



(10) **DE 10 2019 134 939 A1** 2021.06.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 134 939.7**  
(22) Anmeldetag: **18.12.2019**  
(43) Offenlegungstag: **24.06.2021**

(51) Int Cl.: **G01B 11/00 (2006.01)**  
**G01B 11/24 (2006.01)**  
**G01B 11/03 (2006.01)**  
**G01B 5/008 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, 73447  
Oberkochen, DE**

(72) Erfinder:  
**Seitz, Dominik, 73525 Schwäbisch Gmünd, DE;  
Haverkamp, Nils, Dr., 73431 Aalen, DE**

(74) Vertreter:  
**WITTE, WELLER & PARTNER Patentanwälte mbB,  
70173 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

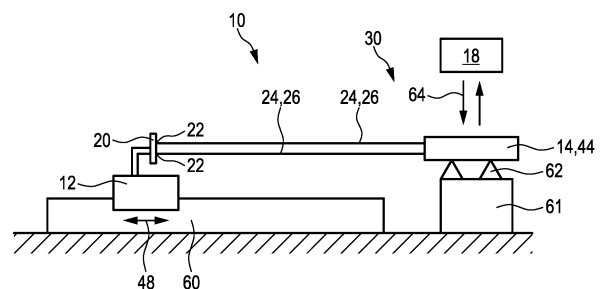
<b>DE</b>	<b>101 18 392</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>11 2009 003 495</b>	<b>T5</b>
<b>US</b>	<b>2012 / 0 050 712</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Erfassung einer Lage eines Körpers**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung (10) zur Erfassung einer Lage eines Körpers (12) vorgeschlagen, insbesondere zur Erfassung von Fehlern in mehreren Freiheitsgraden. Die Vorrichtung (10) weist eine Sendereinheit (14), einen ortsauflösenden Sensor (16), eine Auswerte- und Steuereinrichtung (18) und ein Targetelement (20) mit einem Retroreflektor (22) auf. Die Sendereinheit (14) ist eingerichtet, um einen Lichtstrahl (24) auszusenden. Der Retroreflektor (22) ist eingerichtet, um den Lichtstrahl (24) als retroreflektierten Lichtstrahl (26) zurück zu der Sendereinheit (14) zu reflektieren. Der ortsauflösende Sensor (16) ist eingerichtet, um ein erstes Signal zu erfassen. Die Sendereinheit (14) ist eingerichtet, um aus dem retroreflektierten Lichtstrahl (26) ein zweites Signal zu erfassen. Die Auswerte- und Steuereinrichtung (18) ist eingerichtet, um mittels des ersten Signals und des zweiten Signals eine Lage des Körpers (12) zu bestimmen.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erfassung einer Lage eines Körpers, ein Koordinatenmessgerät und ein Verfahren zur Erfassung einer Lage eines Körpers.

**[0002]** Allgemein bezieht sich die vorliegende Offenbarung, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen, auf Messsysteme, insbesondere Koordinatenmessgeräte, mit einem Objektträger, der relativ zu einem Gestell des Messsystems/Messgerätes verfahrbar ist.

**[0003]** Aus der WO 01/88471 A1 ist eine Vorrichtung zum Bestimmen der 3D-Form eines Objekts bekannt, umfassend ein 3D-Koordinatenmessgerät, ein mechanisches Objektbewegungssystem, mindestens ein Referenzobjekt in Form eines Markers, und einen Rechner zum Verknüpfen der gemessenen Bereiche des Objekts, wobei die Erfassung des zumindest einen Markers optisch erfolgt, und wobei zusätzlich zumindest ein taktiler Sensor zum taktilen Antasten vorgesehen ist. Mit anderen Worten zeigt die WO 01/88471 A1 ein sogenanntes Multi-Sensor-Koordinatenmessgerät.

**[0004]** Die DE 10 2016 124 549 A1 offenbart ein Messsystem zum dimensionellen Messen eines Objekts mit einem Objektträger zur Aufnahme des zu vermessenden Objekts, mehreren optischen Markern, welche an dem Objektträger und/oder dem zu vermessenden Objekt angeordnet sind, einem ersten Sensor zur taktilen, optischen und/oder tomographischen Abtastung des zu vermessenden Objekts. Der erste Sensor erzeugt ein erstes Messsignal. Das Messsystem umfasst weiterhin einen zweiten, optischen Sensor zur Erfassung der Lage und Position des vermessenden Objekts anhand der optischen Marker. Es wird mittels des zweiten Sensors ein zweites Messsignal erzeugt, das Informationen zu Ort und Lage der optischen Marker enthält. Der zweite Sensor ist mit dem ersten Sensor über eine mechanisch starre Verbindung verbunden. Weiterhin umfasst das Messsystem eine Auswerteeinheit, welche dazu eingerichtet ist, aus dem zweiten Messsignal die Position und die räumliche Orientierung des zu vermessenden Objekts relativ zu dem ersten Sensor zu bestimmen und aus dem ersten Signal eine Geometrie des vermessenden Objekts zu bestimmen.

**[0005]** Messsysteme zum dimensionellen Messen eines Objekts sind in vielfältigen Gestaltungen grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannt. In der dimensionellen Messtechnik werden unterschiedlichste Messverfahren eingesetzt, um Objekte jeglicher Art in ihrer Geometrie und ihren Ausmaßen zu vermessen.

**[0006]** Koordinatenmessgeräte für den industriellen Einsatz sind im Regelfall recht aufwendig gestaltet, um in zuverlässiger Weise die gewünschten Genauigkeiten bei der Messung/Vermessung zu gewährleisten. Koordinatenmessgeräte weisen üblicherweise eine Mehrzahl angetriebene Achsen mit entsprechenden Führungen auf. Den Achsen bzw. deren Führungen sind regelmäßig Maßverkörperungen zugeordnet, welche die Bestimmung absoluter und/oder relativer Positionen/Bewegungen ermöglichen.

**[0007]** Bei der Gestaltung von Koordinatenmessgeräten geht es häufig darum, ein bestimmtes Messvolumen (etwa einen Würfel oder Quader mit definierter Länge, Breite und Höhe) bereitzustellen, in dem mit einer bestimmten Genauigkeit Messungen vorgenommen werden können. Dies führt jedoch gerade dann, wenn das Messvolumen eine bestimmte Größe erreicht, die jedoch im industriellen Einsatz gefordert ist, zu einem erheblichen Aufwand. Häufig haben die genutzten Sensoren für das Antasten des Messobjekts nur einen sehr kleinen Messbereich, so dass eine Bewegung der Sensoren relativ zum Messobjekt und eine Bestimmung entsprechender Verfahrenswege und/oder Verfahrenswinkel unabdingbar ist.

**[0008]** Da ein Koordinatenmessgerät im Regelfall mehrere relativ zueinander bewegliche Achsen für Bewegungen zwischen dem Messobjekt und dem Sensor/den Sensoren aufweist, verringert sich im Regelfall die Genauigkeit mit einem zunehmenden Messvolumen und mit einer zunehmenden Anzahl an Freiheitsgraden, da sich schlimmstenfalls die Fehler der einzelnen Achsen zu einem Gesamtfehler addieren.

**[0009]** Eine allgemeine Zielsetzung für die Entwicklung und Gestaltung von Messsystemen, insbesondere von Koordinatenmessgeräten für den industriellen Einsatz, ist die Erhöhung der Genauigkeit, die Erhöhung der Produktivität und die Verbesserung der Tauglichkeit für den Einsatz im industriellen Umfeld. Ferner sollen verbesserte Eigenschaften möglichst ohne zusätzlichen Kostenaufwand realisierbar sein.

**[0010]** Messsysteme sind regelmäßig fehlerbehaftet. Messsysteme weisen üblicherweise Fehler in mehreren Freiheitsgraden, insbesondere in allen sechs Freiheitsgraden, auf, die sich beispielsweise auf Fehlbewegungen im jeweiligen Freiheitsgrad zurückführen lassen. Solche Fehlbewegungen können beispielsweise durch Lagerspiel, Antriebspiel, geometrische Fehler o. ä. verursacht sein. Es besteht ein Wunsch, diese Fehler zu erfassen und zumindest teilweise zu kompensieren.

**[0011]** Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, eine Vorrichtung zur Erfassung einer Lage eines Körpers anzugeben, mit der sich im Betrieb eines Messsystems die Genauigkeit erhöhen

lässt. Ferner sollen ein mit einer solchen Vorrichtung versehenes Koordinatenmessgerät und ein Verfahren zur Erfassung einer Lage eines Körpers angegeben werden.

**[0012]** Zumindest hinsichtlich beispielhafter Aspekte liegt der vorliegenden Offenbarung die Aufgabe zugrunde, ein Messsystem, insbesondere ein Koordinatenmessgerät, zum dimensionellen Messen eines Objekts bereitzustellen, mit dem sich dennoch hohe Messgenauigkeiten realisieren lassen, wobei die Herstellung des Messsystems nach Möglichkeit nicht mit einem erhöhten strukturellen Aufwand einhergehen sollte. Das Messsystem soll für industrielle Anwendungen geeignet sein, insbesondere im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit (Messungen pro Zeiteinheit) sowie die Flexibilität (Durchführung verschiedenster Messaufgaben).

**[0013]** Vorzugsweise ist das Messsystem dazu befähigt, Messgenauigkeiten im Sub-Mikrometer-Bereich zu gewährleisten, und zwar für große Messvolumina, die bei industriell genutzten Koordinatenmessgeräten häufig gefordert sind.

**[0014]** Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird die Aufgabe der Offenbarung durch eine Vorrichtung zur Erfassung einer Lage eines Körpers, insbesondere zur Erfassung von Fehlern in mehreren Freiheitsgraden, gelöst. Die Vorrichtung weist eine Sendereinheit, einen ortsauflösenden Sensor, eine Auswerte- und Steuereinrichtung und ein Targetelement mit einem Retroreflektor auf. Die Sendereinheit ist eingerichtet, um einen Lichtstrahl auszusenden. Der Retroreflektor ist eingerichtet, um den Lichtstrahl als retroreflektierten Lichtstrahl zurück zu der Sendereinheit zu reflektieren. Der ortsauflösende Sensor ist eingerichtet, um ein erstes Signal zu erfassen. Die Sendereinheit ist eingerichtet, um aus dem retroreflektierten Lichtstrahl ein zweites Signal zu erfassen. Die Auswerte- und Steuereinrichtung ist eingerichtet, um mittels des ersten Signals und des zweiten Signals eine Lage des Körpers zu bestimmen.

**[0015]** Die Vorrichtung ist beispielhaft einer Bewegungsachse (etwa X, Y oder Z) eines Koordinatenmessgerätes zugeordnet. Eine solche Bewegungsachse umfasst beispielsweise eine Führung, und einen Schlitten, der durch einen Antrieb entlang der Führung verfahrbar ist. Wenn nun die Vorrichtung der Führung bzw. dem Schlitten zugeordnet ist, so lassen sich etwaige Fehler einfach und mit hoher Genauigkeit erfassen und bedarfsweise kompensieren. Auf diese Weise ergibt sich auch bei einer spielbehafteten Bewegungsachse insgesamt eine hochgenaue Bewegung, welche Grundlage für die Messung ist. Auf diese Weise kann die Vorrichtung zur weiteren Ertüchtigung und/oder Erhöhung der Genauigkeit eines Koordinatenmessgerätes verwendet wer-

den. Dies ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen.

