



(10) **DE 10 2015 217 637 B4** 2021.01.14

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 217 637.1**
(22) Anmeldetag: **15.09.2015**
(43) Offenlegungstag: **16.03.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.01.2021**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01B 11/03 (2006.01)
G01B 21/04 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, 73447
Oberkochen, DE**

(74) Vertreter:
**Patentanwältin Bressel und Partner mbB, 10785
Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Kern, Rudolf, 73430 Aalen, DE; Burger, Jochen,
89551 Königsbrunn, DE; Brenner, Kurt, 74589
Satteldorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2013 105 753	B3
DE	103 40 803	A1
DE	10 2007 054 915	A1
DE	11 2013 001 142	T5
WO	2013/ 068 044	A1

**EI-Hayek, Nadim; Nouira, Hichem; Anwer,
Nabil; Damak, Mohamed; Gibaru, Olivier:
Comparison of Tactile and Chromatic
Confocal Measurements of Aspherical Lenses
for Form Metrology. In: INTERNATIONAL
JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND
MANUFACTURING Vol. 15, No. 5, pp. 821-829, Mai
2014 - Print ISSN 2234-7593, Online ISSN 2005-
4602**

(54) Bezeichnung: **Betreiben eines konfokalen Weißlichtsensors an einem Koordinatenmessgerät und Anordnung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betreiben eines konfokalen Weißlichtsensors (215) an einem Koordinatenmessgerät (211), welches einen Sensorträger (110) zum Ankoppeln eines Koordinaten-Messsensors aufweist, der in einer geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zu einer Basis des Koordinatenmessgeräts (211) beweglich ist, wobei

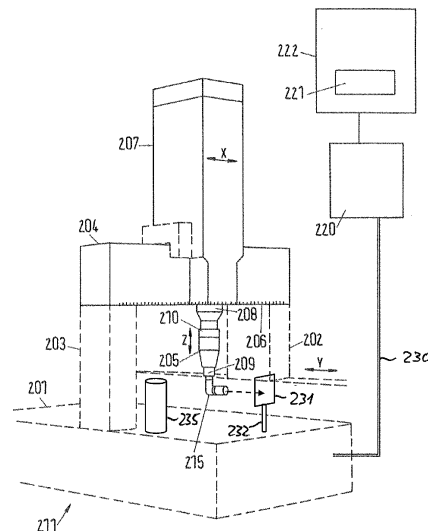
a) der konfokale Weißlichtsensor (215) an den Sensorträger (110) angekoppelt wird,

b) der konfokale Weißlichtsensor (215) in der geradlinigen Bewegungsrichtung auf einen Referenzkörper (231) ausgerichtet wird, wobei eine Position des Referenzkörpers (231) in Bezug auf die geradlinige Bewegungsrichtung bekannt ist oder ermittelt wird,

c) der Sensorträger (110) mit dem daran angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) und der Referenzkörper (231) relativ zueinander in der geradlinigen Bewegungsrichtung bewegt werden und an verschiedenen Bewegungspositionen jeweils von dem konfokalen Weißlichtsensor (215) ein Messsignal entsprechend einem Abstand des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu dem Referenzkörper (231) erzeugt wird, wobei das Messsignal eine Intensitätsverteilung des vom Referenzkörper reflektierten und vom Weißlichtsensor empfangenen Lichts über einen Wellenlängenbereich von Messstrahlung des Weißlichtsensors wiedergibt und jeweils von einem Positionsmesssystem

(206) des Koordinatenmessgeräts (211) die Bewegungsposition bezüglich der geradlinigen Bewegungsrichtung ermittelt wird,

d) aus den erzeugten Messsignalen und aus den ermittelten ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines konfokalen Weißlichtsensors an einem Koordinatenmessgerät und eine Anordnung mit einem Koordinatenmessgerät und einem konfokalen Weißlichtsensor.

[0002] Es ist bekannt, Koordinatenmessgeräte (im Folgenden kurz: KMG) zum Messen von Koordinaten einer Werkstückoberfläche zumindest eines Werkstücks zu verwenden. Die Werkstückoberfläche wird mit zumindest einem Sensor des KMG abgetastet, und zwar durch taktiles Antasten der Werkstückoberfläche mit einem Taster und/oder berührungslos. Zu den berührungslos abtastenden Sensoren gehören die optischen Sensoren. Eine Art optischer Sensoren sind die Laser-Triangulationssensoren. Eine andere Art optischer Sensoren sind konfokale Weißlichtsensoren. Ihre Verwendung als Sensoren von Koordinatenmessgeräten ist z.B. aus der DE 103 40 803 A1 bekannt.

[0003] Unter einem Koordinatenmessgerät wird ein Gerät verstanden, dass unter Verwendung von zumindest einem Sensor Koordinaten eines Werkstücks messen kann. Die vorliegende Erfindung bezieht sich speziell auf Koordinatenmessgeräte, die Koordinaten von Oberflächen und/oder Materialgrenzflächen von Werkstücken messen können. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner speziell Koordinatenmessgeräte mit einer Bewegungsvorrichtung, die eine Relativbewegung des Sensors und des Werkstücks ermöglicht. Eine Möglichkeit, den Sensor und das Werkstück relativ zueinander zu bewegen, bieten KMG mit einem oder mehreren relativ zu einer ruhenden Basis beweglichen Sensor. Beispiele dafür sind Koordinatenmessgeräte in Portalbauweise oder Gantrybauweise. Das zu vermessende Werkstück wird üblicherweise direkt auf der ruhenden Basis, z.B. einem Messtisch, oder über einen Werkstückhalter (z.B. einen Drehtisch) auf der Basis platziert. Eine andere Möglichkeit für eine Relativbewegung von Sensor und Werkstück bieten Koordinatenmessgeräte mit einem beweglichen Messtisch und feststehendem Sensor, z.B. KMG mit einem sogenannten X-/Y-Messtisch, der in zwei senkrecht zueinander verlaufenden Bewegungsrichtungen beweglich ist. Wie das Beispiel der KMG in Portalbauweise oder Gantrybauweise mit Drehtisch zeigt, sind Mischformen beider Arten von KMG möglich, d.h. die Relativbewegung kann sowohl durch eine Bewegung des Sensors als auch durch eine Bewegung des Werkstücks relativ zu einer ruhenden Basis erzeugt werden. Eine weitere solche Mischform ist z. B. durch die Baureihe O-INSPECT der Carl-Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen, Deutschland realisiert. Das Werkstück wird auf einem beweglichen X-/Y-Messtisch platziert. Der Sensor ist jedoch zusätzlich in vertikaler Richtung (Z-Richtung) beweglich. Die

Erfindung betrifft insbesondere alle diese Arten von KMG.

[0004] Unter einem konfokalen Weißlichtsensor wird ein Sensor verstanden, der das Prinzip der chromatisch-konfokalen Abstandsmessung nutzt. Weißes Licht (d.h. elektromagnetische, nicht notwendiger Weise sichtbare Strahlung mit Strahlungsanteilen mehrerer Wellenlängen) wird von einer Lichtquelle auf eine Fokussieroptik eingestrahlt. Die Fokussieroptik bewirkt eine Dispersion der Strahlung, d.h. es findet eine chromatische Aberration statt. Als Resultat werden die Strahlungsanteile der verschiedenen Wellenlängen in unterschiedlichem Abstand zu der Fokussieroptik fokussiert. Befindet sich im jeweiligen Fokus (Fokus-Punkt oder Fokus-Linie) ein Objekt, das die Strahlung in Richtung des Sensors zurückreflektiert, wird vom Sensor Strahlung derjenigen Wellenlänge mit maximaler Intensität detektiert, die im Fokus reflektiert wurde. Es ist auch möglich, dass gleichzeitig Strahlung verschiedener Wellenlängen an ihren jeweiligen Fokussen reflektiert wird. Dann detektiert der Sensor jeweils bei diesen Wellenlängen ein (lokales) Intensitätsmaximum. Aus der Wellenlänge des einzigen Intensitätsmaximums oder aus den Wellenlängen der Intensitätsmaxima kann bei Kenntnis des Abstandes des Fokus zum Sensor (z. B. zur Fokussieroptik) der Abstand zwischen Sensor und Werkstückoberfläche ermittelt werden. Diese Kenntnis ist jedoch zunächst nicht vorhanden und wird in der Regel durch eine Referenzmessung gewonnen, bei der der Abstand zwischen Sensor zum Reflexionsort auch auf andere Weise gemessen wird, z. B. durch ein Laserinterferometer.

[0005] Aus DE 10 2013 105 753 B3 ist es bekannt, Weißlichtsensoren von einem Koordinatenmessgerät automatisch aufnehmen zu lassen. Ein bewegliches Teil des Koordinatenmessgeräts und der Weißlichtsensor weisen jeweils eine Wechselschnittstelle zum Koppeln des Weißlichtsensors mit einer Trägerstruktur des Koordinatenmessgeräts auf. Folglich können nacheinander unterschiedliche Sensoren an der Wechselschnittstelle des KMG betrieben werden.

