



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 100 538.4**

(22) Anmeldetag: **17.01.2014**

(43) Offenlegungstag: **23.07.2015**

(51) Int Cl.: **B25J 9/18 (2006.01)**

(71) Anmelder:
pi4_robotics GmbH, 13355 Berlin, DE

(74) Vertreter:
**Thiele, Thomas, Dipl.-Geophys. Dr.rer.nat., 82431
Kochel a. See, DE**

(72) Erfinder:
**Förster, Tilo, 02763 Mittelherwigsdorf, DE; Bingel,
Steffen, 10407 Berlin, DE; Pham, Xuan Ba, 12103
Berlin, DE; Schenk, Michael Torsten, 10245 Berlin,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

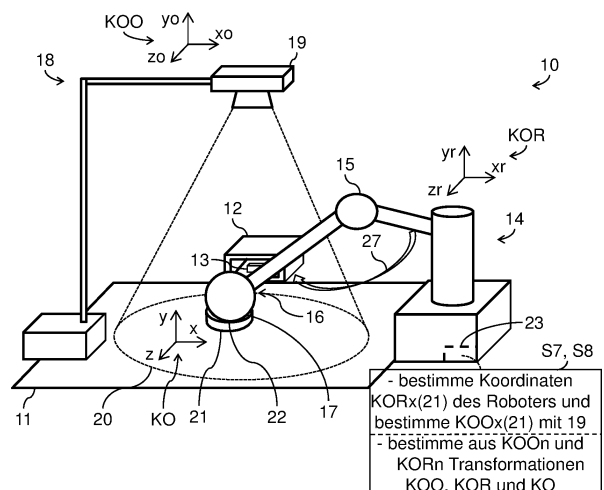
DE	10 2006 004 153	A1
DE	10 2010 032 840	A1
DE	601 21 105	T2
DE	694 11 130	T2
US	6 321 137	B1
US	7 899 577	B2
US	5 608 847	A
US	4 753 569	A
EP	2 783 814	A2

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

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters und einer Kamera und System zum Durchführen des Verfahrens**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters (14), und einer Kamera (18) mittels eines Auflagebereichs Positionierbereichs (11) relativ zueinander, wobei die Kamera (18) Bild-daten eines Bildbereichs (20) des Positionierbereichs (11) bereitstellt, und in einem ersten Schritt (S1) ein Kalibrier-Gegenkörper (21) im Bildbereich (20) angeordnet wird, in einem zweiten Schritt (S2) ein am Roboter (14) angeordneter Kalibrierkörper (17) am Kalibrier-Gegenkörper (21) angelegt wird und Roboter-Positionsdaten (KOR1(21)) bestimmt werden, wobei der Kalibrier-Gegenkörper (21) hinsichtlich zumindest einer Kontur (22) an zumindest eine Gegenkontur des Kalibrierkörpers (17) angepasst ist, in einem dritten Schritt Bilddaten des Kalibrier-Gegenkörpers (21) aufgenommen und damit Kamera-Positionsdaten (KOO1(21)) des Kalibrier-Gegenkörpers (21) bestimmt werden und mittels der Roboter-Positionsdaten (KOR1(21), KOR2(21), KORx(21)) und der Kamera-Positionsdaten (KOO1(21), KOO2(21), KOOx(21)) Transformationsdaten zum Kalibrieren des Roboters (14) und der Kamera (18) relativ zueinander bestimmt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters und einer Kamera und auf ein System zum Durchführen des Verfahrens.

[0002] Systeme mit einem Roboter mit einem Roboterarm insbesondere zum Handhaben von Gegenständen sind allgemein bekannt. Bei solchen Systemen sind Kameras zum Erfassen von Ausrichtung und Positionen solcher Gegenstände in einem Arbeitsbereich relativ zu dem Roboterarm bekannt. Um eine insbesondere automatisierte Steuerung des Roboterarms und gegebenenfalls weiterer steuerbare Systemkomponenten zu ermöglichen, werden vor Betriebsbeginn der Roboter, insbesondere dessen Roboterarm, und ein Bildbereich der Kamera relativ zueinander kalibriert. Dabei handelt es sich um einen aufwändigen Prozess, welcher unter anderem eine Vielzahl von Handhabungsschritten seitens einer Bedienperson erforderlich macht.