**[0016]** Bei der Lage kann es sich um eine Lage relativ zu einer Messumgebung handeln. Die Lage kann eine Positionierung und/oder eine Orientierung betreffen. Die Lage kann einen oder mehrere Freiheitsgrade des Körpers betreffen. Die Freiheitsgrade können ausgewählt sein aus einer Gruppe von Freiheitsgraden bestehend aus einer Position (beispielsweise eine X-Koordinate), eine oder zwei Translationen (beispielsweise eine Y-Koordinate und/oder eine Z-Koordinate), einem Gieren, einem Nicken, und einem Rollen.

**[0017]** Die Vorrichtung ist beispielsweise dazu ausgebildet, einen Fehler einer Positionierung eines Körpers zu erfassen, beispielsweise einen Positionsfehler, und/oder ein oder zwei Translationsfehler und/oder einen Gierfehler und/oder einen Nickfehler und/oder einen Rollfehler. Die Vorrichtung kann insbesondere eingerichtet sein, um einen Fehler eines Koordinatenmessgeräts zu erfassen, zumindest von einer Bewegungsachse davon. Durch Erfassung der Fehler kann eine Korrektur, beispielsweise von systematischen Anteilen, durchgeführt werden. Der Positionsfehler ist eine Fehlpositionierung entlang einer Bewegungsrichtung (beispielsweise X-Koordinate). Der Translationsfehler ist eine Fehlpositionierung entlang einer ersten Achse und/oder entlang einer zweiten Achse. Die erste Achse und die zweite Achse stehen senkrecht zueinander und senkrecht zu der Bewegungsrichtung ausgerichtet. Das Rollen ist eine Rotation um die Bewegungsachse. Das Gieren ist eine Rotation um die erste Achse. Das Nicken ist eine Rotation um die zweite Achse.

**[0018]** Mittels der neuen Vorrichtung können die Fehler der jeweiligen Freiheitsgrade bestimmt werden. Eine aufwendige konstruktive Minimierung dieser Fehler bei der Entwicklung eines Koordinatenmessgeräts und/oder bei dessen Fertigung kann folglich umgangen werden, zumindest teilweise. Dies ist wirtschaftlich interessant.

**[0019]** Die Vorrichtung ist beispielsweise dazu ausgebildet, systematische Fehler zu erfassen. Mittels der erfassten systematischen Fehler können beispielsweise später in einem Betrieb diese systematischen Fehler korrigiert werden.

**[0020]** Der Körper kann ein Messobjekt oder ein Referenztarget oder ein Marker oder ein Werkstückhalter oder eine Werkstückauflage sein. Jedenfalls dann, wenn das Messobjekt auf einer Werkstückauflage oder ähnlichem angeordnet ist, kann dessen Position/Orientierung mittelbar über Erfassung der Position/Orientierung der Auflage erfasst werden.

**[0021]** Die Sendereinheit kann eine Vorrichtung sein, die elektromagnetische Wellen, insbesondere Lichtstrahlen, ausstrahlt und elektromagnetische Wellen, insbesondere Lichtstrahlen, empfängt. Mit anderen Worten dient die Sendereinheit nicht ausschließlich als Sender, sondern teilweise auch als Empfänger, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen. Die Sendereinheit kann eine optische Anordnung aufweisen. Die optische Anordnung kann einen Laser und/oder einen Spiegel und/oder eine Linse und/oder einen Filter und/oder einen Detektor aufweisen. Die Sendereinheit kann ein Senderelement aufweisen. Das Senderelement kann eingerichtet sein, um elektromagnetische Wellen, insbesondere Lichtstrahlen, auszusenden. Das Senderelement kann beispielsweise ein Diodenlaser sein.

**[0022]** Der ortsauflösende Sensor kann eingerichtet sein, um eine zweidimensionale Erfassung durchzuführen, insbesondere eine zweidimensionale Erfassung eines auftreffenden Lichtstrahls. Der ortsauflösende Sensor kann eingerichtet sein, um eine optische Abbildung zu erzeugen. Die Vorrichtung kann mehrere ortsauflösende Sensoren aufweisen, beispielsweise drei ortsauflösende Sensoren. Beispielsweise können drei ortsauflösende Sensoren als ein Element ausgestaltet sein. Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann eingerichtet sein, um das offenbarungsgemäße Verfahren durchzuführen. Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann einen oder mehrere Prozessoren umfassen. Der ortsauflösende Sensor kann eingerichtet sein, um Ortskoordinaten eines auftreffenden Lichtstrahls zu erfassen, beispielsweise zwei Koordinaten.

**[0023]** Das Targetelement ist beispielsweise der Körper selbst, oder ein daran angebrachtes Element. Das Targetelement kann auch als Messziel beschrieben werden.

**[0024]** Der Retroreflektor kann eingerichtet sein, um einfallende Lichtstrahlen weitestgehend unabhängig von der Einfallrichtung in Richtung der Einfallrichtung zurück zu senden. Ein Retroreflektor hat den Vorteil, dass der retroreflektierte Lichtstrahl sicher zurück zu der Sendereinheit gelangen sollte, wenn der Lichtstrahl von der Sendereinheit zu dem Retroreflektor ausgestrahlt wurde. Der Einsatz eines Retroreflektors im Vergleich zu einer reflektierenden Oberfläche, beispielsweise einem planaren Spiegel (Plan Spiegel), kann den Vorteil haben, dass ein Lichtstrahl, der von der Sendereinheit zu dem Targetelement gelangt auch wieder zurück zu der Sendereinheit gelangt, insbesondere unabhängig von der geometrischen Anordnung der Sendereinheit zu dem Targetelement. Dies ist insbesondere bei einer Erfassung von Abweichungen einer Anordnung der Sendereinheit zu dem Targetelement günstig oder sichert sogar diese Funktion. Bei einem planaren Spiegel gilt die Beziehung, dass ein Winkel eines einfallenden

Lichtstrahls zu dem planaren Spiegel einem Winkel des reflektierten Lichtstrahls entspricht, allerdings bei Abweichungen von  $90^\circ$  in unterschiedliche Richtungen. Wenn  $n$  der einfallende Lichtstrahl nicht senkrecht auf den planaren Spiegel trifft, könnte der von dem planaren Spiegel reflektierte Lichtstrahl die Sendereinheit verfehlen. Bei Verwendung eines Retroreflektors gelangt ein reflektierter Strahl bei höheren Abweichungen zur Senkrechten zu der Sendereinheit zurück als bei Verwendung eines planaren Spiegels, beispielsweise einer planaren reflektierenden Oberfläche. Der Retroreflektor kann eingerichtet sein, um einen Lichtstrahl parallel zu dem einfallenden Lichtstrahl zurückzusenden. Ein von dem Retroreflektor reflektierter Lichtstrahl kann parallel zu einem auf den Retroreflektor treffenden Lichtstrahl ausgerichtet sein, in entgegengesetzte Richtungen. Der rückreflektierte Lichtstrahl, auch retroreflektierter Lichtstrahl genannt, kann zu dem auf den Retroreflektor treffenden Lichtstrahl beabstandet sein, insbesondere parallel versetzt. Alternativ hierzu können der rückreflektierte Lichtstrahl und der auf den Retroreflektor treffende Lichtstrahl einen identischen Verlauf aufweisen, mit entgegengesetzten Richtungen.

**[0025]** Die Sendereinheit kann eingerichtet sein, um mindestens drei, insbesondere sechs Lichtstrahlen, insbesondere Laserstrahlen, auszusenden und/oder um mindestens drei, insbesondere sechs, Lichtstrahlen, insbesondere Laserstrahlen, zu empfangen.

**[0026]** Die Sendereinheit kann ein Gehäuse aufweisen. Bei dem Lichtstrahl kann es sich um einen Strahl einer elektromagnetischen Welle mit einem schmalen Frequenzband handeln. Der Lichtstrahl kann ein Laserstrahl sein. Alternativ hierzu kann der Lichtstrahl ein breites Frequenzband aufweisen. Der Lichtstrahl kann ein chromatischer Lichtstrahl sein. Beispielsweise kann es sich bei dem Lichtstrahl zumindest teilweise um sichtbares Licht handeln. Alternativ oder zusätzlich kann der Lichtstrahl Licht mit Frequenzen außerhalb des für den Menschen sichtbaren Bereichs aufweisen. Der Lichtstrahl kann Radarstrahlung und/oder Röntgenstrahlung aufweisen.

**[0027]** Das erste Signal kann zwei Ortskoordinaten des ortsauflösenden Sensors umfassen. Das zweite Signal kann ein Interferenzsignal sein. Das zweite Signal kann einen Phasenunterschied aufweisen. Alternativ oder zusätzlich kann das zweite Signal ein Frequenzspektrum aufweisen. Das zweite Signal kann ebenfalls ein oder zwei Ortskoordinaten aufweisen, beispielsweise Ortskoordinaten eines ortsauflösenden Sensors. Das zweite Signal kann mittels einer Photodiode und/oder mittels des ortsauflösenden Sensors und/oder mittels eines weiteren ortsauflösenden Sensors erfasst werden.

**[0028]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, um simultan mindestens zwei, insbesondere mindestens

vier, beispielsweise fünf, insbesondere sechs Freiheitsgrade des Körpers zu erfassen. Unter einer simultanen Erfassung ist hierbei eine zeitgleiche Erfassung zu verstehen. Beispielfhaft können mittels der offenbarungsgemäßen Vorrichtung alle Freiheitsgrade des Körpers und/oder alle Fehler eines Körpers simultan erfasst werden. Hierdurch kann eine Zeiterparnis und/oder eine Kostenersparnis erzielt werden.

**[0029]** Die Vorrichtung kann eine Interferometeranordnung aufweisen. Die Interferometeranordnung kann eingerichtet sein, um einen Abstand zwischen dem Körper und der Sendereinheit zu erfassen. Die Interferometeranordnung kann eingerichtet sein, um zwei Laserstrahlen miteinander zu interferieren und um ein Interferenzsignal, beispielsweise das zweite Signal, zu erfassen. Die Interferometeranordnung kann ein 3-Strahl-Interferometer sein. Die Interferometeranordnung kann eingerichtet sein, um Abstände und/oder Abstandsänderungen optisch zu erfassen. Alternativ oder zusätzlich zu der Interferometeranordnung kann die Vorrichtung eine Anordnung für eine chromatisch-konfokale Abstandsmessung aufweisen.

**[0030]** Der Retroreflektor kann Teil der Interferometeranordnung sein. Die Interferometeranordnung kann ein Michelson-Interferometer aufweisen. Die Interferometeranordnung kann einen oder mehrere Strahlteiler aufweisen. Die Interferometeranordnung kann eine Photodiode, insbesondere eine schnelle Photodiode, aufweisen. Die Photodiode kann eingerichtet sein, um ein Interferenzsignal, beispielsweise das zweite Signal, zu erfassen.

**[0031]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung ist beispielsweise dazu ausgebildet, aus dem zweiten Signal einen Abstand, beispielsweise einen Abstand zwischen der Sendereinheit und dem Körper, zu erfassen. Die Interferometeranordnung kann eingerichtet sein, um den retroreflektierten Lichtstrahl mit einem weiteren Lichtstrahl zu interferieren. Der weitere Lichtstrahl kann ein Lichtstrahl mit gleicher Frequenz oder mit anderer Frequenz sein, beispielsweise ein zu dem Retroreflektor gestrahlter Lichtstrahl. Mittels der Photodiode kann eine Überlagerung des retroreflektierten Lichtstrahls und des weiteren Lichtstrahls erfasst werden. Die Photodiode kann eine Avalanche-Photodiode sein.