[0006] Weißlichtsensoren werden üblicherweise mit einer Signalverarbeitungseinheit kombiniert, die die Signale des Weißlichtsensors verarbeitet. Insbesondere findet in der Signalverarbeitungseinheit eine Auswertung der Signale des Weißlichtsensors statt, sodass die Einheit ein Beispiel für eine Auswertungseinrichtung ist. Wenn der Auswertungseinrichtung die o.g. Kenntnis über den Abstand des Fokus jeweils für die einzelnen Wellenlängenanteile des Weißlichts zur Verfügung steht, kann die Auswertungseinrichtung auch den tatsächlichen Abstand von reflektierenden Oberflächen und Materialgrenzflächen am Übergang zwischen verschiedenen Materialien aus den Sensorsignalen ermitteln. Der Weißlichtsensor und die Auswertungseinrichtung werden üblicherweise über

ein Glasfaserkabel miteinander verbunden, d.h. das von dem Weißlichtsensor gelieferte Signal ist die von dem Sensor empfangene, insbesondere von einem Werkstück reflektierte Strahlung. Dies hat den Vorteil, dass bei dem Betrieb der Auswertungseinrichtung erzeugte Wärme nicht am Ort des Weißlichtsensors entsteht. Auch das Weißlicht kann von der Lichtquelle über ein Glasfaserkabel zum Ort der Fokussieroptik des Weißlichtsensors übertragen werden. Allgemeiner formuliert wird ein Lichtleiter für die von dem Weißlichtsensor empfangene Strahlung und/oder für das Weißlicht von der Lichtquelle verwendet. Wie bereits erwähnt muss das Weißlicht nicht oder nicht vollständig im sichtbaren Wellenlängenbereich liegen. Bei Verwendung eines Lichtleiters befinden sich somit zumindest Teile des Sensorsystems, welches den Abstand zwischen Sensor und Werkstück misst, nicht am Ort der Fokussieroptik, der auch der Ort des Empfangs der reflektierten Strahlung ist. Insbesondere bei der Verwendung eines Weißlichtsensors an einem KMG mit einer Bewegungseinrichtung, die den Sensor relativ zu einer ruhenden Basis bewegt, kann daher der bewegliche Weißlichtsensor lediglich die Fokussieroptik aufweisen, die auch die reflektierte Strahlung empfängt und die z.B. eine Schnittstelle oder einen festen Anschluss zu einem Lichtleiter hat. Teile des Lichtleiters und die Auswertungseinrichtung (sowie die Lichtquelle, sofern sie nicht Teil des beweglichen Sensors ist) können ortsfest bezüglich der Basis sein. Der Sensor kann daher auch als Sensorkopf des Sensorsystems bezeichnet werden.

[0007] Wie erwähnt muss die Kenntnis des Abstandes des Fokus zum Sensor für jede Wellenlänge bzw. Frequenz der Messstrahlung des Sensors, d.h. für jeden Anteil des Weißlichts, der zur Abstandsmessung verwendet werden soll, erlangt werden. Theoretisch wäre es möglich, diese Kenntnis durch genaue Berücksichtigung der optischen Eigenschaften der Fokussieroptik des Sensors zu erlangen. Die Fokusabstände könnten daraus berechnet werden. Wegen Fertigungstoleranzen ist dies aber nicht praktikabel. Auch können die optischen Eigenschaften der Fokussieroptik von den Betriebsbedingungen abhängen, insbesondere von der Temperatur. In der Praxis wird die Kenntnis über den wellenlängenabhängigen Fokusabstand daher bereits beim Hersteller des Sensors durch eine Referenzmessung erlangt: Für eine Vielzahl von Abständen zwischen dem Sensor und einem Referenzkörper, der die Messstrahlung auf den Sensor zurückreflektiert, werden einerseits die Messsignale des Sensors gewonnen und aufgezeichnet und/oder ausgewertet und wird andererseits durch eine zusätzliche Abstandsmessung eines anderen Abstandsmesssystems der Abstand zwischen Sensor und Referenzkörper gemessen. Dies ermöglicht es insbesondere, Linearisierungsparameter zu bestimmen, mit denen aus Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors bei unterschiedlich großem Objekt-Abstand Funktionswerte einer linearen mathemati-

schen Funktion des Messwertes (also des Messergebnisses des Sensors) in Abhängigkeit des Objekt-Abstandes ermittelt werden können. Vereinfacht ausgedrückt ermöglichen es die Linearisierungsparameter, die Messsignale des Sensors (die die Intensitätsverteilung des vom Sensor empfangenen reflektierten Lichts über den Wellenlängenbereich der Messstrahlung wiedergeben) so in Abstands-Messwerte des Objekt-Abstandes umzurechnen, dass bei doppeltem Objekt-Abstand auch der doppelte Messwert des Objekt-Abstandes erhalten wird. Diese erhaltenen Messwerte des Objekt-Abstandes können dann von der Auswertungseinrichtung ausgegeben werden. Während des Messbetriebes des Sensors erhält der Benutzer oder eine an die Auswertungseinrichtung angeschlossene Messwert-Verarbeitungseinrichtung daher lediglich die mittels der Kenntnis über den Fokus-Abstand erhaltenen Messwerte. Die primären Messsignale des Sensors werden während des normalen Messbetriebes üblicherweise nicht aus dem Sensorsystem ausgegeben.

[0008] Bei konfokalen Weißlichtsensoren handelt es sich um im Vergleich zu anderen Abstandssensoren (wie z. B. kapazitive Sensoren) hochauflösende und genaue Abstandssensoren. Auf dem Markt werden z.B. Weißlichtsensoren mit einer maximalen Auflösung von einem Hundertstel Mikrometer und Messbereichen in der Größenordnung von mehreren Zehntel Millimetern bis mehreren Zehn Millimetern angeboten. Ein Beispiel dafür ist der konfokale Weißlichtsensor mit der Typenbezeichnung „confocal IDT IFS 2405“ der Micro-Epsilon Messtechnik GmbH und Co. KG, Ortenburg, Deutschland.

[0009] Wenn wie in DE 10 2013 105 753 B3 angegeben Weißlichtsensoren an einem Koordinatenmessgerät über eine Wechselschnittstelle eingewechselt werden können, sodass sie für die Benutzung an dem KMG zur Verfügung stehen, erfordert deren Betrieb die genannte Kenntnis über den Fokus-Abstand. Wie ebenfalls bereits erwähnt, ist es aber vorteilhaft, die Auswertungseinrichtung und/oder die Lichtquelle vom Weißlichtsensor (d.h. von dem Messkopf) örtlich zu entkoppeln. Lediglich der Weißlichtsensor wird/ist über die Wechselschnittstelle an dem KMG angeordnet. Das Einwechseln eines Weißlichtsensors führt daher nur dann zu einem betriebsbereiten Zustand, wenn auch die Auswertungseinrichtung und/oder Lichtquelle an geeigneter Stelle des KMG oder in dessen Umgebung vorhanden ist und über eine Lichtleitung mit dem Sensor verbunden ist/wird. Die Kenntnis über den Fokus-Abstand oder die entsprechenden Parameter, die vom Hersteller des Sensors mitgeliefert werden, sind aber jedenfalls bei der vom Hersteller angegebenen Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messung nur dann gültig, wenn sich das Sensorsystem in demselben Gesamtzustand wie während der Referenzmessung beim Sensorhersteller befindet. Selbst wenn die Auswer-

tungseinrichtung und/oder die Lichtquelle nicht verändert wird und z.B. über einen längeren Zeitraum hinweg am KMG montiert bleibt, der Sensor aber vom KMG abgekoppelt und wieder angekoppelt wird, kann dies den Betriebszustand des Weißlichtsensor-Systems verändern. Insbesondere kann der Lichtleiter an der Schnittstelle zum Sensor und/oder zur Auswertungseinrichtung und/oder Lichtquelle in einer geringfügig veränderten Position und Ausrichtung befestigt werden, die aber Einfluss auf die Licht- und/oder Signalübertragung hat. Ferner gibt es Weißlichtsensoren mit unterschiedlichen Messbereichen und unterschiedlichen Fokus-Abständen.

[0010] Die Veröffentlichung von El-Hayek, N. et al. mit dem Titel „Comparison of tactile and chromatic confocal measurements of aspherical lenses for form metrology“, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 15, No. 5, Seiten 821-892 (Mai 2014), beschreibt ein Verfahren zur In-Situ-Kalibrierung eines konfokalen Weißlichtsensors an einem einzigen Punkt einer asphärischen Linse. Außerdem wird mit dem konfokalen Weißlichtsensor die asphärische Oberfläche der Linse optisch abgescannt und ein entsprechender Datensatz erzeugt. Der konfokale Weißlichtsensor wird bei der Kalibrierung und beim Abscannen von einem Koordinatenmessgerät gehalten. Bei der Kalibrierung wird die asphärische Linse über einen Bewegungsbereich relativ zu dem konfokalen Weißlichtsensor bewegt, wobei die Größe des Bewegungsbereichs dem Arbeitsabstand des konfokalen Weißlichtsensors entspricht. Die durch den konfokalen Weißlichtsensor gewonnenen Informationen werden mit Informationen eines in Bewegungsrichtung ausgerichteten differentiellen Laserinterferometers verglichen. Die Umwandlung der aufgezeichneten digitalen Daten des konfokalen Weißlichtsensors in den Abstand wird erreicht, indem ein stückweise lineares Modell angewendet wird. Bei der Aufnahme von Messwerten der asphärischen Linse wird die Bewegung des Koordinatenmessgeräts durch die Laser-Interferometer gesteuert.

[0011] DE 11 2013 001 142 T5 beschreibt ein Verfahren zum Betreiben eines chromatischen Entfernungssensor-Systems (CRS), um abnormale Spektralprofile zu identifizieren, die von Licht herrühren, das von mehr als einem Teil einer Werkstückoberfläche reflektiert wird. Es wird ein Labor-Kalibrierverfahren beschrieben, wobei ein Spiegel eine Kalibrieroberfläche entlang der optischen Achse eines Elements des CRS bereitstellt. Die Verschiebung des Spiegels wird in Schritten gesteuert. Für jeden Schritt wird die tatsächliche Spiegelposition oder -verschiebung mit Hilfe eines Bezugsnormals wie eines Interferometers erfasst. Für jede tatsächliche Spiegelposition wird die entsprechende Koordinate des chromatischen Entfernungssensors, welche den Kalibrierabstand angibt, aufgrund der vom CRS-Detek-

tor gelieferten entsprechenden Intensitätsprofilen ermittelt, die kalibrierabstands-angebende Koordinate und die entsprechende tatsächliche Position werden dann aufgezeichnet.

