierung der Motorspindel dient, während der Maschinenvermessung, also bei eingewechseltem Laser-Interferometer **11**, zur mechanischen Fixierung des Laser-Interferometers **11** vorgesehen. Entsprechend wird auch der mechanische Teil der Spindel-Wechselschnittstelle **10** vorteilhafterweise doppelt genutzt.

[0067] **Fig. 4** zeigt die Ausrichtung des Meßstrahls des Laser-Interferometers **11** auf die geometrische Spindelachse **18**, die in **Fig. 4** ebenfalls angedeutet ist. Grundsätzlich ist es aber auch denkbar, dass der Meßstrahl senkrecht zu der geometrischen Spindelachse **18** ausgerichtet ist. Bei der dargestellten Vertikal-Bearbeitungsmaschine ist die letztgenannte Variante vorteilhaft, da die in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten Meßaufgaben in Achs-Konfigurationen erfolgen können, in denen die NC-Schwenkachsen **7**, **8** nur geringfügig aus ihrer Mittelstellung heraus ausgelenkt werden müssen.

[0068] Nach einer weiteren Lehre, der ebenfalls eigenständige Bedeutung zukommt, wird die Verwendung des oben beschriebenen Systems für die Werkstückvermessung beansprucht. Es ist erkannt worden, dass die Bearbeitungsmaschine selbst mit einfachen Maßnahmen als Meßmaschine für die Werkstückvermessung genutzt werden kann.

[0069] Wesentlich nach dieser weiteren Lehre ist, dass mindestens eine Meßoptik **19**, hier mindestens ein Reflektor **19**, am Werkstück **20** positioniert wird, wobei zur Werkstückvermessung stets auf eine Meßoptik **19** ausgerichtete Laser-Interferenzmessungen, insbesondere Entfernungsmessungen, durchgeführt werden und wobei zur Werkstückvermessung das Laser-Interferometer **11** über die Spindel-Wechselschnittstelle **10** gegen die Motorspindel eingewechselt wird und mittels der Maschinenachsen **4–8** für die Laser-Interferenzmessungen ausgerichtet wird (**Fig. 3**). Die interessierenden geometrischen Werkstückdaten lassen sich aus den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten sowie aus den NC-Positionswerten ableiten.

[0070] In besonders bevorzugter Ausgestaltung arbeitet die Bearbeitungsmaschine bei der Werkstückvermessung nach Art eines Laser-Trackers. Entsprechend ist es auch hier zunächst vorgesehen, dass der Maschinenkopf **3** auf eine Anzahl vorbestimmter Positionen im Arbeitsraum positioniert wird.

[0071] Ferner ist auch hier ein weiter oben beschriebener Sensor zur Erfassung der Abweichung in der Ausrichtung des Laser-Interferometers **11** auf die jeweilige Meßoptik **19**, hier auf den jeweiligen Reflektor **19**, am Werkstück **20** vorgesehen, wobei die Ausrichtung des Laser-Interferometers **11** basierend auf den Sensormeßwerten mittels der Maschinenachsen **4–8** jeweils nachgeregelt wird. Die Werkstückparameter lassen sich dann vorzugsweise aus den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten sowie aus den NC-Positionswerten und/oder aus dem Nachregelvorgang ermitteln.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2009/030585 A1 [\[0005\]](#)