[0003] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters und einer Kamera mittels eines Positionierbereichs relativ zueinander bereitzustellen, welches einfach realisierbar ist und eine zuverlässige Kalibrierung ermöglicht. Insbesondere sollen geeignete Transformationsdaten für Koordinaten verschiedener Koordinatensysteme mit möglichst wenigen Verfahrensschritten bereitgestellt werden.

[0004] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 bzw. ein System mit den Merkmalen des Patentanspruchs 9 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen.

[0005] Bevorzugt wird gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters und einer Kamera mittels eines Positionierbereichs relativ zueinander, wobei die Kamera Bilddaten eines Bildbereichs des Positionierbereichs bereitstellt, und in einem ersten Schritt ein Kalibrier-Gegenkörper im Bildbereich in dem Positionierbereich angeordnet, insbesondere aufgelegt wird, in einem zweiten Schritt ein am Roboter angeordneter Kalibrierkörper am Kalibrier-Gegenkörper angelegt wird und Roboter-Positionsdaten bestimmt werden, wobei der Kalibrier-Gegenkörper hinsichtlich zumindest einer Kontur an zumindest eine Gegenkontur des Kalibrierkörpers angepasst ist, in einem dritten Schritt Bilddaten des Kalibrier-Gegenkörpers aufgenommen und damit Kamera-Positionsdaten des Kalibrier-Gegenkörpers bestimmt werden und mittels der Roboter-Positionsdaten und der Kamera-Positionsdaten Transformationsdaten zum Kalibrieren des Roboters und der Kamera relativ zueinander bestimmt werden.

[0006] Der Positionierbereich dient zum Positionieren des Kalibrierkörpers. Der Positionierbereich ist insbesondere ein Auflagebereich und ist gemäß bevorzugter Weiterbildung eine Ebene bzw. Fläche, auch Freiformfläche, auf der der Kalibriergegenkörper abgelegt werden kann. Nachdem das Verfahren bzw. die Kalibrierung durchgeführt wurde, ist der Positionier- bzw. Auflagebereich für weitere Schritte, die mit dem Roboter ausgeführt werden, nicht mehr erforderlich, so dass der Auflagebereich optional entfernt und/oder durch eine andere Auflagebasis ersetzt werden kann. Auch der Kalibrierkörper **17** ist am Roboter **14** bzw. dessen Arm wieder abnehmbar angeordnet, so dass der Kalibrierkörper **17** nach dem Kalibrieren vom Roboter **14** vorzugsweise abnehmbar ist, um z.B. einen Manipulator an dessen Stelle am Roboter **14** anzuordnen bzw. zu befestigen.

[0007] Dadurch, dass mittels der Roboter-Positionsdaten und der Kamera-Positionsdaten Transformationsdaten zum Kalibrieren des Roboters und der Kamera relativ zueinander bestimmt werden, wozu der Kalibrierkörper und der Kalibrier-Gegenkörper verwendet werden, werden gemäß bevorzugter Weiterbildung zugleich auch Transformationsdaten zum Kalibrieren des Roboters und der Kamera relativ zu dem Positionierbereich und/oder sonstigen später im Bildbereich befindlichen Gegenständen bestimmt. Die Transformationsdaten sind insbesondere Transformationsmatrizen, mit denen Positionsdaten zwischen den verschiedenen Koordinatensystemen umrechenbar sind.

[0008] Die Kamera ist insbesondere ein optischer Sensor, welcher ein Bild aufnehmen und Bilddaten zur Weiterverarbeitung bereitstellen kann. Kamera-Positionsdaten sind insbesondere Positionsdaten der momentanen Position des Gegen-Kalibrierkörpers in den Bilddaten eines mit der Kamera aufgenommenen Bildes. Die Kamera-Positionsdaten sind insbesondere einem Kamera-Koordinatensystem zugeordnet. Die Kamera kann auch aus einzelnen Komponenten bestehen, welche räumlich getrennt angeordnet sind. So kann ein optischer Sensor mit gegebenenfalls einer Linse in einer relativ zum Positionierbereich definierten Aufnahmeposition angeordnet sein, während ein zur Kamera gehörende Bilder verarbeitende Elektronik davon getrennt an einem anderen Ort oder sogar in einem das gesamte System zentral steuernden Prozessor eingerichtet ist.