[0012] DE 10 2007 054 915 A1 beschreibt eine Messeinrichtung zur Durchführung eines berührungslosen optischen Messverfahrens, mit einem Messkopfhalter, der mit einer Messkopf-Aufnahme zur auswechselbaren Anbringung eines Messkopfs ausgerüstet ist, und mit einem am Messkopfhalter anbringbaren Messkopf, der eine zur Messkopfaufnahme korrespondierende Messkopfschnittstelle aufweist. Die Messkopfaufnahme und die Messkopfschnittstelle bilden eine optische Übertragungsstrecke für eine Freistrahübertragung.

[0013] WO 2013/068044 A1 beschreibt den Betrieb eines taktil antastenden Koordinatenmessgeräts. Zur Vorbereitung des Betriebes und insbesondere zur Vorbereitung der Kalibrierung eines Koordinatenmessgeräts wird die Oberfläche der von einer Idealform einer Kugel abweichenden Tastkugel vermessen. Es können Informationen über die Form der Tastkugeln für den Zugriff durch ein Koordinatenmessgerät hinterlegt werden. Z.B. bei einem Wechsel des Tasters mit der Tastkugel kann anhand eines Identifikationsmerkmals der Kugel erkannt werden, welcher Taster aktuell verwendet wird. Auf Basis dieser Information kann das Koordinatenmessgerät auf die zugeordneten Forminformationen zugreifen und diese verwenden.

[0014] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben eines konfokalen Weißlichtsensors an einem Koordinatenmessgerät anzugeben, das den Betrieb eines konfokalen Weißlichtsensors an dem Koordinatenmessgerät bei hoher Messgenauigkeit vereinfacht. Insbesondere soll es möglich sein, verschiedene konfokale Weißlichtsensoren auf einfache Weise und bei hoher Messgenauigkeit an dem Koordinatenmessgerät betreiben zu können. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine entsprechende Anordnung mit einem Koordinatenmessgerät und einem konfokalen Weißlichtsensor anzugeben.

[0015] Gemäß einem grundlegenden Gedanken der vorliegenden Erfindung werden von dem an dem Koordinatenmessgerät (KMG) angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor Messsignale von Abständen zu einem Referenzkörper erzeugt, wird von Positionsmesssystem des Koordinatenmessgeräts jeweils für die Messsignale ein zugeordneter Abstand zwischen dem Weißlichtsensor und dem Referenzkörper gemessen und wird daraus die Kenntnis über den Fokus-Abstand des Weißlichtsensors erlangt. Die Erlangung dieser Kenntnis, während der Weißlichtsensor an dem KMG angekoppelt ist, hat den Vorteil, dass die Kenntnis genau dem Betriebszustand des

Weißlichtsensormesssystem entspricht, der auch bei der Vermessung von Werkstücken unter Verwendung des Weißlichtsensors an dem KMG besteht. Änderungen des Betriebszustandes des Weißlichtsensormesssystems, die zu einer Veränderung der Messsignale bei gleichem Objekt-Abstand zwischen Sensor und Messobjekt (Werkstück oder Referenzkörper) führen, werden daher berücksichtigt. Außerdem werden die Positionen des Sensors und des Referenzkörpers, oder zumindest deren Abstand, auf einfache Weise von dem ohnehin vorhandenen Positionsmesssystem des KMG gemessen. Da das Positionsmesssystem des KMG auch bei der Vermessung eines Werkstücks, das nicht der Referenzkörper ist, verwendet wird, wird die Kenntnis über den Fokus-Abstand auf Grundlage von Positions- und/oder Abstandsmessdaten desselben Positionsmesssystems und damit mit hoher Genauigkeit gewonnen. Die Genauigkeit der Positionsmessung kann jedenfalls mindestens ebenfalls so hoch sein wie bei der Vermessung eines Werkstücks durch den an dem KMG angekoppelten Weißlichtsensor. Insbesondere kann das KMG bei der Vermessung des Referenzkörpers durch den Weißlichtsensor zur Erlangung der Kenntnis über den Fokus-Abstand so betrieben werden, dass die Genauigkeit der Messungen des Positionsmesssystems des KMG größer ist als bei der Vermessung eines anderen Werkstücks durch den Weißlichtsensor. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, dass der konfokale Weißlichtsensor und der Referenzkörper langsamer und/oder in einer günstigen Weise relativ zueinander bewegt werden. Langsamere Bewegungen, Bewegungen mit geringerer Geschwindigkeit, geringeren Beschleunigungen und/oder geringerem Bewegungsruck können zu präziseren Positionsmesswerten führen. Ferner kann insbesondere das Verfahren eines beweglichen Teils eines KMG entlang einer Geräteachse bei gleichzeitiger Sperrung anderer Freiheitsgrade der Bewegung zu besonders präzisen Positionsmesswerten bezüglich der Bewegungsachse führen. Bei einem Koordinatenmessgerät in Portalbauweise z.B. kann die Relativbewegung des konfokalen Weißlichtsensors und des Referenzkörpers bei kaskadierten Bewegungsachsen beispielsweise entlang derjenigen Bewegungsachse stattfinden, die aus Sicht der Basis die erste Bewegungsachse ist. Demnach werden die an sich bezüglich der weiteren Bewegungsachsen beweglichen Teile des KMG, über die der Sensor an die Basis des KMG angekoppelt ist, während der Referenzmessung nicht bewegt.

[0016] Wenn sich der Zustand des Weißlichtsensormesssystems z.B. durch Alterung oder durch äußere Einwirkung (wie z.B. einen Stoß) geändert hat oder geändert haben könnte, kann auf dem KMG eine Referenzmessung mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

[0017] Referenzmessungen des Weißlichtsensors unter Verwendung des Referenzkörpers können von dem KMG auch wiederholt durchgeführt werden. Gegenüber einem Einsenden des Weißlichtsensormesssystems zum Hersteller oder zu einem Eichlabor ist der Aufwand einer Referenzmessung auf dem KMG erheblich geringer.

[0018] Insbesondere wird Folgendes vorgeschlagen: Ein Verfahren zum Betreiben eines konfokalen Weißlichtsensors an einem Koordinatenmessgerät, welches einen Sensorträger zum Ankoppeln eines Koordinaten-Messsensors aufweist, der in einer geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zu einer Basis des Koordinatenmessgeräts beweglich ist, wobei

a) der konfokale Weißlichtsensor an den Sensorträger angekoppelt wird,

b) der konfokale Weißlichtsensor in der geradlinigen Bewegungsrichtung auf einen Referenzkörper ausgerichtet wird, wobei eine Position des Referenzkörpers in Bezug auf die geradlinige Bewegungsrichtung bekannt ist oder ermittelt wird,

c) der Sensorträger mit dem daran angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor und der Referenzkörper relativ zueinander in der geradlinigen Bewegungsrichtung bewegt werden und an verschiedenen Bewegungspositionen jeweils von dem konfokalen Weißlichtsensor ein Messsignal eines Abstandes des konfokalen Weißlichtsensors zu dem Referenzkörper erzeugt wird und jeweils von einem Positionsmesssystem des Koordinatenmessgeräts die Bewegungsposition bezüglich der geradlinigen Bewegungsrichtung ermittelt wird,

d) aus den erzeugten Messsignalen des Abstandes des konfokalen Weißlichtsensors zu dem Referenzkörper und aus den ermittelten Bewegungspositionen Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt gewonnen werden,

e) von dem an dem Sensorträger angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor zumindest ein Messsignal eines Objekt-Abstandes zu einem von dem Koordinatenmessgerät zu vermessenden Messobjekt erzeugt wird, wobei das zu vermessende Messobjekt nicht das Referenzobjekt ist, und

f) aus dem zumindest einen Messsignal des Objekt-Abstandes und unter Verwendung der gewonnenen Informationen über den Zusammenhang ein Messwert des Objekt-Abstandes erzeugt wird.

[0019] Schritt a) kann alternativ beim Hersteller des KMG (z. B. als so genannter Festeinbau des Sensors) oder beim Nutzer des KMG ausgeführt werden.

[0020] Ferner wird eine Anordnung vorgeschlagen mit einem Koordinatenmessgerät, einem konfokalen Weißlichtsensor und einem Referenzkörper, wobei:

- das Koordinatenmessgerät einen Sensorträger zum Ankoppeln eines Koordinaten-Messsensors aufweist, der in einer geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zu einer Basis des Koordinatenmessgeräts beweglich ist,
- das Koordinatenmessgerät eine Steuerung aufweist, die ausgestaltet ist, den in der geradlinigen Bewegungsrichtung auf den Referenzkörper ausgerichteten und an dem Sensorträger angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor und den Referenzkörper in der geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zueinander an verschiedene Bewegungspositionen zu bewegen,
- das Koordinatenmessgerät ein Positionsmesssystem aufweist, das ausgestaltet ist, die Bewegungsposition bezüglich der geradlinigen Bewegungsrichtung zu ermitteln,
- der konfokale Weißlichtsensor ausgestaltet ist, in den verschiedenen Bewegungspositionen jeweils ein Messsignal eines Abstandes des konfokalen Weißlichtsensors zu dem Referenzkörper zu erzeugen,
- die Anordnung eine Auswertungseinrichtung aufweist, die ausgestaltet ist, aus den erzeugten Messsignalen des Abstandes des konfokalen Weißlichtsensors zu dem Referenzkörper und aus den ermittelten Bewegungspositionen Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt zu gewinnen,
- die Auswertungseinrichtung und/oder die Steuerung des Koordinatenmessgeräts ausgestaltet ist/sind, aus zumindest einem Messsignal des an dem Sensorträger angekoppelten konfokalen Weißlichtsensors, wobei das Messsignal einem Objekt-Abstand des konfokalen Weißlichtsensors zu einem von dem Koordinatenmessgerät zu vermessenden Messobjekt entspricht und wobei das zu vermessende Messobjekt nicht das Referenzobjekt ist, unter Verwendung der gewonnenen Informationen über den Zusammenhang einen Messwert des Objekt-Abstandes zu erzeugen.