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Fachbuch „Werkzeugmaschinen – Meßtechnische Untersuchung und Beurteilung“, Manfred Weck, 6. Auflage, 2001, Springer-Verlag, Kapitel 3 „Geometrisches und kinematisches Verhalten von Werkzeugmaschinen“ [\[0003\]](#)
- ISO 230-6 [\[0020\]](#)
- ISO 230-6 [\[0053\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Maschinenvermessung einer NC-Bearbeitungsmaschine, wobei die Bearbeitungsmaschine einen insbesondere als Gabelkopf ausgestalteten Maschinenkopf (3) aufweist, wobei dem Maschinenkopf (3) eine mechanische sowie elektrische Spindel-Wechselschnittstelle (10) zur Aufnahme einer Motorspindel zugeordnet ist, wobei ein Laser-Interferometer (11) mit Strahlerzeuger (12) und Strahldetektor (13) sowie mindestens eine mit dem Laser-Interferometer (11) zusammenwirkende, insbesondere als Reflektor ausgestaltete Meßoptik (15) vorgesehen sind und wobei zur Maschinenvermessung stets auf eine Meßoptik (15) ausgerichtete Laser-Interferenzmessungen, insbesondere Entfernungsmessungen, durchgeführt werden, wobei das Laser-Interferometer (11) eine zu der Spindel-Wechselschnittstelle (10) korrespondierende Schnittstelle (16) aufweist und wobei zur Maschinenvermessung das Laser-Interferometer (11) über die Spindel-Wechselschnittstelle (10) gegen die Motorspindel eingewechselt und mittels der Maschinenachsen (4-8) für die Laser-Interferenzmessungen ausgerichtet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ausrichten des Laser-Interferometers (11) mittels der Maschinenachsen (4-8) jedenfalls auch die Winkellage des dem Laser-Interferometer (11) zugeordneten Meßstrahls im Raum eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Maschinenkopf (3) mindestens eine NC-Schwenkachse (7, 8) aufweist, die zur Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) angesteuert wird, oder, dass der Maschinenkopf (3) zwei insbesondere orthogonal zueinander angeordnete NC-Schwenkachsen (7, 8) aufweist, die zur Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) angesteuert werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Zuge der Maschinenvermessung Korrekturparameter ermittelt werden, die dem Positioniersystem der Bearbeitungsmaschine zugeführt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungsmaschine drei lineare, orthogonal zueinander angeordnete Maschinenachsen (4-6) aufweist und dass zur Maschinenvermessung in vorbestimmter Weise ein Teil der Laser-Interferenzmessungen im Arbeitsraum entlang der drei linearen Achsen (4-6) und ein Teil der Laser-Interferenzmessungen diagonal durch den Arbeitsraum vorgenommen werden, vorzugsweise, dass die Korrekturparameter aus den NC-Positionswerten und den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten ermittelt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Maschinenvermessung der Maschinenkopf (3) auf eine Anzahl vorbestimmter Positionen im Arbeitsraum positioniert wird, dass ein Sensor zur Erfassung der Abweichung in der Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) auf die jeweilige Meßoptik (15) vorgesehen ist und dass die Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) basierend auf den Sensormesswerten mittels der Maschinenachsen jeweils nachgeregelt wird, vorzugsweise, dass die Korrekturparameter aus den NC-Positionswerten und den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten und/oder aus dem Nachregelvorgang ermittelt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Parkstation vorgesehen ist und dass das Laser-Interferometer (11) vor der Maschinenvermessung aus der Parkstation entnommen und in den Maschinenkopf (3) eingewechselt wird und dass das Laser-Interferometer (11) nach Abschluss der Maschinenvermessung in die Parkstation eingesetzt wird, vorzugsweise, dass das Einwechseln automatisiert nach Art eines Spindelwechsels erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Parkstation eine elektrische und mechanische Wechselschnittstelle für das Laser-Interferometer (11) aufweist und dass vor Beginn der Maschinenvermessung das noch in der Parkstation befindliche Laser-Interferometer (11) über den elektrischen Teil der Wechselschnittstelle vorgeheizt wird.

9. System zur Maschinenvermessung einer NC-Bearbeitungsmaschine, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bearbeitungsmaschine einen insbesondere als Gabelkopf ausgestalteten Maschinenkopf (3), wobei dem Maschinenkopf (3) eine mechanische sowie elektrische Spindel-Wechselschnittstelle (10) zur Aufnahme einer Motorspindel zugeordnet ist, wobei ein Laser-Interferometer (11) mit Strahlerzeuger (12) und Strahldetektor (13) sowie mindestens eine mit dem Laser-Interferometer (11) zusammenwirkende, insbesondere als Reflektor ausgestaltete Meßoptik (15) vorgesehen sind und wobei zur Maschinenvermessung stets auf eine Meßoptik (15) ausgerichtete Laser-Interferenzmessungen, insbesondere Entfernungsmessungen, durchführbar sind, wobei das Laser-Interferometer (11) eine zu der Spindel-Wechselschnittstelle (10) korrespondierende Schnittstelle aufweist und dass zur Maschinenvermessung das Laser-Interferometer (11) über die Spindel-Wechselschnittstelle (10) gegen die Motorspindel eingewechselt ist und mittels der Maschinenachsen (4-8) für die Laser-Interferenzmessungen ausrichtbar ist.

10. System nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Maschinenkopf (3) mindestens eine NC-Schwenkachse (7, 8) aufweist, die zur Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) ansteuerbar ist, oder, dass der Maschinenkopf (3) zwei insbesondere orthogonal zueinander angeordnete NC-Schwenkachsen (7, 8) aufweist, die zur Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) ansteuerbar sind.