**[0032]** Das Targetelement kann relativ zu der Sendereinheit beweglich sein, insbesondere mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung kontrolliert beweglich. Das Targetelement kann ein Schlitten sein oder auf einem Schlitten angeordnet sein. Der Schlitten kann auf einer Schiene angeordnet sein. Das Targetelement kann eingerichtet sein, um entlang einer Trajektorie mittels einer Führung bewegt zu werden. Eine Bewegung des Targetelements relativ zu der Sen-

dereinheit kann durch die Auswerte- und Steuereinrichtung kontrolliert werden. Durch die Möglichkeit einer kontrollierten Bewegung des Targetelements relativ zu der Sendereinheit kann mittels der Vorrichtung ein Fehler eines Koordinatenmessgeräts für verschiedene Positionen erfasst werden.

**[0033]** Beispielsweise können alle die Lichtstrahlen beeinflussenden Elemente des Targetelements passiv sein. Bei den die Lichtstrahlen beeinflussenden Elementen kann es sich beispielsweise um einen Retroreflektor und/oder einen Spiegel und/oder Sensoren handeln. Das Targetelement kann lediglich passive optische Elemente aufweisen. Unter dem Ausdruck „passiv“ ist im Rahmen der vorliegenden Offenbarung zu verstehen, dass ein jeweiliges Element keine Stromversorgung/Energieversorgung benötigt. Durch Verwendung lediglich passiver Elemente innerhalb des Targetelements kann eine Montage und ein Betrieb des Targetelements erleichtert werden, da keine Drahtverbindungen zu dem Targetelement notwendig sind.

**[0034]** Das Targetelement kann den ortsauflösenden Sensor aufweisen. In diesem Fall würde das Targetelement nicht nur passive Elemente aufweisen. Dies kann jedoch vorteilhaft sein, um eine Genauigkeit der Vorrichtung zu erhöhen.

**[0035]** Die Vorrichtung kann mindestens drei Retroreflektoren, insbesondere mindestens sechs Retroreflektoren, aufweisen. Bevorzugt kann das Targetelement mindestens drei Retroreflektoren, insbesondere mindestens sechs Retroreflektoren, aufweisen. Die Retroreflektoren können beispielsweise für interferometrische Abstandsmessungen und/oder für chromatische-konfokale Abstandsmessungen und/oder für Translationsmessungen verwendet werden. Zusätzlich kann die Vorrichtung, insbesondere das Targetelement, einen Spiegel aufweisen. Der Spiegel kann eingerichtet sein, um Lichtstrahlen mit dem identischen Winkel zu einer raumfesten Ortskoordinate zu reflektieren unter welchem der einfallende Lichtstrahl auf das Targetelement eintrifft.

**[0036]** Das Targetelement kann drei Retroreflektoren und drei ortsauflösende Sensoren aufweisen. Das Targetelement kann insbesondere genau drei Retroreflektoren und genau drei ortsauflösende Sensoren aufweisen. Die drei Retroreflektoren können eingerichtet sein, um drei Interferometerstrahlen zurück zu der Sendereinheit zu reflektieren. Hierdurch kann/können ein Positionsfehler und/oder ein Gierfehler und/oder ein Rollfehler und/oder ein Nickfehler bestimmt werden. Insbesondere kann, beispielsweise durch Mittelwertbildung, ein Abstand zwischen dem Targetelement und der Sendereinheit bestimmt werden. Mittels eines Vergleichs der drei Interferometerstrahlen kann ein Gierfehler und/oder ein Positionierfehler erfasst werden. Die drei ortsauflösenden Sen-

soren können eingerichtet sein, um Auftreffpositionen von drei von der Sendereinheit ausgestrahlten Lichtstrahlen zu erfassen, beispielsweise zur Bestimmung eines ersten Translationsfehlers und eines Rollfehlers und/oder eines zweiten Translationsfehlers und eines Rollfehlers. Hierdurch können alle sechs Freiheitsgrade erfasst werden, vorzugsweise simultan.

**[0037]** Die Sendereinheit kann mindestens eine Photodiode, insbesondere mindestens zwei Photodioden, insbesondere mindestens drei Photodioden aufweisen. Die Photodiode kann eine schnelle Photodiode sein. Die schnelle Photodiode kann insbesondere derart ausgestaltet sein, dass ein Interferenzsignal aufgelöst werden kann, um einen Abstand und/oder eine Abstandsänderung zu erfassen.

**[0038]** Das Targetelement kann sechs Retroreflektoren aufweisen. Die Sendereinheit kann den ortsauflösenden Sensor aufweisen. Die Sendereinheit kann insgesamt drei ortsauflösende Sensoren aufweisen. Hierdurch kann erreicht werden, dass das Targetelement als passives Element ausgestaltet sein kann. Die sechs Retroreflektoren können beispielsweise eingerichtet sein, um mindestens drei Interferometerstrahlen zu reflektieren und um mindestens drei Lichtstrahlen für eine ortsauflösende Detektion zu reflektieren. Beispielsweise können drei Retroreflektoren der sechs Retroreflektoren mit den drei ortsauflösenden Sensoren der Sendereinheit ein zusammenwirkendes Paar bilden und drei Retroreflektoren der sechs Retroreflektoren und drei Photodioden des Targetelements können ein zusammenwirkendes Paar bilden. Unter einem Paar kann hierbei verstanden werden, dass ein Lichtstrahl von einem Retroreflektor des Targetelements zu einem anderen Element des Paares reflektiert wird.

**[0039]** Der ortsauflösende Sensor ist beispielsweise ausgewählt aus einer Sensorgruppe, bestehend aus einem Bildsensor, einem Kamerachip und einer 4Q-Diode. Der Bildsensor kann eingerichtet sein, um eine zweidimensionale Abbildung zu erfassen. Der Kamerachip kann ein CCD- (charge coupled device) Sensor sein. Die 4Q-Diode ist eine 4-Quadranten-Diode. Mittels des ortsauflösenden Sensors können beispielsweise zwei Koordinaten eines Auftreffpunkts eines retroreflektierten Lichtstrahls erfasst werden. Durch einen Einsatz von Quadrantendioden kann eine deutlich schnellere Ermittlung von Fehlern ermöglicht werden, insbesondere im Vergleich zum Einsatz von Kamerachips.

**[0040]** Der Retroreflektor kann ausgewählt sein aus einer Gruppe von Reflektoren bestehend aus einem Linsenreflektor, einem Katzenauge, einer Lüneburg-Linse, einem Winkelreflektor, einem Tripelspiegel, einem Corner Cube, einem Tripelprisma, einer retroreflektierenden Folie und einem Rückstrahler. Beispielsweise kann der Retroreflektor zwei zueinander

senkrecht stehende Spiegel aufweisen. Jeder der Spiegel kann einen Winkel von ungefähr  $45^\circ$  zu einem einfallenden Lichtstrahl aufweisen. Hierdurch kann eine Retroreflexion erzeugt werden. Weiterhin kann hierdurch ein Parallelversatz des einfallenden Lichtstrahls mittels eines ortsauflösenden Sensors an der Sendereinheit erfasst werden. Ein Corner Cube umfasst drei flache, zueinander senkrecht stehende Spiegel.

**[0041]** Die Vorrichtung kann derart eingerichtet sein, dass aus dem retroreflektierten Lichtstrahl mittels des ortsauflösenden Sensors ein erster Freiheitsgrad bestimmbar ist und mittels desselben retroreflektierten Lichtstrahls durch Ausnutzung eines Interferenzeffekts ein zweiter Freiheitsgrad bestimmbar ist. Hierdurch werden an dem Targetelement lediglich drei Retroreflektoren benötigt, um sechs unterschiedliche Freiheitsgrade zu erfassen. Dies kann zu Kosteneinsparungen führen.

**[0042]** Beispielsweise kann die Vorrichtung drei Strahlteiler aufweisen, insbesondere um drei retroreflektierte Strahlen aufzuspalten, insbesondere um jeweils einen Teilstrahl zu einer Diode zum Auslesen eines Interferenzsignals und einen Teilstrahl zu einem ortsauflösenden Sensor oder zu einem gemeinsamen ortsauflösenden Sensor zum Erfassen von Ortskoordinaten zu führen. Hierdurch können mittels lediglich genau dreier Retroreflektoren an dem Targetelement alle sechs Freiheitsgrade und/oder deren Fehler bestimmt werden. Hierdurch können Kosten eingespart werden.

**[0043]** Die Vorrichtung weist beispielhaft drei Elemente auf, die in einer Ebene an den Eckpunkten eines Dreiecks angeordnet sind. Das Dreieck ist beispielhaft ein gleichseitiges Dreieck. Die drei Elemente können ausgewählt sein aus einer Gruppe, bestehend aus drei Retroreflektoren, drei ortsauflösenden Sensoren, drei Strahlteilern, drei Filtern, drei Photodioden, drei Laserquellen, drei Spiegeln, drei Linsen und drei Strahlausgängen, und Kombinationen daraus. Die drei in einer Ebene an Eckpunkten eines Dreiecks angeordneten Elemente können beispielsweise an oder in dem Targetelement und/oder an oder in der Sendereinheit angeordnet sein.

**[0044]** Die drei Elemente sind identisch ausgestaltet, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen. Beispielsweise weist das Targetelement drei Retroreflektoren auf, die in einer Ebene jeweils an Eckpunkten eines ersten gleichseitigen Dreiecks angeordnet sind. Beispielsweise weist das Targetelement weitere drei Retroreflektoren auf, die in einer Ebene, beispielsweise in der identischen Ebene, jeweils an Eckpunkten eines zweiten gleichseitigen Dreiecks angeordnet sind. Das erste gleichseitige Dreieck und das zweite gleichseitige Dreieck können den gleichen Mittelpunkt aufweisen und beispielsweise um  $60^\circ$  ge-

geneinander verdreht sein, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen. Es versteht sich, dass auch eine nicht gleichseitige Gestaltung des Dreiecks denkbar ist.

**[0045]** Alternativ oder zusätzlich kann neben den drei Retroreflektoren des ersten gleichseitigen oder anderweitig gestalteten Dreiecks das Targetelement drei ortsauflösende Sensoren aufweisen, die in einer Ebene an Eckpunkten des zweiten Dreiecks angeordnet sind. Durch eine Anordnung an Eckpunkten eines gleichseitigen oder anderweitig gestalteten Dreiecks können Informationen über alle sechs Freiheitsgrade erfasst werden. Durch Anordnung von drei Elementen in einer Ebene an Eckpunkten eines Dreiecks, insbesondere eines gleichseitigen Dreiecks, kann eine besondere Symmetrie erzielt werden, welche Berechnungen der Auswerte- und Steuereinrichtung vereinfachen können. Beispielsweise kann die Sendereinheit drei Laserquellen und/oder drei Lichtstrahlaustrittsstellen aufweisen, die an Eckpunkten eines gleichseitigen oder anderweitig gestalteten Dreiecks angeordnet sind.

**[0046]** In einer beispielhaften Ausführungsform ist die Vorrichtung derart ausgestaltet, dass mehrere Lichtstrahlen, die von jeweils einer Laserquelle zu jeweils einem Retroreflektor und/oder jeweils einem ortsauflösenden Sensor gerichtet sind, parallel zueinander verlaufen. Hierdurch kann ein symmetrischer Aufbau erzielt werden. Ein derartiger Aufbau ist übersichtlich, es können Vorteile bei Montage und/oder Justage erzielt werden. Ferner können sich die Bauanforderungen verringern.