[0021] Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich aus der Beschreibung von Ausgestaltungen der Anordnung und umgekehrt.

[0022] Die Bewegung in der geradlinigen Bewegungsrichtung ist insbesondere die o.g. günstige Bewegung, durch die das Positionsmesssystem des KMG besonders genaue Positionsmesswerte erzeugen kann.

[0023] Der Sensorträger, an den der konfokale Weißlichtsensor angekoppelt wird/ist, ist insbesondere ein auf dem Gebiet der Koordinatenmesstechnik bekannter Sensorträger, der z.B. an einer Pinole eines KMG in Portalbauweise oder in Gantrybauweise vorhanden ist. Wie noch näher anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert wird, kann der Sensorträger eine Wechselschnittstelle aufweisen, sodass der konfokale Weißlichtsensor und wahlweise ein anderer Sensor über die Wechselschnittstelle an den Sensorträger angekoppelt werden kann. Bei dem anderen Sensor kann es sich z.B. um einen anderen konfokalen Weißlichtsensor handeln. Unter dem Ankoppeln des Sensors an den Sensorträger wird jedoch auch das einmalige Ankoppeln z. B. beim Hersteller des KMG verstanden, so dass der Sensor z. B. permanent während des Betriebes des KMG beim Nutzer des KMG an dem Sensorträger angekoppelt bleibt.

[0024] Der Referenzkörper kann grundsätzlich jeder geeignete reflektierende Körper sein. Referenzkörper sind insbesondere von der oben beschriebenen Referenzmessung durch den Sensorhersteller bekannt. Gut für eine Referenzmessung eignen sich Glaskörper, z.B. scheibenförmige Glaskörper mit parallel zueinander verlaufenden gegenüberliegenden Oberflächen. In diesem Fall wird das von dem Weißlichtsensor erzeugte Weißlicht sowohl an der Vorderseite als auch an der Rückseite des Glaskörpers in Richtung des Sensors zurückreflektiert. Es entstehen somit Messsignale für den Messzustand, in dem sich sowohl die vordere Oberfläche als auch die rückwärtige Oberfläche des Glaskörpers in einem Fokus-Abstand zu dem Sensor befinden, d.h. an den beiden Fokus-Abständen wird jeweils Messstrahlung mit einem lokalen Intensitätsmaximum zurück in Richtung des Sensors reflektiert. Bei parallelen, insbesondere ebenen Oberflächen des Glaskörpers an den gegenüberliegenden Seiten wird die Messstrahlung von dem Weißlichtsensor vorzugsweise senkrecht zu den gegenüberliegenden Oberflächen oder in einem Winkelbereich zur Oberflächennormale mit einem vorgegebenen Einfallswinkel eingestrahlt, der insbesondere so klein ist, dass die reflektierte Strahlung bei hoher Strahlungsflussdichte wieder auf den Sensor zurückreflektiert wird und von diesem erfasst wird. Der Glaskörper kann aus jeder Art von geeignetem Glas bestehen, insbesondere auch aus Kunststoffglas.

[0025] Durch die geradlinige Relativbewegung von Weißlichtsensor und Referenzkörper, insbesondere in Richtung einer Bewegungsachse des KMG, kann die Beziehung (d.h. der Zusammenhang) zwischen

dem Messsignal des Weißlichtsensors und des Objekt-Abstandes für verschiedene Werte des Abstandes auf einfache Weise und besonders genau aufgenommen werden.

[0026] Ferner kann diese Beziehung bei Bedarf vor und/oder nach dem Vermessen eines Werkstücks durch den an dem KMG angekoppelten Weißlichtsensor aufgenommen werden. Es stehen somit präzise Ergebnisse für den Zusammenhang zwischen den Messsignalen und dem tatsächlichen Abstand zur Verfügung. Insbesondere kann der Weißlichtsensor zwischen der von dem KMG durchgeführten Referenzmessung (Schritte b) bis d), siehe oben) und der Vermessung des von dem KMG zu vermessenden Messobjekts permanent an dem Sensorträger des KMG angekoppelt bleiben. Die Ergebnisse der Referenzmessung sind daher zuverlässig für die Vermessung des Messobjekts gültig.

[0027] Insbesondere wie oben anhand eines Beispiels erläutert, können die Informationen über den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt Linearisierungsparameter aufweisen, mit denen aus Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors bei unterschiedlich großem Objekt-Abstand Funktionswerte einer linearen mathematischen Funktion des Messwertes in Abhängigkeit des Objekt-Abstandes ermittelt werden. Mit derartigen Linearisierungsparametern kann das Weißlichtsensor-System den Nutzer und/oder andere Einrichtungen des KMG mit Messwerten versorgen, die proportional zu dem Objekt-Abstand sind, jedenfalls innerhalb eines Messbereichs, für den die Linearisierungsparameter gültig sind.

[0028] Die Informationen über den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt können in einem Datenspeicher gespeichert werden, auf den eine Auswertungseinrichtung, die mit dem konfokalen Weißlichtsensor kombiniert ist, zugreift, wobei die Auswertungseinrichtung das Messsignal des Objekt-Abstandes empfängt und daraus den Messwert des Objekt-Abstandes erzeugt. Insbesondere kann der Datenspeicher Teil des Koordinatenmessgeräts sein, sodass bei Verwendung unterschiedlicher, an dem KMG angekoppelter Weißlichtsensoren die jeweilige Auswertungseinrichtung auf die Informationen in dem Datenspeicher zugreifen kann und unter deren Verwendung den Messwert des Objekt-Abstandes erzeugen kann. Alternativ oder zusätzlich kann das KMG eine einzige Auswertungseinrichtung aufweisen, die beim Betrieb unterschiedlicher an dem KMG angekoppelter Weißlichtsensoren jeweils die Messsignale des Weißlichtsensors empfängt und unter Verwendung der Informationen über den Zusammen-

hang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt den oder die Messwerte des Objekt-Abstandes erzeugt. In all diesen Fällen hat ein derartiges KMG den Vorteil, dass nicht das gesamte System des Weißlichtsensors ausgetauscht werden muss, wenn ein anderer Sensor oder ein anderer Weißlichtsensor an dem KMG betrieben wird. Insbesondere kann diejenige Signalverarbeitungseinheit, die die Messsignale des Objekt-Abstandes von dem Weißlichtsensor empfängt, permanent Teil des KMG bleiben. Insbesondere erlaubt es dies auch, einen defekten Weißlichtsensor gegen einen solchen gleichen Typs auszuwechseln, ohne weitere Systemkomponenten des Sensorsystems auszuwechseln.

[0029] Vorzugsweise sind in den gewonnenen Informationen über den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt auch Auswirkungen von systematischen Fehlern bei einer Signalübertragung der Messsignale des konfokalen Weißlichtsensors zu einer Auswertungseinrichtung enthalten. Insbesondere wenn der Weißlichtsensor über eine Lichtleitung mit der Lichtquelle und/oder der Auswertungseinrichtung verbunden ist, werden durch die Referenzmessung auch derartige systematische Fehler miterfasst und können z.B. durch Linearisierungsparameter mitberücksichtigt werden. Systematische Fehler können z.B. durch Schnittstellen zwischen dem Lichtleiter einerseits und der Lichtquelle und/oder der Auswertungseinrichtung andererseits entstehen. Bei einem An- und Abkoppeln des Lichtleiters kann sich der systematische Fehler auch verändern.

[0030] Insbesondere kann der Sensorträger des KMG eine Schnittstelle aufweisen, über die verschiedene konfokale Weißlichtsensoren wahlweise an dem Sensorträger ankoppelbar sind, wobei zumindest die Schritte a) bis e) in der oben stehenden Auflistung jeweils für verschiedene der konfokalen Weißlichtsensoren, die nacheinander an dem Sensorträger angekoppelt werden, ausgeführt werden. Vorzugsweise kann auch Schritt f) für jeden der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren ausgeführt werden, d.h. mit jedem Sensor werden auch Messwerte von Messobjekten erzeugt, die nicht der Referenzkörper sind. Die Schnittstelle des Sensorträgers erleichtert das An- und Abkoppeln von Weißlichtsensoren.