11. System nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungsmaschine mindestens fünfschsig in Gantry-Bauart ausgeführt ist und dass das Laser-Interferometer (11) zur Maschinenvermessung mittels der mindestens fünf Maschinenachsen (4-8) positionierbar ist.

12. System nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Teil der Spindel-Wechselschnittstelle (10), der zur elektrischen Versorgung und/oder Ansteuerung und/oder Überwachung der Motorspindel dient, während der Maschinenvermessung zur elektrischen Versorgung und/oder Ansteuerung und/oder Überwachung des Laser-Interferometers (11) dient.

13. System nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der mechanische Teil der Spindel-Wechselschnittstelle (10), der zur mechanischen Fixierung der Motorspindel dient, während der Maschinenvermessung zur mechanischen Fixierung des Laser-Interferometers (11) dient.

14. System nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Meßstrahl des Laser-Interferometers (11) auf die geometrische Spindelachse (18) ausgerichtet ist, oder, dass der Meßstrahl des Laser-Interferometers (11) senkrecht zu der geometrischen Spindelachse (18) ausgerichtet ist.

15. Verwendung des Systems nach einem der Ansprüche 9 bis 14 zur Werkstückvermessung, wobei die mindestens eine Meßoptik (19), insbesondere der mindestens eine Reflektor (19), am Werkstück (20) positioniert wird, wobei zur Werkstückvermessung stets auf eine Meßoptik (19) ausgerichtete Laser-Interferenzmessungen, insbesondere Entfernungsmessungen, durchgeführt werden und wobei zur Werkstückvermessung das Laser-Interferometer (11) über die Spindel-Wechselschnittstelle (10) gegen die Motorspindel eingewechselt wird und mittels der Maschinenachsen (4-8) für die Laser-Interferenzmessungen positioniert wird.

16. Verwendung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur Werkstückvermessung der Maschinenkopf (3) auf eine Anzahl vorbestimmter Positionen im Arbeitsraum positioniert wird, dass ein Sensor zur Erfassung der Abweichung in der Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) auf die je-

weilige Meßoptik (19) am Werkstück (20) vorgesehen ist und dass die Ausrichtung des Laser-Interferometers (11) basierend auf den SensorMeßwerten mittels der Maschinenachsen (4-8) jeweils nachgeregelt wird, vorzugsweise, dass die Werkstückparameter aus den NC-Positionswerten und den interferometrisch gemessenen Entfernungswerten und/oder aus dem Nachregelvorgang ermittelt werden.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