**[0047]** Bei den Filtern kann es sich beispielsweise um Polarisationsfilter handeln. Mittels eines Polarisationsfilters kann ein Intensitätsverhältnis zweier Teilstrahlen nach Passieren eines Strahlteilers kontrolliert werden.

**[0048]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird die Aufgabe der vorliegenden Offenbarung durch ein Koordinatenmessgerät gelöst, umfassend eine Vorrichtung gemäß zumindest einer hierin beschriebenen Ausführungsform. Auf diese Weise lassen sich vorteilhaft gestaltete Messsysteme realisieren.

**[0049]** Das Koordinatenmessgerät ist beispielhaft dazu ausgebildet, eine geometrische Eigenschaft eines Messobjekts taktil zu bestimmen. Alternativ oder zusätzlich ist das Koordinatenmessgerät dazu ausgebildet eine geometrische Eigenschaft eines Messobjekts optisch zu bestimmen. In beispielhaften Ausführungsformen ist das Koordinatenmessgerät als sogenanntes Multi-Sensor-Messgerät gestaltet, umfasst also verschiedene Sensoren zur taktilen und/oder optischen Antastung.

**[0050]** Das Koordinatenmessgerät kann beispielsweise mehrere offenbarungsgemäße Vorrichtungen aufweisen, beispielsweise zwei Vorrichtungen, insbesondere drei Vorrichtungen. Die Vorrichtungen sind jeweils einer Achse (etwa X, Y, Z) zugeordnet. Die Vorrichtungen können beispielsweise unterschiedlich ausgerichtet sein, insbesondere unter einem Winkel zwischen  $45^\circ$  und  $135^\circ$ , insbesondere unter einem Winkel zwischen  $85^\circ$  und  $95^\circ$  bezüglich der ausgesendeten Lichtstrahlen. Hierdurch kann eine Genauigkeit einer Fehlerbestimmung erhöht werden, beispielsweise durch Mittelwertbildung, und/oder ein Einsatz bei größeren Fehlerbereichen ermöglicht werden. In einer beispielhaften Ausgestaltung stehen zumindest zwei der Achsen (X, Y, Z) und die diesen zugeordneten Vorrichtungen orthogonal aufeinander. Da jede Vorrichtung zur Erfassung in mehreren Freiheitsgraden, insbesondere zur Erfassung von Fehlern in mehreren Freiheitsgraden ausgebildet ist, lassen sich zumindest einige der Freiheitsgrade doppelt überwachen, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen.

**[0051]** Mit anderen Worten nutzt das Koordinatenmessgerät die Vorrichtung in beispielhaften Ausgestaltungen nicht direkt oder nur teilweise direkt zur Messung, sondern zumindest teilweise auch zur Fehlerminimierung in den Bewegungsachsen. Auf diese Weise kann beispielhaft ein Koordinatenmessgerät mit einem gewissen Führungsspiel in zumindest einer der Bewegungsachsen genauer betrieben werden, als dies rein strukturell bei gegebener Führungsgenauigkeit möglich ist. Dies ist nicht einschränkend zu verstehen.

**[0052]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Erfassung einer Lage eines Körpers, insbesondere zur Erfassung von Fehlern in mehreren Freiheitsgraden, mit den Schritten:

- Bereitstellen einer Vorrichtung zur Erfassung einer Lage des Körpers aufweisend eine Sendereinheit, einen ortsauflösenden Sensor, eine Auswerte- und Steuereinrichtung und ein Targetelement mit einem Retroreflektor;
- Aussenden eines Lichtstrahls mittels der Sendereinheit;
- Reflektieren des Lichtstrahls als retroreflektierten Lichtstrahl zurück zu der Sendereinheit;
- Erfassung eines ersten Signals mittels des ortsauflösenden Sensors und eines zweiten Signals aus dem retroreflektierten Lichtstrahl mittels der Sendereinheit; und
- Bestimmen der Lage des Körpers durch die Auswerte- und Steuereinrichtung mittels des ersten Signals und des zweiten Signals.

**[0053]** Die offenbarungsgemäße Vorrichtung und das offenbarungsgemäße Verfahren weisen verschiedene Vorteile auf, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen. Mittels des neuen Verfahrens und der neuen Vorrichtung kann die Lage eines Körpers bezüglich aller sechs Freiheitsgrade mittels genau eines Aufbaus und eines Messschritts erfasst werden. Zur Erfassung der sechs Freiheitsgrade sind keine Umbauten durch Personal notwendig. Eine typische Samplerate hinsichtlich der Interferometeranordnung kann im Megahertz-Bereich liegen.

**[0054]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Offenbarung zu verlassen.

**[0055]** Ausführungsbeispiele der Offenbarung sind in der Zeichnung dargestellt und werden anhand der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine beispielhafte Darstellung zur Veranschaulichung von Freiheitsgraden eines Körpers;

**Fig. 2A** eine schematische Seitenansicht zur Veranschaulichung eines Ausführungsbeispiels einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung;

**Fig. 2B** eine vereinfachte Darstellung eines Targetelements zur Verwendung bei der Anordnung gemäß **Fig. 2A**;

**Fig. 2C, Fig. 2D und Fig. 2E** beispielhafte Zustände einer beispielhaften Ausgestaltung einer Vorrichtung in Anlehnung an **Fig. 2A** zur Veranschaulichung der Funktionsweise;

**Fig. 3A** eine vereinfachte Darstellung eines Targetelements eines weiteren Ausführungsbeispiels einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung;

**Fig. 3B** eine schematische Seitenansicht zur Veranschaulichung zur weiteren Veranschaulichung der beispielhaften Ausführungsform gemäß **Fig. 3A**;

**Fig. 3C** eine vereinfachte schematische Darstellung einer Messordnung zur Veranschaulichung der Erfassung einer Translation des Körpers gemäß dem anhand der **Fig. 3A** und **Fig. 3B** veranschaulichten Ausführungsbeispiel;

**Fig. 4A** eine schematische, perspektivische Teildarstellung einer weiteren Ausführungsform einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung;

**Fig. 4B** eine weitere schematische Darstellung des anhand **Fig. 4A** beschriebenen Ausführungsbeispiels; und

**Fig. 5** eine perspektivische Ansicht zur Veranschaulichung einer beispielhaften Ausführungsform eines Koordinatenmessgeräts.

**[0056]** **Fig. 1** zeigt eine perspektivische Ansicht eines Körpers **12**, zur Veranschaulichung von Freiheitsgraden des Körpers **12**. Veranschaulicht wird die Lage des Körpers **12** anhand eines dreidimensionalen Koordinatensystems. **Fig. 1** illustriert insbesondere einen Positionsfehler **48**, einen Translationsfehler **50**, einen Translationsfehler **52**, einen Rollfehler **54**, einen Gierfehler **56** und einen Nickfehler **58**. Die Fehlerbeiträge **48, 50, 52, 54, 56, 58** sind jeweils einem Freiheitsgrad zugeordnet. **Fig. 1** veranschaulicht ferner eine Führung **60**, entlang der der Körper **12** beweglich ist. Bei dem Körper **12** handelt es sich beispielhaft um einen Schlitten, der entlang der Führung **60** beweglich ist, wobei die Führung **60** eine Haupt-Bewegungsrichtung definiert. Beispielsweise ist die Führung **60** dazu ausgebildet, den Körper **12**, insbesondere ein dort appliziertes Targetelement **20**, entlang einer Bewegungsrichtung **48** zu führen, insbesondere kontrolliert durch die Auswerte- und Steuereinrichtung **18**, vergleiche hierzu **Fig. 2A**.

**[0057]** Die **Fig. 2A, Fig. 3B** und **Fig. 4B** zeigen Ausführungsbeispiele einer insgesamt mit **10** bezeichneten Vorrichtung zur Lageerfassung, insbesondere zur Erfassung von Fehlern in verschiedenen Freiheitsgraden. Die Vorrichtung **10** dient zur Erfassung einer Lage des Körpers **12**. Die Vorrichtung **10** weist im veranschaulichten Ausführungsbeispiel eine Sendereinheit **14**, einen ortsauflösenden Sensor **16**, eine Auswerte- und Steuereinrichtung **18** und ein Targetelement **20** mit einem Retroreflektor **22** auf. Die Sendereinheit **14** ist eingerichtet, um einen Lichtstrahl **24** auszusenden. Der Retroreflektor **22** ist eingerichtet, um den Lichtstrahl **24** als retroreflektierten Lichtstrahl **26** zurück zu der Sendereinheit **14** zu reflektieren. Der ortsauflösende Sensor **16** ist eingerichtet, um ein erstes Signal zu erfassen. Die Sendereinheit **14** ist eingerichtet, um aus dem retroreflektierten Lichtstrahl **26** ein zweites Signal zu erfassen. Die Auswerte- und Steuereinrichtung **18** ist eingerichtet, um mittels des ersten Signals und des zweiten Signals eine Lage des Körpers **12** zu bestimmen. Es versteht sich, dass es sich bei der Auswerte- und Steuereinrichtung **18** um eine übergeordnete Einheit handeln kann, vergleiche hierzu **Fig. 5**.

**[0058]** **Fig. 2A** veranschaulicht anhand einer vereinfachten Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung **10**. Die Vorrichtung **10** weist eine Führung **60** auf. Die Führung **60** ist eingerichtet, um den Körper **12** entlang der Bewegungsrichtung **48** kontrolliert durch die Auswerte- und Steuereinrichtung **18** zu führen. Die Vorrichtung



10 kann weiterhin einen Antrieb zur Bewegung des Körpers **12** relativ zur Führung **60** aufweisen. Der Antrieb kann einen Motor aufweisen. Der Antrieb kann eingerichtet sein, um den Körper **12** kontrolliert durch die Auswerte- und Steuereinrichtung 18 zu bewegen.

**[0059]** An dem Körper **12** kann das Targetelement **20** angeordnet sein. Das Targetelement **20** kann fest mit dem Körper **12** verbunden sein. Es sind auch andere, mittelbare Zuordnungen vorstellbar. Die Vorrichtung 10 weist eine Sendereinheit **14** auf. Die Sendereinheit **14** kann fest mit einer Umgebung **61**, beispielsweise einem Tisch, verbunden sein, beispielsweise mittels eines Auflagers **62**. Die Sendereinheit **14** kann eine Laserquelle **44** aufweisen, zumindest in beispielhaften Ausgestaltungen. Die Sendereinheit **14** und/oder das Targetelement **20** kann über eine Schnittstelle **64** mit der Auswerte- und Steuereinrichtung 18 verbunden sein.

**[0060]** Die Vorrichtung 10 weist beispielhaft eine Interferometeranordnung **30** auf. Beispielsweise ist die Sendereinheit **14** dazu ausgebildet, einen Lichtstrahl **24** von der Sendereinheit **14** zu dem Targetelement **20** zu senden. Das Targetelement **20** kann den Retroreflektor **22** aufweisen. Die Vorrichtung 10 umfasst beispielsweise zwei Teilvorrichtungen.