[0031] Vorzugsweise weist jeder der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren eine Sensorschnittstelle zum Ankoppeln an die Schnittstelle des Sensorträgers auf, wobei jeder der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren ein von einer Steuerung des KMG und/oder des Weißlichtsensors automatisch erfassbares individuelles Identifizierungsmerk-

mal aufweist, das den Weißlichtsensor von allen anderen konfokalen Weißlichtsensoren unterscheidet, und wobei die Steuerung das individuelle Identifizierungsmerkmal eines an der Schnittstelle des Sensorträgers angekoppelten konfokalen Weißlichtsensors erfasst und dem angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor diejenigen Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt zuordnet, die für den angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor gewonnen wurden. Es wird daher auf einfache Weise, durch Erkennen des individuellen Identifizierungsmerkmals die zugehörige Information zugeordnet. Insbesondere kann die Information für jeden der an das KMG ankoppelbaren Weißlichtsensoren in dem genannten Datenspeicher abgespeichert werden/sein. Der Abruf der Informationen ist somit einfach. Bei dem Identifizierungsmerkmal kann es sich z.B. um ein optisches Identifizierungsmerkmal handeln, das von einem weiteren optischen Sensor (z. B. Kamera) des KMG erfasst wird. Alternativ oder zusätzlich kann das Identifizierungsmerkmal durch digitale, computerlesbare Daten repräsentiert werden, die in einem entsprechenden Datenspeicher des konfokalen Weißlichtsensors gespeichert sind und über eine Datenschnittstelle aus dem Weißlichtsensor ausgelesen werden. Es ist auch möglich, das Identifizierungsmerkmal alternativ oder zusätzlich auf andere Weise zu realisieren.

[0032] Bei der Referenzmessung, insbesondere in Schritt c) der oben stehenden Auflistung, können an verschiedenen Bewegungspositionen des konfokalen Weißlichtsensors relativ zu dem Referenzkörper jeweils von dem konfokalen Weißlichtsensor Messsignale von zumindest zwei verschiedenen Abständen des konfokalen Weißlichtsensors zu zumindest zwei verschiedenen Oberflächenbereichen des Referenzkörpers erzeugt werden. Insbesondere in Schritt d) der oben stehenden Auflistung können dann aus den erzeugten Messsignalen der zumindest zwei verschiedenen Abstände und aus den ermittelten Bewegungspositionen die Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt gewonnen werden. Durch die Erfassung der zwei verschiedenen Abstände zu dem Referenzkörper werden redundante Informationen gewonnen, die bei der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den Messsignalen des Weißlichtsensors und dem Objekt-Abstand von Vorteil sind. Z.B. kann die Dicke des Referenzkörpers zwischen den zwei verschiedenen Abständen ermittelt werden. Bei konstanten Betriebsbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Dicke zeitlich konstant bleibt und daher bei verschiedenen Relativpositionen des Weißlichtsensors und des Referenzkörpers jeweils dieselbe Dicke, d.h. derselbe Positionsunterschied zwischen den Reflexi-

onsorten besteht. Diese redundante Information erhöht die Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den Messsignalen und dem Objekt-Abstand. Es ist auch denkbar, dass ein Referenzkörper nicht lediglich zwei, sondern mehr als zwei Reflexionsorte hat, an denen gleichzeitig Messstrahlung des Weißlichtsensors auf diesen zurückreflektiert wird, z. B. wenn sich in dem Referenzkörper ein Materialübergang zweier Materialien mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften befindet.

[0033] Alternativ oder zusätzlich kann während der Vermessung eines von dem KMG zu vermessenden Werkstücks, das nicht der Referenzkörper ist, eine Dickenmessung durch den Weißlichtsensor durchgeführt werden.

[0034] Insbesondere kann die Auswertungseinrichtung Teil einer Steuerungseinheit sein, die einen Betrieb des konfokalen Weißlichtsensors steuert. Z.B. kann die Steuereinheit die Messsignale des Weißlichtsensors um Anteile korrigieren, die nicht auf den Empfang von reflektierter Strahlung zurückzuführen sind und/oder die Dauer und/oder Wiederholung einer Messung steuern. Die Steuereinheit kann optional Teil der Steuerung des KMG sein und/oder mit der Bewegungssteuerung des KMG, die die Relativbewegung von Sensorträger und Messobjekt steuert, verbunden sein. Insbesondere kann die Steuereinheit auf diese Weise die Relativbewegung mit beeinflussen. Beispielsweise kann eine Relativbewegung erst dann stattfinden, wenn die Steuereinheit die Bewegung freigibt, nachdem eine Messung durch den Weißlichtsensor an einer momentanen Relativposition zu dem Messobjekt abgeschlossen ist. Die erwähnte Korrektur von nicht dem Empfang von reflektierter Strahlung zuzuordnenden Signalanteilen kann z.B. als sogenannte Dunkelkorrektur durchgeführt werden, d.h. eine Erfassung und Auswertung von Messsignalen des Weißlichtsensors, während keine reflektierte Strahlung von dem Weißlichtsensor empfangen wird.

[0035] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben. Die einzelnen Figuren der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 schematisch ein Koordinatenmessgerät in Portalbauweise, wobei an die Pinole ein Weißlichtsensor angekoppelt ist, der auf einen Referenzkörper ausgerichtet ist,

Fig. 2 das KMG mit dem Weißlichtsensor aus **Fig. 1**, wobei der Weißlichtsensor jedoch auf ein Messobjekt ausgerichtet ist, das sich von dem Referenzkörper unterscheidet,

Fig. 3 eine schematische Seitenansicht eines Weißlichtsensors und

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Anordnung mit einem an einem Sensorträger eines KMG angekoppelten Weißlichtsensor und einem mit dem KMG verbundenen Referenzkörper.

[0036] Das in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellte Koordinatenmessgerät (KMG) **211** in Portalbauweise weist einen Messtisch **201** auf, über dem Säulen **202, 203** in Y-Richtung eines kartesischen Koordinatensystems beweglich angeordnet sind. Die Säulen **202, 203** bilden zusammen mit einem Querträger **204** ein Portal des KMG **211**. Der Querträger **204** ist an seinen gegenüberliegenden Enden mit den Säulen **202** bzw. **203** verbunden. Nicht näher dargestellte Elektromotoren verursachen die Linearbewegung der Säulen **202, 203** in Y-Richtung, entlang der Bewegungs-Achse, die in Y-Richtung verläuft. Dabei ist z. B. jeder der beiden Säulen **202, 203** ein Elektromotor zugeordnet. Der Querträger **204** ist mit einem Querschlitten **207** kombiniert, welcher z. B. luftgelagert entlang dem Querträger **204** in X-Richtung des kartesischen Koordinatensystems beweglich ist. Die momentane Position des Querschlittens **207** relativ zu dem Querträger **204** kann anhand einer Maßstabsteilung **206** festgestellt werden. Die Bewegung des Querschlittens **207** entlang der Bewegungs-Achse in X-Richtung, wird durch zumindest einen weiteren Elektromotor (nicht dargestellt) angetrieben. An dem Querschlitten **207** ist eine in vertikaler Richtung bewegliche Pinole **208** gelagert, die an ihrem unteren Ende über eine Montageeinrichtung **210** und eine Drehvorrichtung **205** mit einer Wechselschnittstelle **209** verbunden ist, an die ein Weißlichtsensor **215** über eine abgewinkelte Halterung angekoppelt ist. Die Messrichtung des Weißlichtsensors verläuft aufgrund der Abwinkelung etwa parallel zur X-Y-Ebene. Die Wechselschnittstelle **209** kann angetrieben durch einen weiteren Elektromotor relativ zu dem Querschlitten **207** in Z-Richtung, entlang der Z-Bewegungs-Achse, des kartesischen Koordinatensystems bewegt werden. Durch die Elektromotoren des KMG kann der an die Wechselschnittstelle **209** angekoppelte Weißlichtsensor in dem Bereich unterhalb des Querträgers **204** in nahezu beliebige Positionen bewegt werden. Ferner kann die Drehvorrichtung **205** den Weißlichtsensor **215** um die Z-Achse drehen, sodass der Weißlichtsensor **215** in unterschiedliche Richtungen ausgerichtet werden kann. Alternativ kann eine Drehvorrichtung anstelle der Drehvorrichtung **205** verwendet werden, die andere Freiheitsgrade der Bewegung ermöglicht, z.B. eine zusätzliche Drehbeweglichkeit um eine Drehachse, die senkrecht zu der Vertikalen (Z-Richtung) verläuft.

[0037] Dargestellt ist ferner eine Auswertungseinrichtung **220**, die die Messsignale des Weißlichtsensors über eine schematisch dargestellte Verbindung **230** empfängt. Bei der Verbindung **230** kann es sich z.B. um eine Lichtleitung wie ein Glasfaserkabel handeln. Die Verbindung **230** kann anders als in **Fig. 1**

und **Fig. 2** dargestellt unmittelbar an dem Weißlichtsensor **215** angeschlossen sein.

[0038] Ferner ist in **Fig. 1** und **Fig. 2** schematisch eine Steuerung **222** des KMG **211** dargestellt, die insbesondere die Antriebe (z.B. die o.g. Elektromotoren) steuert. Insbesondere ist die Steuerung **222** dazu in der Lage, durch Steuerung der Antriebe den Weißlichtsensor **215** in eine gewünschte Position zu verfahren und auch die Drehvorrichtung **205** anzusteuern, um den Weißlichtsensor **215** in eine gewünschte Messrichtung auszurichten.

[0039] Die Steuerung **222** ist ferner mit einem Datenspeicher **221** kombiniert, in dem Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt abgespeichert sind. Im Folgenden wird auf diese Informationen unter der Bezeichnung „Linearisierungsparameter“ Bezug genommen, obwohl der Begriff Linearisierungsparameter lediglich eine spezielle Art solcher Informationen bezeichnet. In dem Datenspeicher können alternativ oder zusätzlich Informationen anderer Art als Linearisierungsparameter betreffend des Zusammenhangs zwischen den Messsignalen des Weißlichtsensors und dem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt gespeichert sein. In jedem Fall sind die gespeicherten Informationen jeweils einem bestimmten Weißlichtsensor zugeordnet, d.h. auch typgleichen Weißlichtsensoren sind separate Informationen zugeordnet, auf die im Folgenden unter dem Begriff Linearisierungsparameter Bezug genommen wird.