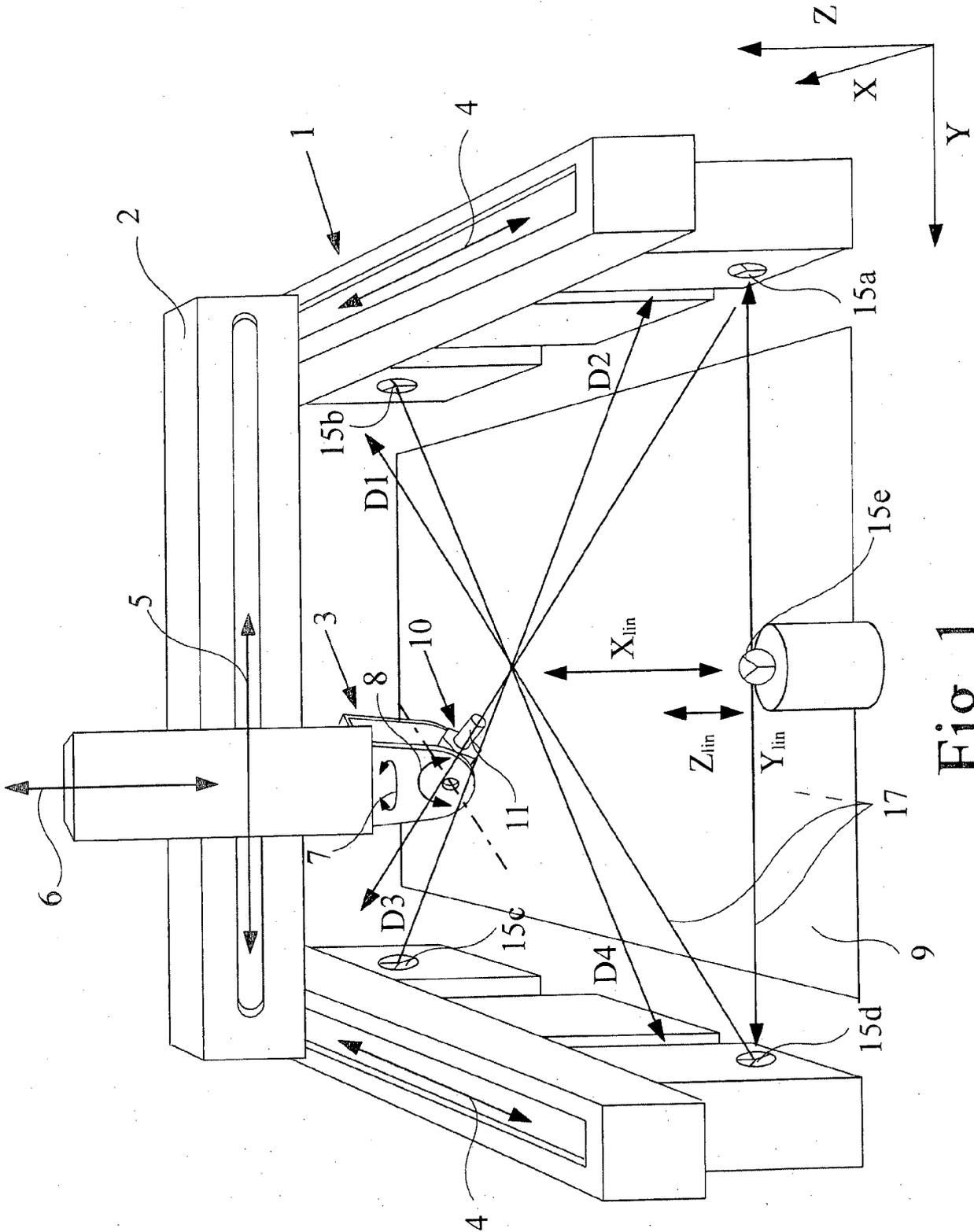


Fig. 1