**[0061]** Der erste Teil umfasst beispielsweise die Sendereinheit **14**. Beispielsweise kann die Sendereinheit **14** drei Laserquellen **44** aufweisen. Als Laserquelle **44** kann ein Diodenlaser dienen. Der Diodenlaser kann einen Lichtstrahl **24** aussenden, welcher in mehrere Lichtstrahlen **24**, beispielsweise drei Lichtstrahlen **24** oder sechs Lichtstrahlen **24**, aufgeteilt werden kann. Somit wirkt ein einziger Diodenlaser wie drei Laserquellen **44**. Gemäß einer alternativen Ausgestaltung weist die Vorrichtung 10 drei Diodenlaser auf. Die Sendereinheit **14** ist beispielhaft fest an einem Gestell **61** (oder einem hierarchisch übergeordneten Schlitten) angeordnet. Die Sendereinheit **14** ist insbesondere entlang der Bewegungsrichtung 48 des Targetelements **20** unbeweglich ausgestaltet.

**[0062]** Der zweite Teil umfasst beispielsweise das Targetelement **20**. Das Targetelement **20** kann Reflektoren, insbesondere Retroreflektoren **22**, aufweisen. Das Targetelement **20** kann sich relativ zu der Umgebung **61**, beispielsweise einem Tisch oder Gestell, und folglich relativ zu der Sendereinheit **14** bewegen oder bewegbar sein. Die Bewegung findet in einer Haupt-Bewegungsrichtung 48 statt. Die Bewegung wird beispielhaft durch die Auswerte- und Steuereinrichtung 18 gesteuert.

**[0063]** Die Laserquellen **44** können beispielsweise in einem Gehäuse der Sendereinheit **14** angeordnet sein. Die Sendereinheit **14** kann derart ausgestaltet sein, dass es drei Lichtstrahlen **24** aussenden kann,

welche parallel im Raum zwischen der Sendereinheit **14** und dem Targetelement **20** verlaufen. Beispielsweise können die Fußpunkte dieser drei Lichtstrahlen **24** eine Ebene aufspannen, und beispielsweise ein gleichseitiges oder anderweitig gestaltetes Dreieck bilden. Die Ebene kann senkrecht zu den Lichtstrahlen **24** stehen. Die Fußpunkte können an den Ecken eines Dreiecks angeordnet sein.

**[0064]** Entsprechend der Anordnung der Laserquellen **44** kann das Targetelement **20** eine entsprechende Anordnung an Retroreflektoren **22** aufweisen. Die Vorrichtung 10 kann insbesondere derart ausgestaltet sein, dass die Lichtstrahlen **24** beim Auftreffen auf die Retroreflektoren **22** in sich parallel zurück reflektiert werden, insbesondere um eine interferometrische Messung zu ermöglichen.

**[0065]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung 18 kann eingerichtet sein, um nach Auswertung der drei retroreflektierten Lichtstrahlen **26**, je nach Messprinzip Relativabstände und/oder Absolutabstände zu erfassen. Aus den Relativ- und/oder Absolutabständen kann durch Mittelwertbildung eine Positionsabweichung und/oder durch eine Verrechnung von Differenzen zwischen den mittels der retroreflektierten Lichtstrahlen **26** erhaltenen Relativ- und/oder Absolutabstände eine Gierbewegung **56**, insbesondere ein Gierfehler **56**, und/oder eine Nickbewegung **58**, insbesondere ein Nickfehler **58**, ermittelt werden, vergleiche wiederum **Fig. 1**.

**[0066]** **Fig. 4A** veranschaulicht eine denkbare Gestaltung eines Targetelements **20** mit wie oben beschrieben angeordneten drei Retroreflektoren **22** und drei Strahlausgängen **46** sowie drei parallelen Lichtstrahlen **24** und in sich zurückreflektierte retroreflektierte Lichtstrahlen **26**.

**[0067]** **Fig. 2B** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Targetelements **20** für eine beispielhafte Ausführungsform der Vorrichtung 10, bei dem die Sendereinheit **14** drei weitere Laserquellen **44**, zusätzlich zu den drei Laserquellen **44**, aufweist, deren Lichtstrahlen **24** ebenfalls parallel im Raum verlaufen. Diese Lichtstrahlen **24** können parallel zu den drei oben beschriebenen Lichtstrahlen **24** verlaufen, insbesondere in Zwischenräumen zwischen den oben beschriebenen drei Lichtstrahlen **24**.

**[0068]** Das Targetelement **20** kann zusätzlich zu den oben beschriebenen Retroreflektoren **22**, mittels derer eine Positionserfassung durchgeführt werden kann, ortsauflösende Sensoren **16** aufweisen, beispielsweise drei 4-Quadranten-Dioden und/oder drei Kamerachips **34**. Alternativ zu den in **Fig. 2B** gezeigten drei ortsauflösenden Sensoren **16** kann das Targetelement **20** lediglich einen einzigen ortsauflösenden Sensor **16** aufweisen, welcher beispielsweise als Kamerachip (oder einem Kamerachip zumin-

dest ähnlich) ausgestattet ist und derart dimensioniert sein kann, dass Ortskoordinaten der Auftreffpunkte von drei retroreflektierten Lichtstrahlen erfasst werden können.

**[0069]** Beispielsweise können die Retroreflektoren **22** an Eckpunkten eines gleichseitigen oder anderweitig gestalteten Dreiecks angeordnet sein. Die ortsauflösenden Sensoren **16** können ebenfalls an Punkten eines gleichseitigen oder anderweitig gestalteten Dreiecks angeordnet sein, wobei die beiden gleichseitigen Dreiecke um  $60^\circ$  oder ähnlich zueinander verdreht sind, wobei beide Dreiecke den gleichen Mittelpunkt aufweisen. In einer beispielhaften Ausführungsform sind die Abstände der Retroreflektoren **22** und/oder der ortsauflösenden Sensoren **16** zueinander bekannt und können von der Auswerte- und Steuereinrichtung **18** zu einer Berechnung der Lage des Körpers **12** verwendet werden.

**[0070]** Positionen, an denen die Lichtstrahlen **24** auf das Targetelement **20** auftreffen, insbesondere auf die ortsauflösenden Sensoren **16**, können beispielsweise durch Schwerpunktberechnung und/oder Kreis- oder Ellipsenanpassung an ein 2D-Intensitätsprofil mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung **18** errechnet werden.

**[0071]** **Fig. 2C**, **Fig. 2D** und **Fig. 2E** zeigen beispielhaft, wie sich Translation- oder Rollfehler **54** während einer Bewegung des Targetelements **20** entlang der Bewegungsrichtung **48** hinsichtlich eines Auftreffpunktes **66** auf einem ortsauflösenden Sensor **16** auswirken können. Translations- und/oder Rollfehler **54** während einer Bewegung des Targetelements **20** entlang der Bewegungsrichtung **48** können sich als eine Variation der Auftreffpunkte **66** der Lichtstrahlen **24** auf den ortsauflösenden Sensoren **16** auswirken.

**[0072]** Bei Verwendung von ortsauflösenden Sensoren **16** an dem Targetelement **20** und drei Lichtstrahlen **24** zur Fehlerermittlung können Translations- und/oder Rollbewegungen mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung **18** wie im Folgenden beschrieben berechnet werden.

**[0073]** Die drei Lichtstrahlen **24**, welche auf ortsauflösende Sensoren **16** treffen, liefern jeweils eine X-Position und eine Y-Position (entlang der durch den Sensor aufgespannten Fläche, vergleiche **Fig. 2C**). Die Translation des Körpers **12** in X-Richtung entspricht dabei beispielhaft einer Verschiebung eines auf einen ortsauflösenden Sensor **16** auftreffenden Lichtstrahls **24**. Zur Bestimmung einer Translation des Körpers **12** kann ein Mittelwert aus zwei oder drei X- und/oder Y-Positionen von auftreffenden Lichtstrahlen auf ortsauflösende Sensoren **16** gebildet werden. Eine Rollbewegung **54** des Körpers **12** kann einem Arcus-Tangens aus der zum vektoriiellen Abstand der beiden Lichtstrahlen **24** senkrecht stehen-

den, projizierten Differenz der ermittelten X- und Y-Positionen der auftreffenden Lichtstrahlen entsprechen. Dieses Verfahren kann auch verwendet werden, wenn anstelle von Kamerachips **34** Quadranten-Dioden verwendet werden.

**[0074]** Lediglich eine Erfassung der X- und/oder Y-Position der auf das Targetelement **20** auftreffenden Lichtstrahlen **24** muss bei einer Verwendung von Quadranten-Dioden anstelle von einem oder mehreren Kamerachips **34** entsprechend angepasst werden. Werden mehr als zwei zusätzliche Laserstrahlen zur Translations- und/oder Rollmessung eingesetzt, beispielsweise drei zusätzliche Laserstrahlen, so empfiehlt sich eine Ermittlung der Fehler durch bestmögliche Einpassung durch translatorische und rotatorische Transformation der Referenzanordnung in die detektierten Positionen, zum Beispiel durch eine Rigid-Body-Transformation. Bei einer Verwendung von mehreren Quadranten-Dioden oder Verwendung von mehreren Kamerachips **34** können diese mittels einer geeigneten Strategie zueinander ausgerichtet und/oder kalibriert werden, beispielsweise vor einer ersten Inbetriebnahme.

**[0075]** Die **Fig. 3A**, **Fig. 3B** und **Fig. 3C** zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10**. Im Gegensatz zu dem ersten in den **Fig. 2A** bis **Fig. 2E** beschriebenen Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10**, weist das zweite Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10** zur Ermittlung der Translationen und der Rollbewegung des Targetelements **20** keine aktiven Bauelemente auf, also keine Bauelemente, welche mit Energie- und/oder Signal-Schnittstellen versorgt werden müssen. Dies ist für bestimmte Anwendungen vorteilhaft, da der Aufbau dadurch wesentlich vereinfacht wird.

**[0076]** Die Erfinder haben erkannt, dass zur Konstruktion einer Vorrichtung **10** mit einem rein passiven Targetelement **20** die Kamerachips **34** und/oder Quadrantendioden des Targetelements **20** des ersten Ausführungsbeispiels durch Retroreflektoren **22** ersetzt werden können. Somit können mittels sechs Retroreflektoren **22** des Targetelements **20** sechs einfallende Lichtstrahlen **24** von dem Targetelement **20** als retroreflektierte Lichtstrahlen **26** zurück zu der Sendereinheit **14** reflektiert werden.

**[0077]** Die Retroreflektoren **22** weisen üblicherweise die Eigenschaft auf, einfallende Lichtstrahlen **24** in dieselbe Richtung zurückreflektieren, mit welcher sie auf den Retroreflektor **22** getroffen sind. Entspricht ein Strahldurchmesser eines auf einen Retroreflektor **22** treffenden Lichtstrahls der Apertur des Retroreflektors **22** oder ist der Strahldurchmesser größer als die Apertur des Retroreflektors **22**, so wird der Lichtstrahl **24** parallel in sich zurück reflektiert. Ist der Strahldurchmesser jedoch deutlich kleiner als die Apertur des Retroreflektors **22**, so wird der einfallende

lende Lichtstrahl **24** zwar parallel, aber nicht in sich selbst zurück reflektiert, wie beispielsweise in **Fig. 3C** dargestellt.