[0040] Üblicherweise wird beim Betrieb von konfokalen Weißlichtsensoren eine Linearisierung der Sensor-Messsignale bezüglich des tatsächlichen Abstands des Sensors vom Messobjekt vorgenommen. Stand der Technik ist die Durchführung einer Referenzmessung beim Hersteller des Sensors oder in einem zertifizierten Messlabor. Bei der Linearisierung werden Werte-Paare, jeweils bestehend aus einem Sensorsignal oder mehreren Sensorsignalen und dem zugehörigen Abstandsmesswert eines zusätzlichen Abstandsmesssystems aufgenommen. Insbesondere durch ein Modell, das das Verhalten des Weißlichtsensors abhängig vom Objekt-Abstand beschreibt, wird die Linearisierung vorgenommen. Bei dem Modell kann es sich z.B. um ein mathematisches Modell handeln, beispielsweise mit Polynomen und/oder Splines, die das Verhalten beschreiben. Alternativ oder zusätzlich kann es sich um physikalisches Modell handeln, das z.B. die Funktion der Fokussieroptik des Sensors beschreibt. Üblicherweise wird das Ergebnis der Linearisierung in dem Datenspeicher einer Steuereinheit des Weißlichtsensor-Systems abgespeichert. Steuereinheit und Sensor werden zusammen an den Anwender ausgeliefert.

[0041] Fig. 1 und Fig. 2 stellen ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Anordnung dar. Anhand dieser Figuren wird auch ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben. Im Gegensatz zu der Linearisierung beim Hersteller oder im Prüflabor wird eine Referenzmessung unter Verwendung eines Koordinatenmessgeräts durchgeführt, während der Weißlichtsensor an dem KMG angekoppelt ist. Im Beispiel der Fig. 1 und Fig. 2 ist der Weißlichtsensor 215 über die Wechselschnittstelle 209 an der Pinole 208 angekoppelt. Auf dem Messtisch 201 befindet sich ein Referenzkörper 231, z.B. eine planparallele Glasscheibe, wobei der Referenzkörper 231 über eine Stütze 232 auf dem Messtisch 201 abgestützt ist. Im Ausführungsbeispiel bleibt der Referenzkörper 231 relativ zu dem Messtisch 201 während der Referenzmessung ortsfest. Dagegen wird der Weißlichtsensor 215 vorzugsweise ausschließlich durch Bewegung der Säulen 202, 203 in Y-Richtung in verschiedene Positionen bezüglich des Messtisches 201 und damit auch bezüglich des Referenzkörpers 231 gebracht. In Fig. 1 ist der Weißlichtsensor 215 in einer dieser Relativpositionen dargestellt. Durch einen gestrichelten Pfeil ist angedeutet, dass der Weißlichtsensor 215 auf den Referenzkörper 231 ausgerichtet ist. In jeder Relativposition strahlt der Sensor 215 seine Messstrahlung auf den Referenzkörper 231 ein, wird die Messstrahlung zumindest an der dem Sensor 215 zugewandten Vorderseite reflektiert und wird die auf den Sensor 215 zurückreflektierte Messstrahlung von diesem erfasst.

[0042] Außerdem wird für jede der Relativpositionen aus dem Positionsmesssystem des KMG 211 die Position des Weißlichtsensors 215 ermittelt. Vorher, oder alternativ auch nach der Referenzmessung, wird die Position des Referenzkörpers 231 bezüglich des Messtisches 201 oder bezüglich eines anderen Referenzortes im Koordinatensystem des KMG 211 ermittelt. Möglich ist es z.B., dass vor oder nach dem in Fig. 1 dargestellten angekoppelten Zustand des Sensors 215 an der Pinole 208 ein anderer Sensor (z.B. ein taktile Taster) an die Pinole 208 angekoppelt wird. Mit dem taktilen Taster wird dann die Oberfläche des Referenzkörpers 231 angetastet und so die exakte Position zumindest bezüglich der Y-Richtung und vorzugsweise auch bezüglich der X- und Z-Richtung ermittelt.

[0043] Über eine nicht dargestellte Signalleitung empfängt die Steuerung 222 die Ergebnisse der Positionsbestimmung durch das Positionsmesssystem des KMG 211, sowohl während der Referenzmessung als auch optional bei Antastung durch einen taktilen Taster oder bei Abtastung durch einen anderen Sensor, der an dem KMG 211 angekoppelt ist. Außerdem empfängt die Auswertungseinrichtung 220 während der Referenzmessung die Messsignale des Sensors 215. Z.B. können sowohl die Ergebnisse der Positionsmessung als auch die Messsignale

des Sensors 215 (oder daraus weiter verarbeitete Signale) mit einer Zusatzinformation versehen werden, die eine Zuordnung der Positionsmessergebnisse zu den Messsignalen des Sensors 215 oder dem weiter verarbeiteten Signalen ermöglicht. Ein Beispiel hierfür ist eine fortlaufende Nummerierung der Wertepaare oder die Hinzufügung eines Zeitstempels, der die Messzeit wiedergibt.

[0044] Die Auswertungseinrichtung 220 oder die Steuerung 222 ermitteln aus den während der Referenzmessung aufgenommenen Messdaten, die aus den Messsignalen des Sensors 215 und aus dem Positionsmesssystem des KMG 211 erhalten wurden, den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors und dem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt für den Betriebszustand des Weißlichtsensor-Systems, der bei Ankopplung des Weißlichtsensors 215 an dem KMG gegeben ist. Die Linearisierungsparameter, also die Ergebnisse dieses Zusammenhangs, werden in dem Datenspeicher 221 abgespeichert, vorzugsweise mit Zusatzinformation, die den zugehörigen Weißlichtsensor 215, für den die Referenzmessung durchgeführt wurde, eindeutig bezeichnet.

[0045] In einem späteren Messbetrieb des KMG 211, der in Fig. 2 dargestellt ist, wird mit dem an der Pinole 208 angekoppelten Weißlichtsensor 215 ein Messobjekt 235 vermessen. Der Sensor 215 misst zumindest einen Abstand eines Oberflächenpunktes des Messobjektes 235 und das Positionsmesssystem des KMG 211 ermittelt die zugehörige Position und Ausrichtung des Sensors 215, z.B. in bezüglich des Messtisches 201 ortsfesten Koordinatensystem des KMG 211. Dabei wird der von dem Sensor 215 gemessene Abstand zu dem Messobjekt 235 von der Auswertungseinrichtung 220 ermittelt, die unter Verwendung der in dem Datenspeicher 221 abgespeicherten Linearisierungsparameter aus den Messsignalen des Sensors 215 zumindest einen Abstandsmesswert erzeugt. Dieser zumindest eine Messwert wird dann insbesondere von der Auswertungseinrichtung 220 zu der Steuerung 222 übertragen, die auch die Positionsmesswerte des Positionsmesssystems des KMG 211 erhält und daraus Koordinaten der Oberfläche des Messobjektes 235 berechnet.

[0046] Durch die erfindungsgemäße Ausführung der Referenzmessung auf einem KMG, das auch mindestens ein von dem Referenzkörper verschiedenes Messobjekt vermisst, wird insbesondere vermieden, dass bei einem Defekt einer Komponente des Weißlichtsensor-Systems (bestehend z.B. aus Weißlichtsensor, Lichtleiter und Auswertungseinrichtung) das gesamte System zum Hersteller oder einem Prüflabor verbracht werden muss und dort nach dem Austausch der defekten Komponente wieder eine Referenzmessung ausgeführt werden muss, um die Li-

nearisierungsparameter zu bestimmen. Außerdem ist aufgrund der Referenzmessung auf demselben KMG wie bei der eigentlichen Vermessung von Messobjekten (insbesondere Werkstücken) die Genauigkeit des Positionsmesssystems an die Genauigkeit der späteren Vermessung von Werkstücken angepasst. Es kann einerseits mit derselben Genauigkeit wie bei der späteren (oder auch früheren) Vermessung eines Messobjekts von dem Positionsmesssystem des KMG gemessen werden oder sogar mit etwas größerer Genauigkeit. Andererseits wird auch bei der Referenzmessung lediglich die Genauigkeit oder Auflösung der Positionsmessung benötigt, die bei der Vermessung der Messobjekte benötigt wird.

[0047] Gegenüber dem anhand von **Fig. 1** und **Fig. 2** beschriebenen Ausführungsbeispiel können zahlreiche Modifikationen vorgenommen werden. Insbesondere kann der Weißlichtsensor in einer anderen Richtung auf einen dort positionierten Referenzkörper ausgerichtet werden, um die Referenzmessung durchzuführen. Alternativ oder zusätzlich kann der Datenspeicher Teil der Auswertungseinrichtung des Sensorsystems sein. Ferner alternativ kann die Auswertungseinrichtung in die Steuerung des KMG integriert sein. Auf weitere Ausführungsformen wurde bereits vor der Figurenbeschreibung eingegangen.

[0048] **Fig. 3** zeigt vereinfacht das Funktionsprinzip eines Weißlichtsensors **15**. Eine Lichtquelle **16** erzeugt Messstrahlung, die in Richtung einer Lochblende **17** abgestrahlt wird. Der durch die Lochblende **17** hindurchtretende Teil der Messstrahlung, d.h. die Strahlung, welche tatsächlich für die Messung des Abstandes zu einem Messobjekt verwendet wird, fällt auf eine Fokussieroptik **18** ein, die in **Fig. 3** vereinfacht als Sammellinse dargestellt ist. Aufgrund der chromatischen Aberration werden die Strahlungsanteile der Messstrahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen in unterschiedlichem Abstand zu der Fokussieroptik fokussiert. Dies ist durch konvergierende gestrichelte Linien für drei Fokusse rechts in **Fig. 3** angedeutet. Wenn sich ein Messobjekt in einem der Fokusse befindet, wird die entsprechende reflektierte Strahlung mit maximaler Intensität zu dem Weißlichtsensor **15** zurückreflektiert. Die zurückreflektierte Strahlung ist in **Fig. 3** nicht dargestellt.