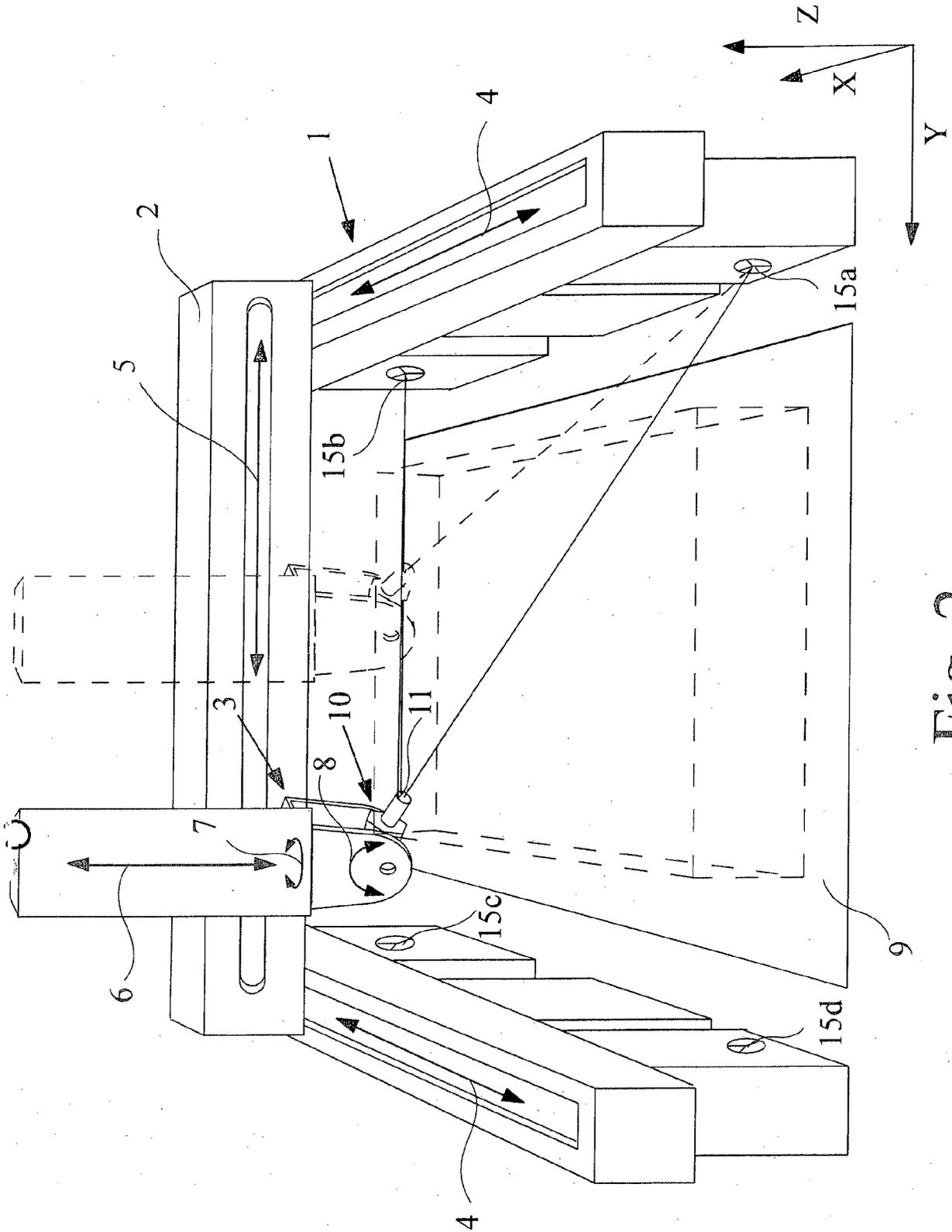


Fig. 2

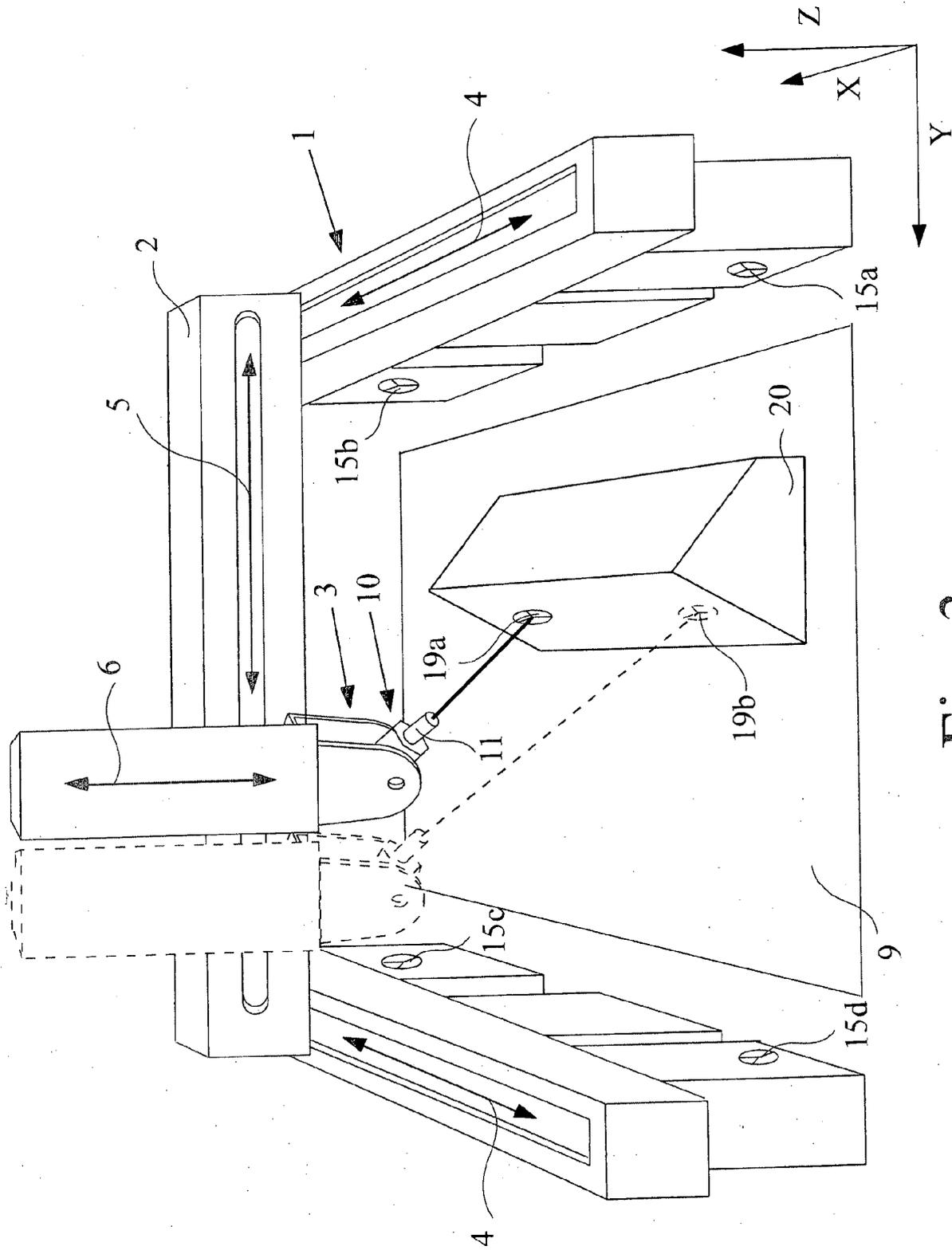