**[0078]** **Fig. 3C** zeigt für zwei unterschiedliche Positionen des Targetelements **20** einen Strahlverlauf von eintreffenden Lichtstrahlen **24** von retroreflektierten Lichtstrahlen **26**. **Fig. 3C** veranschaulicht, wie ein Positionsfehler **48** (**Fig. 1**) des Körpers **12** zu einem Strahlversatz **70** zwischen den retroreflektierten Lichtstrahlen **26** von zwei unterschiedlichen Positionen des Targetelements **20** führt. In dem in **Fig. 3C** dargestellten Beispiel entspricht der Strahlversatz **70** zwischen dem einfallenden Lichtstrahl **24** und dem retroreflektierten Lichtstrahl **26** genau zweimal der Translation des Targetelements **20** zwischen den beiden in **Fig. 3C** gezeigten Positionen.

**[0079]** Die Erfinder haben erkannt, dass Nick- und/oder Gier-Bewegungen des Targetelements **20** ebenfalls den Strahlversatz **70** des retroreflektierten Lichtstrahl **26** beeinflussen können, aber dass diese in Cosinus-Abweichungen resultieren, welche für kleine Winkel vernachlässigt werden können und/oder mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung **18** über die ohnehin durchgeführte Erfassung der Gier- und Nickbewegungen verrechnet und kompensiert werden können.

**[0080]** Das zweite Ausführungsbeispiel der offenbarungsgemäßen Vorrichtung **10** weist auf dem Targetelement **20** sechs Retroreflektoren **22** auf. Sowohl die Strahlquelle **44**, oder mehrere Strahlquellen **44**, als auch die ortsauflösenden Sensoren **16**, beispielsweise als Kamerachips **34** oder Quadrantendioden ausgestaltet, sind in diesem Ausführungsbeispiel in der Sendereinheit **14** angeordnet. Somit ist das Targetelement **20** komplett als passives Bauteil ausgeführt. Die Sendereinheit **14** dient nicht nur als Sender, sondern auch als Empfänger.

**[0081]** Die in **Fig. 3B** dargestellte Sendereinheit **14** weist beispielhaft einen Strahlteiler **42** auf. Beispielsweise kann durch Transmission an dem Strahlteiler **42** der Sendereinheit **14** ein Lichtstrahl **24** zu dem Targetelement **20** geleitet werden. Nach Retroreflexion an dem Targetelement **20** kann der retroreflektierten Lichtstrahl **26** an dem Strahlteiler **42** reflektiert und ausgeweitet werden, beispielsweise mittels eines ortsauflösenden Sensors **16**. Alternativ hierzu kann durch Reflektion an dem Strahlteiler **42** ein Lichtstrahl **24** von der Sendereinheit **14** zu dem Targetelement **20** geführt und danach der retroreflektierte Lichtstrahl **26** an dem Strahlteiler **42** transmittiert und ausgeweitet werden, beispielsweise mittels eines ortsauflösenden Sensors **16** oder mittels einer Photodiode **32**. Mittels des Strahlteilers **42** können ein zu dem Targetelement **20** gerichteter Lichtstrahl **24** und ein von dem Targetelement **20** retroreflektierter Lichtstrahl **26** räumlich getrennt werden. Der

Strahlteiler **42** kann alternativ oder zusätzlich dazu verwendet werden, um einen retroreflektierten Lichtstrahl **26** aufzuteilen und sowohl interferometrisch als auch mittels eines ortsauflösenden Sensors **16** auszuwerten.

**[0082]** Wie in dem ersten Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10** können auch in dem zweiten Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10** zumindest ein Teil der Auswerteelemente, beispielsweise ein ortsauflösender Sensor **16** und/oder eine Photodiode **32**, mittels einer Justage und/oder einer Vermessungsstrategie und/oder einer Kalibrierung zueinander in Verbindung gebracht werden. Die Sendereinheit **14** weist beispielhaft ein Gehäuse **72** auf. Das Gehäuse **72** ist in **Fig. 3B** durch gestrichelte Linien dargestellt.

**[0083]** Die **Fig. 4A** und **Fig. 4B** zeigen ein drittes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10**. Bei dem dritten Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **10** ist das Targetelement **20** ebenfalls passiv ausgestaltet. Elemente zur Erfassung der Translation und Rollbewegung sind in der Sendereinheit **14** angeordnet und können über jeweils einen Strahlteiler **42** ein- bzw. ausgekoppelt werden. Entgegen der ersten beiden Ausführungsbeispiele werden nun lediglich drei zu dem Targetelement **20** geführte Lichtstrahlen **24** benötigt. Es werden beispielsweise lediglich drei Lichtquellen und/oder Lichtaustrittsöffnungen **46** in der Sendereinheit **14** benötigt. Die Laserstrahlen zur Positionsmessung können zusätzlich für die interferometrische Messung verwendet werden, insbesondere unter Verwendung der Strahlteiler **42**, insbesondere zur Messung der Translation und der Rollbewegung. Somit benötigt das Ausführungsbeispiel nach den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** lediglich drei Retroreflektoren **22** und drei Laserquellen **44** und drei Strahlteiler **42**. Hierdurch können Kosten und Bauraumbedarf reduziert werden.

**[0084]** **Fig. 5** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Koordinatenmessgeräts **74**. Das Koordinatenmessgerät **74** weist beispielsweise einen an einem Ausleger **76** aufgenommenen Messkopf **78** auf. Weiterhin umfasst das Koordinatenmessgerät **74** beispielhaft eine Säule **80** sowie eine Basis **84**. Weiterhin umfasst das Koordinatenmessgerät **74** eine Werkstückaufnahme **82** für ein Messobjekt. Die Werkstückaufnahme **82** kann auch als Auflage oder Tisch für ein Messobjekt bezeichnet werden. Beispielsweise ist die Säule **80** relativ zu der Werkstückaufnahme **82** bewegbar, oder umgekehrt. Alternativ oder zusätzlich kann die Werkstückaufnahme **82** relativ zu dem Messkopf **78** bewegbar sein. Üblicherweise stellt das Koordinatenmessgerät zumindest drei Translationsachsen für die Relativbewegung zwischen Werkstückaufnahme **82** und Messkopf **78** bereit. Jede dieser Achsen umfasst beispielsweise zumindest eine Führung und ein entlang der Führung verfahrbares Element, etwa einen Schlitten.

**[0085]** Bei jeder Achse können Fehler in einem oder mehreren Freiheitsgraden auftreten. Beispielsweise liegen Fehleranteile in allen sechs Freiheitsgraden (drei Translationsfreiheitsgrade und drei Rotationsfreiheitsgrade) vor, vergleiche hierzu **Fig. 1**. Der Messkopf **78** kann beispielsweise einen taktilen Sensor **86** und/oder einen optischen Sensor **88** aufweisen. Das Koordinatenmessgerät **74** ist beispielhaft dazu ausgebildet, eine geometrische Eigenschaft eines Messobjekts, beispielsweise des Körpers **12**, taktil und/oder optisch zu bestimmen.

**[0086]** Das Koordinatenmessgerät **74** weist im Ausführungsbeispiel eine Vorrichtung 10 zur Lageerfassung gemäß zumindest einem hierin beschriebenen Ausführungsbeispiel auf. Die Vorrichtung 10 weist beispielhaft eine Sendereinheit **14** und ein Targetelement **20** auf. Das Targetelement **20** ist beispielhaft auf der Werkstückaufnahme **82** angeordnet (in **Fig. 5** lediglich schematisch dargestellt). Das Senderelement **14** ist beispielhaft an der Säule **80** angeordnet. Das Koordinatenmessgerät **74** ist beispielhaft dazu ausgebildet, das Targetelement **20** relativ zu dem Senderelement **14** zu bewegen.

**[0087]** Die Vorrichtung 10 ist beispielsweise dazu ausgebildet, Fehlbewegungen des Koordinatenmessgeräts **74** zu erfassen, insbesondere von dessen Werkstückaufnahme **82**. Vorzugsweise ist die Vorrichtung 10 dazu ausgestaltet, Fehler in zumindest drei Freiheitsgraden zu erfassen, vorzugsweise in sechs Freiheitsgraden.

**[0088]** Die Vorrichtung 10 kann einerseits für die eigentliche dimensionelle Messung/Erfassung verwendet werden, etwa zur Bestimmung der konkreten Position entlang der jeweils betroffenen Achse. Zusätzlich kann die Vorrichtung 10 zur mehrdimensionalen Fehlererfassung der betroffenen Achse verwendet werden. Insgesamt lässt sich somit ein hochgenaues Messsystem verwirklichen.

**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 0188471 A1 [0003]
- DE 102016124549 A1 [0004]

**Patentansprüche**

1. Vorrichtung (10) zur Erfassung einer Lage eines Körpers (12), insbesondere zur Erfassung von Fehlern in mehreren Freiheitsgraden, wobei die Vorrichtung (10) eine Sendereinheit (14), einen ortsauflösenden Sensor (16), eine Auswerte- und Steuereinrichtung (18) und ein Targetelement (20) mit einem Retroreflektor (22) aufweist, wobei die Sendereinheit (14) eingerichtet ist, um einen Lichtstrahl (24) auszusenden, wobei der Retroreflektor (22) eingerichtet ist, um den Lichtstrahl (24) als retroreflektierten Lichtstrahl (26) zurück zu der Sendereinheit (14) zu reflektieren, wobei der ortsauflösende Sensor (16) eingerichtet ist, um ein erstes Signal zu erfassen, wobei die Sendereinheit (14) eingerichtet ist, um aus dem retroreflektierten Lichtstrahl (26) ein zweites Signal zu erfassen, und wobei die Auswerte- und Steuereinrichtung (18) eingerichtet ist, um mittels des ersten Signals und des zweiten Signals eine Lage des Körpers (12) zu bestimmen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Vorrichtung (10) eingerichtet ist, um simultan mindestens zwei, insbesondere mindestens vier, insbesondere sechs Freiheitsgrade (48, 50, 52, 54, 56, 58) des Körpers (12) zu erfassen.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die Vorrichtung (10) eine Interferometeranordnung (30) aufweist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Targetelement (20) relativ zu der Sendereinheit (14) beweglich ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Vorrichtung (10) mindestens drei Retroreflektoren (22), insbesondere mindestens sechs Retroreflektoren (22), aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Targetelement (20) den ortsauflösenden Sensor (16) aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Targetelement (20) drei Retroreflektoren (22) und drei ortsauflösende Sensoren (16) aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei alle die Lichtstrahlen (24) beeinflussenden Elemente (22) des Targetelements (20) passiv sind.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Sendereinheit (14) eine Photodiode (32), insbesondere mindestens zwei Photodioden (32), insbesondere mindestens drei Photodioden (32) aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Targetelement (20) sechs Retroreflektoren (22) aufweist und wobei die Sendereinheit (14) den ortsauflösenden Sensor (16) aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Vorrichtung (10) derart eingerichtet ist, dass aus dem retroreflektierten Lichtstrahl (26) mittels des ortsauflösenden Sensors (16) ein erster Freiheitsgrad bestimmbar ist und mittels desselben retroreflektierten Lichtstrahls (26) durch Ausnutzung eines Interferenzeffekts ein zweiter Freiheitsgrad bestimmbar ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Vorrichtung (10) drei Elemente aufweist, die in einer Ebene an Eckpunkten eines Dreiecks angeordnet sind, wobei die drei Elemente ausgewählt sind aus einer Gruppe bestehend aus drei Retroreflektoren (22), drei ortsauflösenden Sensoren (16), drei Strahlteilern (42), drei Filtern, drei Photodioden (32), drei Laserquellen (44), drei Spiegeln, drei Linsen und drei Strahlausgängen (46), und Kombinationen daraus.