[0049] Der in **Fig. 4** schematisch dargestellte Weißlichtsensor **115** ist z.B. wie der in **Fig. 3** dargestellt aufgebaut. Er ist jedoch an einem Sensorträger **110** eines Koordinatenmessgeräts befestigt, z.B. über eine nicht näher dargestellte Wechselschnittstelle. Der Weißlichtsensor **115** strahlt Messstrahlung auf einen Referenzkörper **131** ein, der z.B. ein planparalleler Glaskörper, d.h. mit planen, parallel zueinander verlaufenden Oberflächen **132a**, **132b** ist. An jeder dieser Oberflächen **132** wird die eingestrahlte Messstrahlung zu einem Anteil in Richtung des Weißlichtsensors **115** zurückreflektiert, wie dies für zwei Strah-

lungswege durch gestrichelte Pfeile in **Fig. 4** angedeutet ist. Wenn sich jede der Oberflächen **132a**, **132b** in einem Fokus-Abstand entsprechend einer zugeordneten Wellenlänge der Messstrahlung befindet, kann anhand der reflektierten Strahlung von dem Weißlichtsensor bzw. dessen Auswertungseinrichtung ermittelt werden, in welchem Abstand sich die Oberflächen **132** zu dem Sensor **115** befinden. Wie durch einen Doppelpfeil links unten in **Fig. 4** angedeutet ist, kann die Position des Sensors **115** relativ zu dem Referenzkörper **131** verändert werden. In einer Referenzmessung kann daher für verschiedene Abstände des Sensors **115** zu dem Referenzkörper **131** jeweils ein Paar von Abstandsmesssignalen des Sensors **115** und von einem separaten Positionsmesssystem (nicht in **Fig. 4** dargestellt) der zugehörige Abstand oder zumindest die Position des Sensors **115** ermittelt werden. Die gleichzeitige Ermittlung des Abstandes der Oberflächen **132a**, **132b** von dem Sensor **115** ermöglicht auch die Bestimmung der Dicke des Referenzkörpers **131**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines konfokalen Weißlichtsensors (215) an einem Koordinatenmessgerät (211), welches einen Sensorträger (110) zum Ankoppeln eines Koordinaten-Messsensors aufweist, der in einer geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zu einer Basis des Koordinatenmessgeräts (211) beweglich ist, wobei
 - a) der konfokale Weißlichtsensor (215) an den Sensorträger (110) angekoppelt wird,
 - b) der konfokale Weißlichtsensor (215) in der geradlinigen Bewegungsrichtung auf einen Referenzkörper (231) ausgerichtet wird, wobei eine Position des Referenzkörpers (231) in Bezug auf die geradlinige Bewegungsrichtung bekannt ist oder ermittelt wird,
 - c) der Sensorträger (110) mit dem daran angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) und der Referenzkörper (231) relativ zueinander in der geradlinigen Bewegungsrichtung bewegt werden und an verschiedenen Bewegungspositionen jeweils von dem konfokalen Weißlichtsensor (215) ein Messsignal entsprechend einem Abstand des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu dem Referenzkörper (231) erzeugt wird, wobei das Messsignal eine Intensitätsverteilung des vom Referenzkörper reflektierten und vom Weißlichtsensor empfangenen Lichts über einen Wellenlängenbereich von Messstrahlung des Weißlichtsensors wiedergibt und jeweils von einem Positionsmesssystem (206) des Koordinatenmessgeräts (211) die Bewegungsposition bezüglich der geradlinigen Bewegungsrichtung ermittelt wird,
 - d) aus den erzeugten Messsignalen und aus den ermittelten Bewegungspositionen Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt gewonnen werden,

e) von dem an dem Sensorträger (110) angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) zumindest ein Messsignal eines Objekt-Abstandes zu einem von dem Koordinatenmessgerät (211) zu vermessenden Messobjekt (235) erzeugt wird, wobei das zu vermessende Messobjekt (235) nicht der Referenzkörper (231) ist, und

f) aus dem zumindest einen Messsignal des Objekt-Abstandes und unter Verwendung der gewonnenen Informationen über den Zusammenhang ein Messwert des Objekt-Abstandes erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Informationen über den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt (235) Linearisierungsparameter aufweisen, mit denen aus Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) bei unterschiedlich großem Objekt-Abstand Funktionswerte einer linearen mathematischen Funktion des Messwertes in Abhängigkeit des Objekt-Abstandes ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Informationen über den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt (235) in einem Datenspeicher (221) gespeichert werden, auf den eine Auswertungseinrichtung (220), die mit dem konfokalen Weißlichtsensor (215) kombiniert ist, zugreift, wobei die Auswertungseinrichtung (220) das Messsignal des Objekt-Abstandes empfängt und daraus den Messwert des Objekt-Abstandes erzeugt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, wobei in den gewonnenen Informationen über den Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu einem Messobjekt (235) auch Auswirkungen von systematischen Fehlern bei einer Signalübertragung der Messsignale des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu einer Auswertungseinrichtung (220) enthalten sind.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, wobei der Sensorträger (110) eine Sensorschnittstelle (209) aufweist, über die verschiedene konfokale Weißlichtsensoren wahlweise an den Sensorträger (110) ankoppelbar sind, und wobei zumindest die Schritte a) bis e) in Anspruch 1 jeweils für verschiedene der konfokalen Weißlichtsensoren, die nacheinander an den Sensorträger (110) angekoppelt werden, ausgeführt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei jeder der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren eine Schnittstelle zum Ankoppeln an die Sensorschnittstelle (209) des Sensorträgers (110) aufweist, wo-

bei jeder der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren ein von einer Steuerung des Koordinatenmessgeräts (211) und/oder des Weißlichtsensors automatisch erfassbares individuelles Identifizierungsmerkmal aufweist, das den Weißlichtsensor (215) von allen anderen konfokalen Weißlichtsensoren unterscheidet, und wobei die Steuerung das individuelle Identifizierungsmerkmal eines an der Sensorschnittstelle (209) des Sensorträgers (110) angekoppelten konfokalen Weißlichtsensors (215) erfasst und dem angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) diejenigen Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt (235) zuordnet, die für den angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) gewonnen wurden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-6, wobei in Schritt c) in Anspruch 1 an verschiedenen Bewegungspositionen des konfokalen Weißlichtsensors (215) relativ zu dem Referenzkörper (231) jeweils von dem konfokalen Weißlichtsensor (215) Messsignale von zumindest zwei verschiedenen Abständen des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu zumindest zwei verschiedenen Oberflächenbereichen des Referenzkörpers (231) erzeugt werden und in Schritt d) in Anspruch 1 aus den erzeugten Messsignalen der zumindest zwei verschiedenen Abstände und aus den ermittelten Bewegungspositionen die Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt (235) gewonnen werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-7, wobei das Positionsmesssystem (206) des Koordinatenmessgeräts (211) die Bewegungsposition anhand einer Maßstabsteilung ermittelt.

9. Anordnung mit einem Koordinatenmessgerät (211), einem konfokalen Weißlichtsensor (215) und einem Referenzkörper (231), wobei:

- das Koordinatenmessgerät (211) einen Sensorträger (110) zum Ankoppeln eines Koordinaten-Messsensors aufweist, der in einer geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zu einer Basis des Koordinatenmessgeräts (211) beweglich ist,
- das Koordinatenmessgerät (211) eine Steuerung aufweist, die ausgestaltet ist, den in der geradlinigen Bewegungsrichtung auf den Referenzkörper (231) ausgerichteten und an dem Sensorträger (110) angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) und den Referenzkörper (231) in der geradlinigen Bewegungsrichtung relativ zueinander an verschiedene Bewegungspositionen zu bewegen,
- das Koordinatenmessgerät (211) ein Positionsmesssystem (206) aufweist, das ausgestaltet ist, die Bewegungsposition bezüglich der geradlinigen Bewegungsrichtung zu ermitteln,

- der konfokale Weißlichtsensor (215) ausgestaltet ist, in den verschiedenen Bewegungspositionen jeweils ein Messsignal entsprechend einem Abstand des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu dem Referenzkörper (231) zu erzeugen, wobei das Messsignal eine Intensitätsverteilung des vom Referenzkörper reflektierten und vom Weißlichtsensor empfangenen Lichts über einen Wellenlängenbereich von Messstrahlung des Weißlichtsensors wiedergibt,
- die Anordnung eine Auswertungseinrichtung (220) aufweist, die ausgestaltet ist, aus den erzeugten Messsignalen und aus den ermittelten Bewegungspositionen Informationen über einen Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt (235) zu gewinnen,
- die Auswertungseinrichtung (220) und/oder die Steuerung des Koordinatenmessgeräts (211) ausgestaltet ist/sind, aus zumindest einem Messsignal des an dem Sensorträger (110) angekoppelten konfokalen Weißlichtsensors (215), wobei das Messsignal einem Objekt-Abstand des konfokalen Weißlichtsensors (215) zu einem von dem Koordinatenmessgerät (211) zu vermessenden Messobjekt (235) entspricht und wobei das zu vermessende Messobjekt (235) nicht der Referenzkörper (231) ist, unter Verwendung der gewonnenen Informationen über den Zusammenhang einen Messwert des Objekt-Abstandes zu erzeugen.