Fig. 3

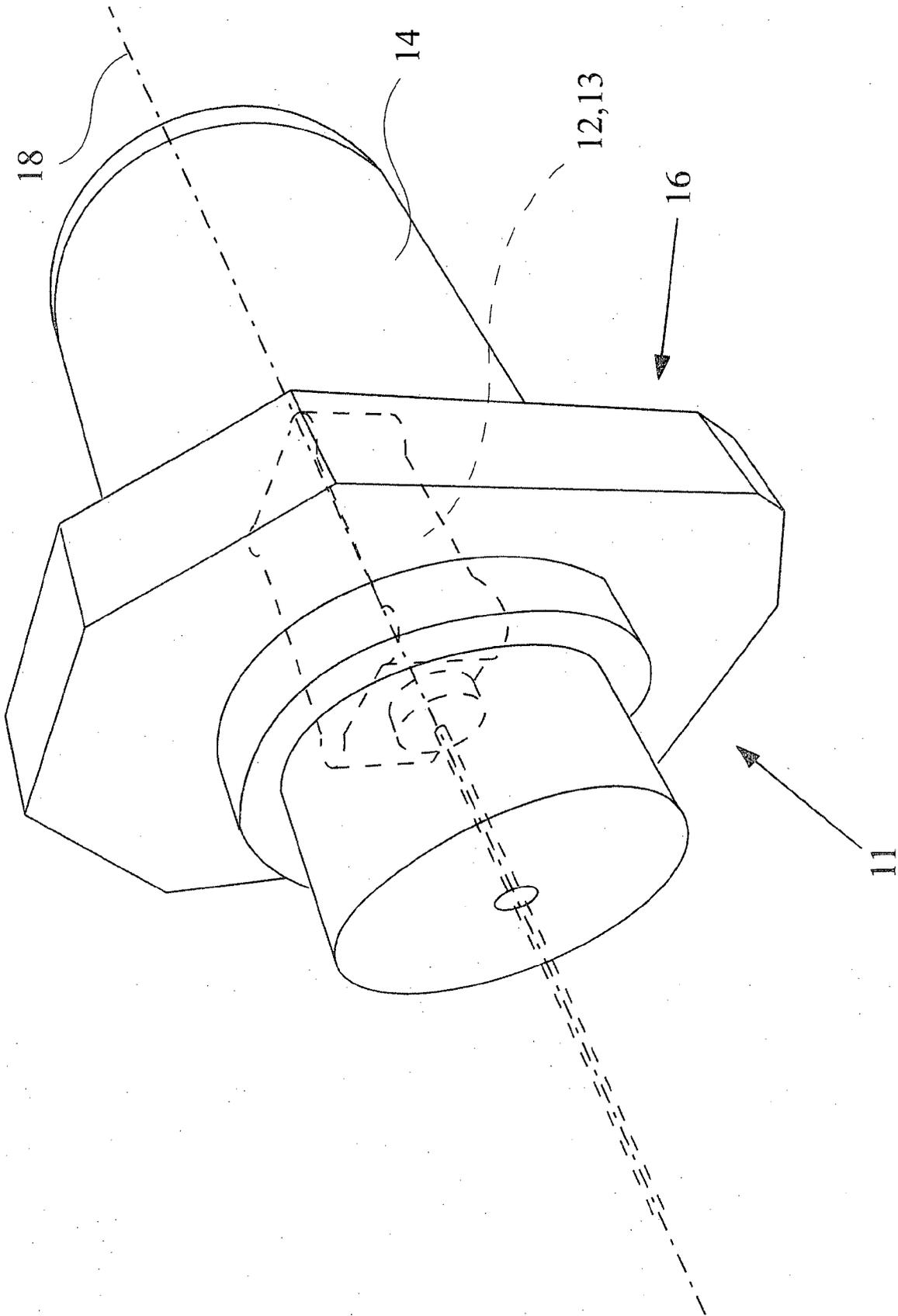


Fig. 4