13. Koordinatenmessgerät mit einer Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

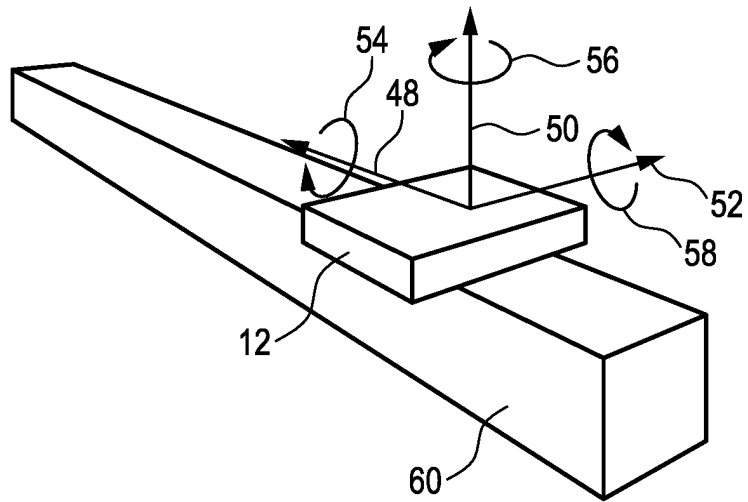
14. Koordinatenmessgerät nach Anspruch 13, wobei das Koordinatenmessgerät (74) ferner dazu eingerichtet ist, eine geometrische Eigenschaft eines Messobjekts taktil und/oder optisch zu bestimmen.

15. Verfahren zur Erfassung einer Lage eines Körpers (12), insbesondere zur Erfassung von Fehlern in mehreren Freiheitsgraden, mit den Schritten:

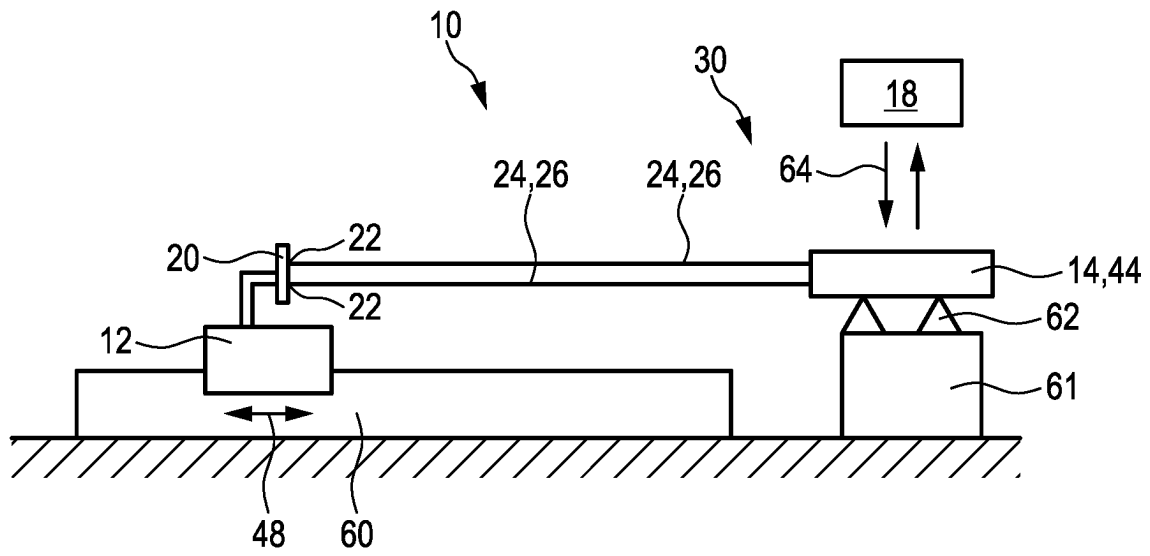
- Bereitstellen einer Vorrichtung (10) zur Erfassung einer Lage des Körpers (12) aufweisend eine Sendereinheit (14), einen ortsauflösenden Sensor (16), eine Auswerte- und Steuereinrichtung (18), und ein Targetelement (20) mit einem Retroreflektor (22);
- Aussenden eines Lichtstrahls (24) mittels der Sendereinheit (14);
- Reflektieren des Lichtstrahls (24) als retroreflektierten Lichtstrahl (26) zurück zu der Sendereinheit (14);
- Erfassung eines ersten Signals mittels des ortsauflösenden Sensors (16) und eines zweiten Signals aus dem retroreflektierten Lichtstrahl (26) mittels der Sendereinheit (14); und
- Bestimmen der Lage des Körpers (12) durch die Auswerte- und Steuereinrichtung (18) mittels des ersten Signals und des zweiten Signals.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