10. Anordnung nach Anspruch 9, wobei die Auswertungseinrichtung (220) Teil einer Steuerungseinheit ist, die einen Betrieb des konfokalen Weißlichtsensors (215) steuert.

11. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Anordnung eine Mehrzahl verschiedener konfokaler Weißlichtsensoren aufweist und wobei der Sensorträger (110) eine Sensorschnittstelle (209) aufweist, über die verschiedene konfokale Weißlichtsensoren wahlweise an den Sensorträger (110) ankoppelbar sind.

12. Anordnung nach Anspruch 11, wobei jeder der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren eine Schnittstelle zum Ankoppeln an die Sensorschnittstelle (209) des Sensorträgers (110) aufweist, wobei jeder der verschiedenen konfokalen Weißlichtsensoren ein von einer Steuerung des Koordinatenmessgeräts (211) und/oder des Weißlichtsensors automatisch erfassbares individuelles Identifizierungsmerkmal aufweist, das den Weißlichtsensor (215) von allen anderen konfokalen Weißlichtsensoren unterscheidet, und wobei die Steuerung ausgestaltet ist, das individuelle Identifizierungsmerkmal eines an der Sensorschnittstelle (209) des Sensorträgers (110) angekoppelten konfokalen Weißlichtsensors (215) zu erfassen und dem angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) diejenigen Informationen über einen

Zusammenhang zwischen Messsignalen des konfokalen Weißlichtsensors (215) und einem tatsächlichen Abstand des Weißlichtsensors zu einem Messobjekt (235) zuzuordnen, die für den angekoppelten konfokalen Weißlichtsensor (215) gewonnen wurden.

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 9-12, wobei das Positionsmesssystem (206) des Koordinatenmessgeräts (211) eine Maßstabteilung aufweist, anhand der es die Bewegungsposition ermittelt.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

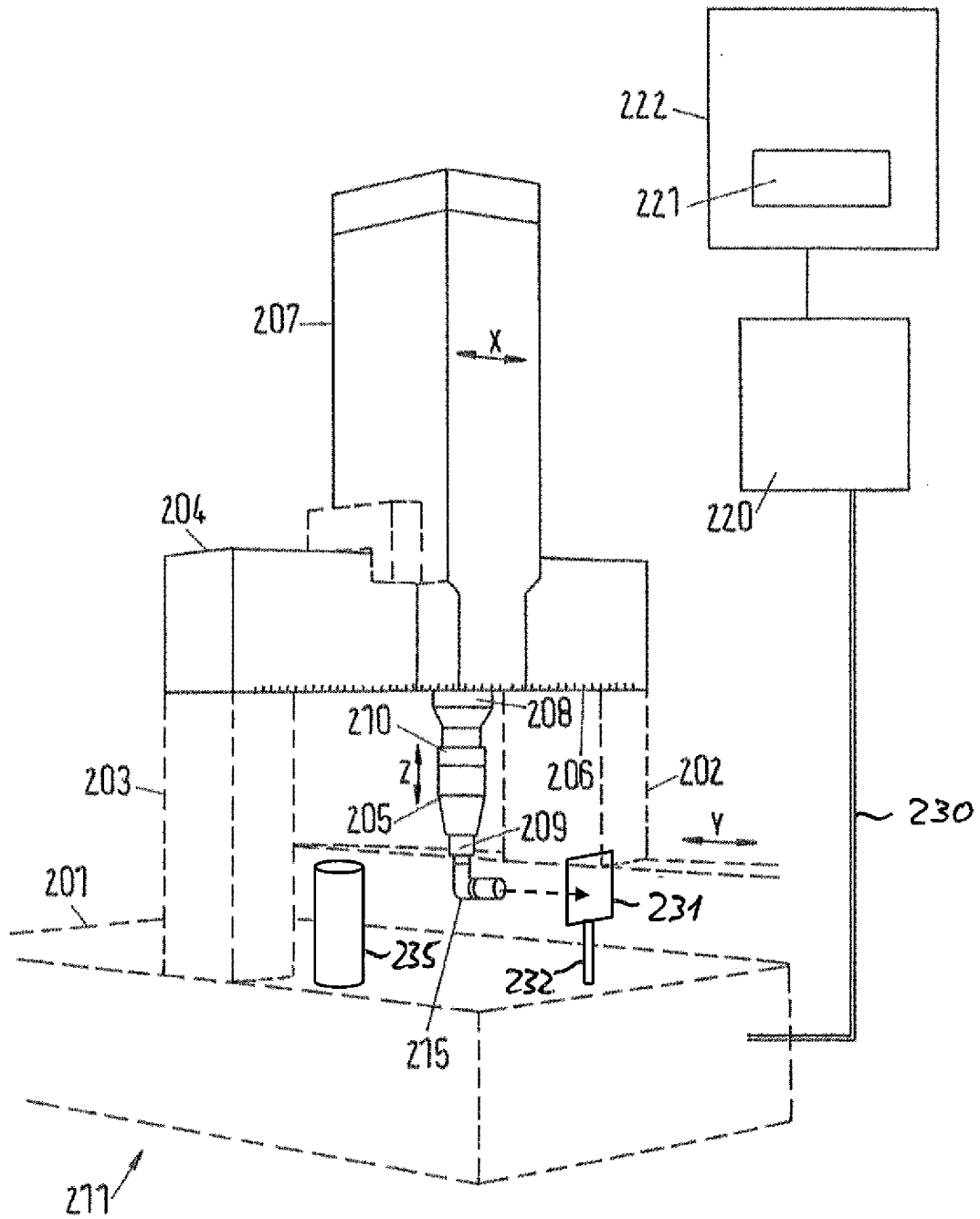


Fig. 1

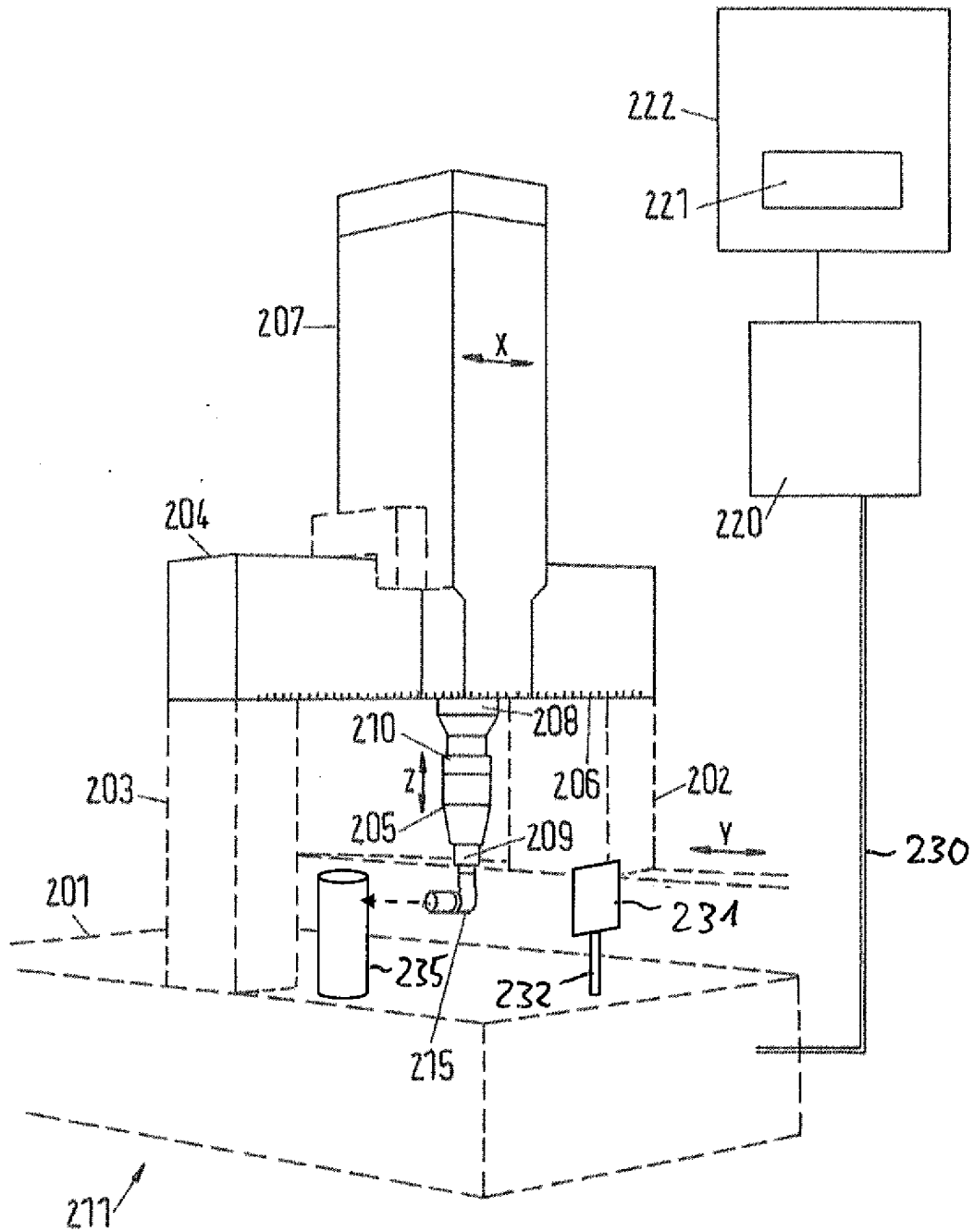


Fig. 2