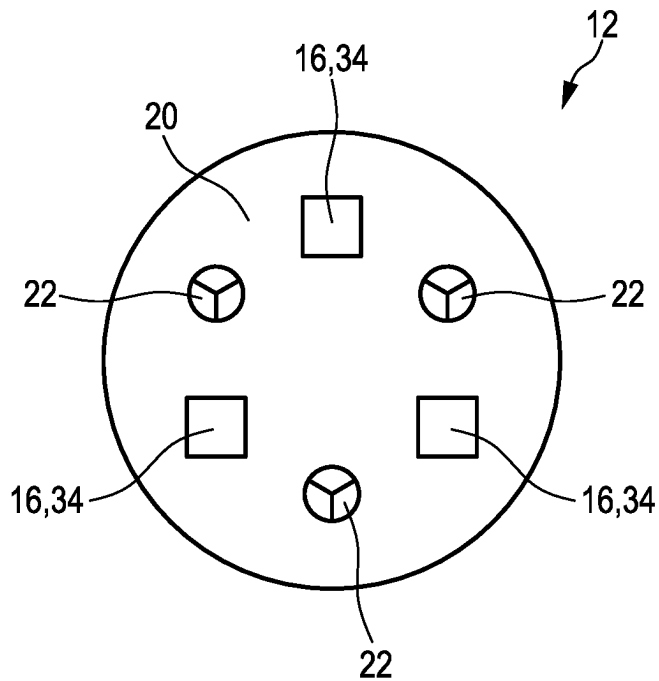
Anhängende Zeichnungen



**Fig. 1**

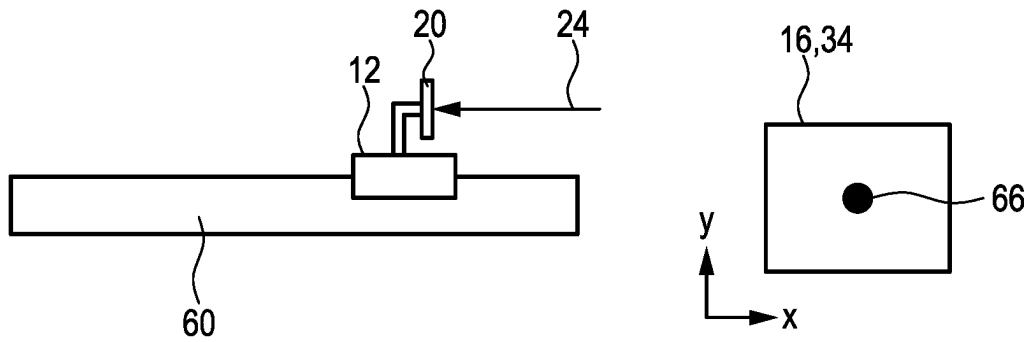


**Fig. 2A**

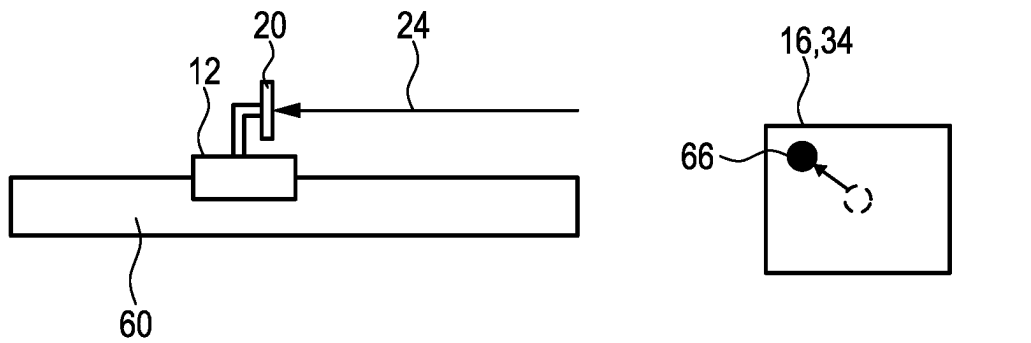


**Fig. 2B**

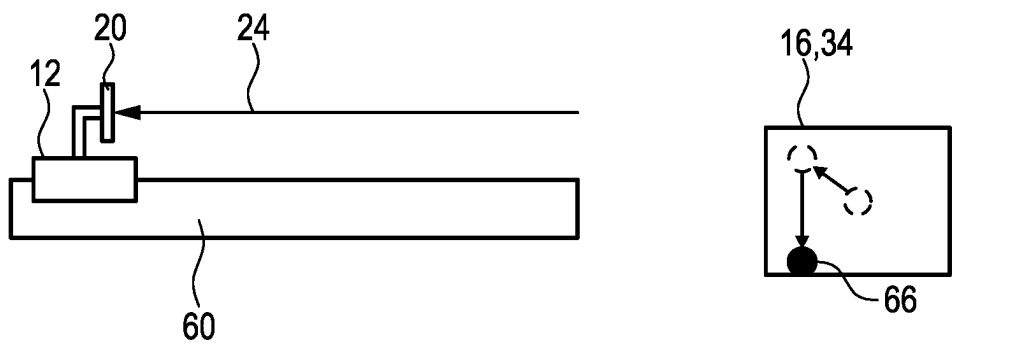




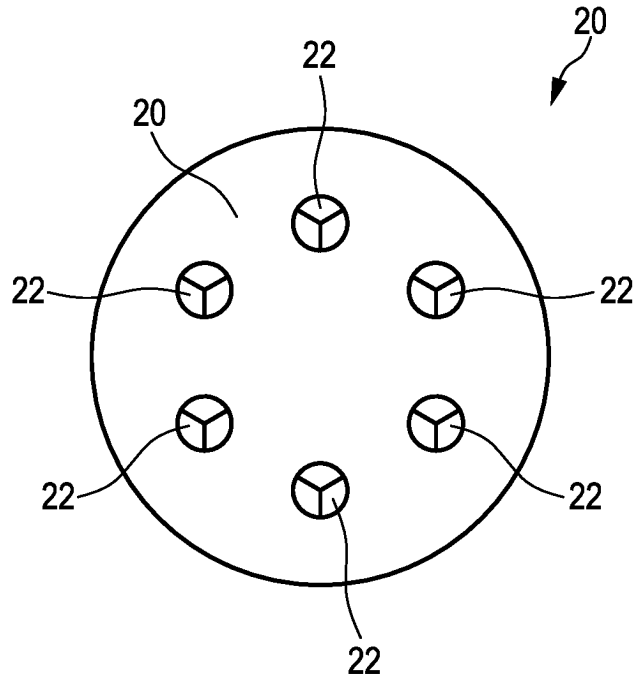
**Fig. 2C**



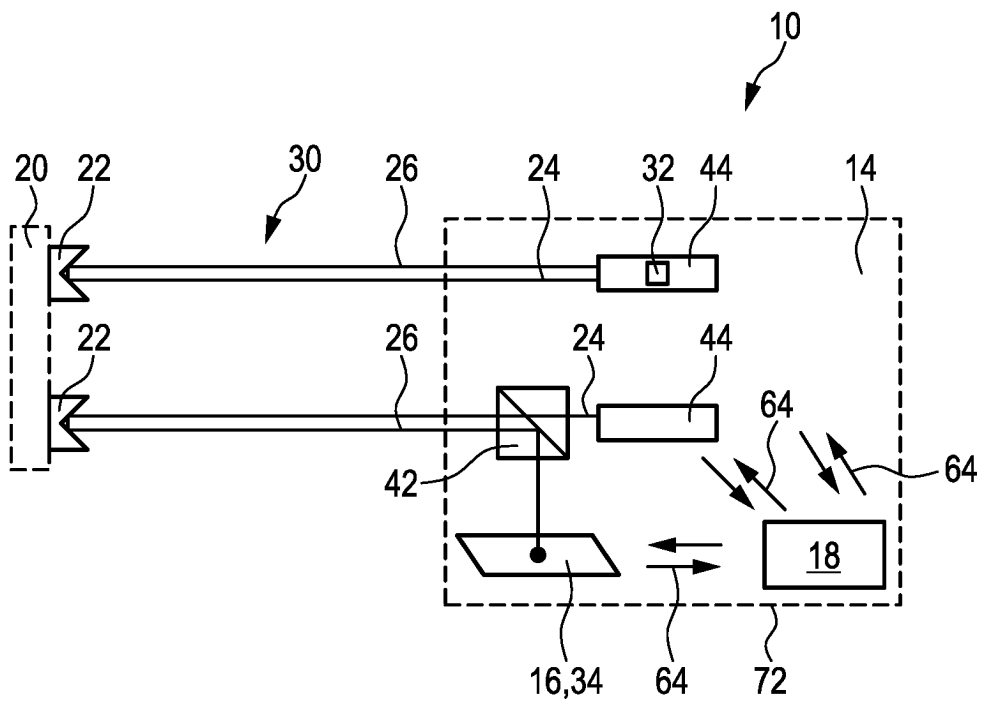
**Fig. 2D**



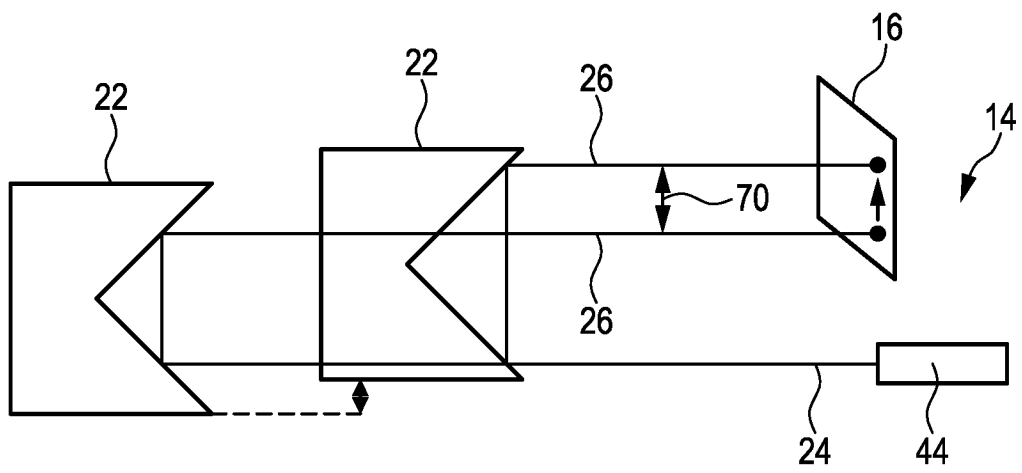
**Fig. 2E**



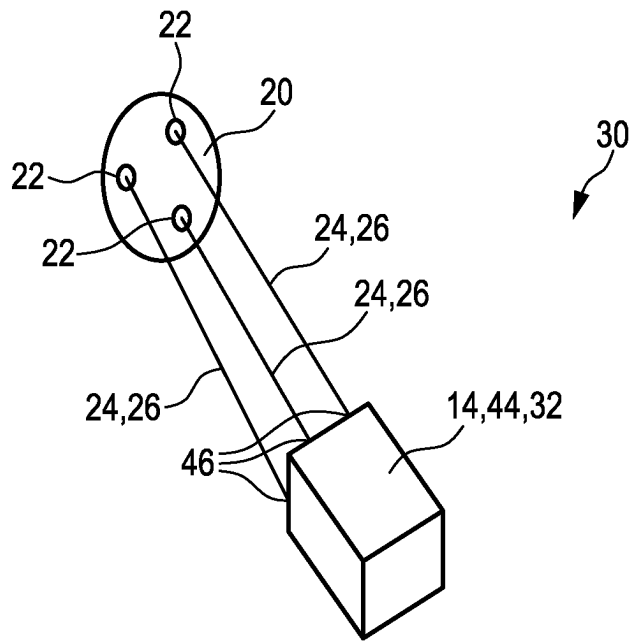
**Fig. 3A**



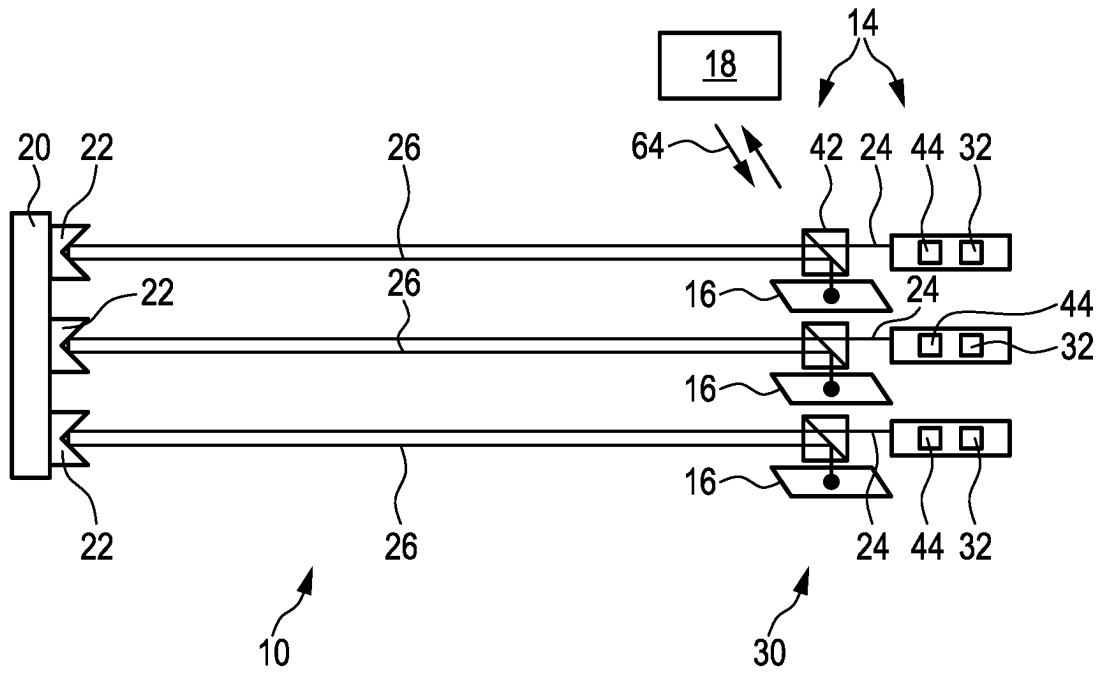
**Fig. 3B**



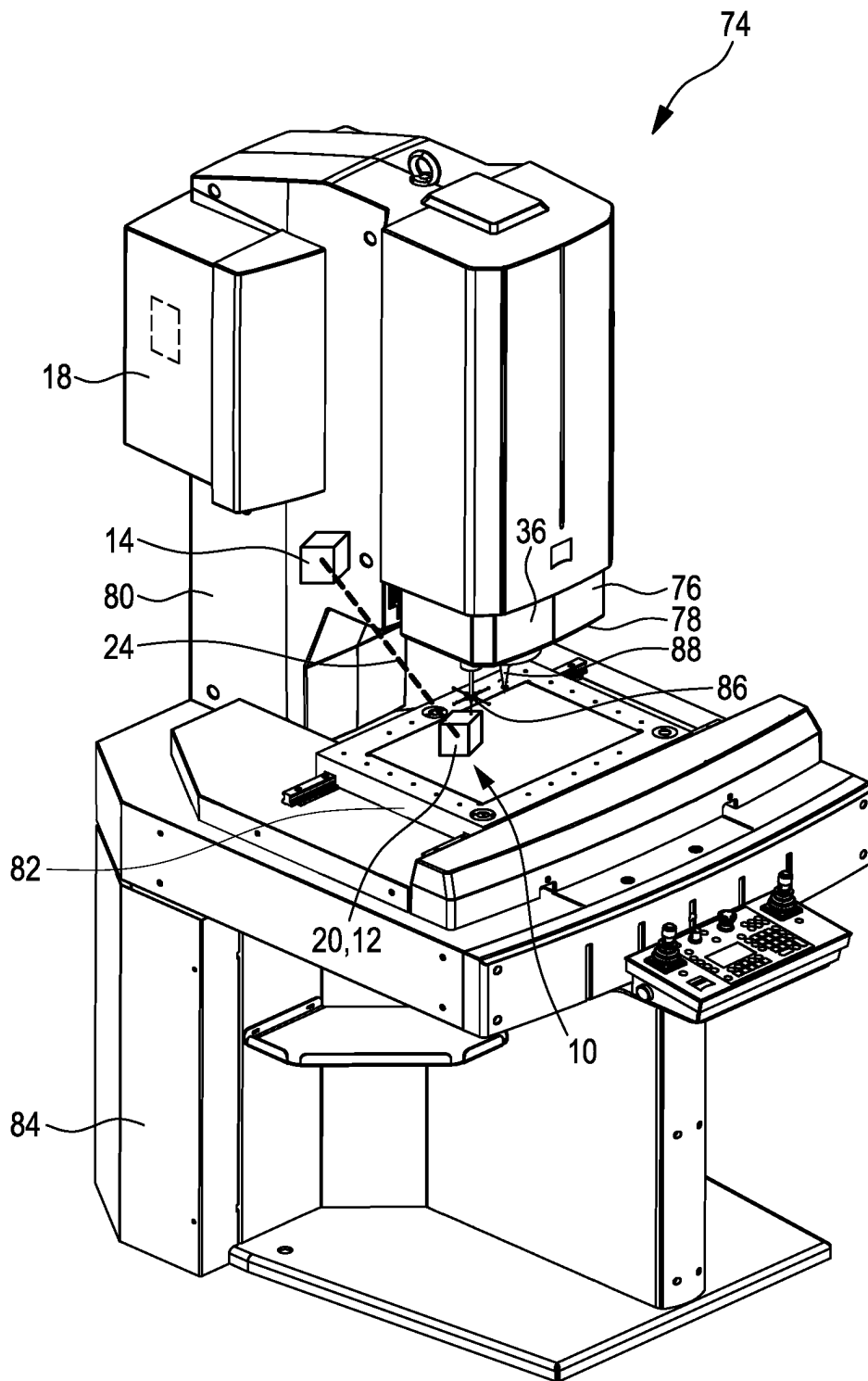
**Fig. 3C**



**Fig. 4A**



**Fig. 4B**



**Fig. 5**