[0009] Der Roboter ist insbesondere ein Industrieroboter, der bevorzugt vier oder mehr Achsen und vier oder mehr Freiheitsgrade hat. Insbesondere kann ein solcher Roboter der Funktionalität eines menschlichen Arms nachempfunden sein. Roboter-Positionsdaten sind insbesondere Positionsdaten der momentanen Position eines vorderseitigen Roboterabschnitts des Roboters und/oder des Kalibrierkörpers, während dieser in Eingriff mit dem Gegen-Kalibrier-

körper steht. Dabei steht der Kalibrierkörper insbesondere in einer räumlich eindeutig definierten oder definierbaren Position zu mindestens einer Komponente des Roboters, insbesondere zu einem vorderseitigen Arm oder Handhabungsabschnitt des Roboters, so dass die Positionsdaten des Kalibrierkörpers in einem eindeutigen Verhältnis zu den Roboter-Positionsdaten stehen. Die Roboter-Positionsdaten sind insbesondere einem Roboter-Koordinatensystem zugeordnet.

[0010] Unter der angepassten Kontur wird insbesondere verstanden, dass beim Aneinandersetzen des Kalibrier-Gegenkörpers und des Kalibrierkörpers zwischen deren Kontur bzw. Gegenkontur ein insbesondere formschlüssiger Eingriff ineinander erfolgt. Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung zentriert sich dadurch der Kalibrier-Gegenkörper unter dem Kalibrierkörper.

[0011] Insbesondere wird beim Entfernen des Kalibrierkörpers darauf geachtet, dass dabei die Position des Kalibrier-Gegenkörpers im Positionier- bzw. Auflagebereich nicht verändert wird.

[0012] Das Einsetzen bzw. Auflegen des Kalibrier-Gegenkörpers im Bildbereich im Positionier- bzw. Auflagebereich erfolgt so, dass zumindest ein für die Verfahrensdurchführung ausreichend großer oder eindeutig erfassbarer Abschnitt des Kalibrier-Gegenkörpers im Bildbereich angeordnet ist.

[0013] Insbesondere sind somit die Bilddaten der Kamera einem Kamera-Koordinatensystem zugeordnet. Eine Ausrichtung des Roboterarms und gegebenenfalls weiterer Roboterkomponenten werden mittels des Roboter-Koordinatensystems beschrieben.

[0014] Optional ist auch dem Positionierbereich ein Koordinatensystem zugeordnet. In dem Positionierbereich, insbesondere einem Auflagebereich angeordnete handzuhabende Gegenstände sind somit optional dem Koordinatensystem des Positionierbereichs zu anordbar.

[0015] Gemäß einer Weiterbildung kann vor dem Durchführen des dritten Schritts der Kalibrierkörper von dem Kalibrier-Gegenkörper entfernt werden, um den Kalibrier-Gegenkörper ganz unverdeckt oder zumindest weniger verdeckt vom Kalibrierkörper in dem Bildbereich der Kamera zu lassen. Dadurch kann ein größerer Abschnitt des Kalibrier-Gegenkörpers durch die Kamera erfasst werden und damit eine Positionsbestimmung des Kalibrier-Gegenkörpers bzw. der Kamera-Positionsdaten verbessert werden.

[0016] Eine Ausgestaltung besteht in einem Verfahren, bei dem vor dem Bestimmen der Transformationsdaten zumindest einmal in weiteren Schritten der Kalibrierkörper mit einer anderen Pose an den Kali-

brier-Gegenkörper angelegt wird und zusätzliche Roboter-Positionsdaten bestimmt werden und nachfolgend zu dieser Pose zusätzliche Kamera-Positionsdaten bestimmt werden, welche zum Bestimmen der Transformationsdaten mit verwendet werden.

[0017] Insbesondere beschreibt eine Pose die Position und Orientierung des Roboters in insbesondere dessen Koordinatensystem vollständig. Insbesondere beschreibt die Pose die Position und Ausrichtung aller Komponenten des Roboters zwischen dessen Basis und seinem vorderseitigen Arm oder Handhabungsabschnitt, insbesondere auch von daran angesetzten Zusatzkomponenten und Werkzeugen im dreidimensional aufgespannten Raum. Neben reinen statischen Koordinaten eines oder mehrere Punkte insbesondere des Roboters und/oder des Kalibrierkörpers werden zu solchen Punkten somit insbesondere auch Ausrichtungs- bzw. Winkelangaben bereitgestellt. Im Fall des Verstellens des Arms bzw. des Kalibrierkörpers durch den Raum beschreibt die Pose insbesondere auch den zeitlichen und/oder räumlichen Verlauf der Ausrichtung und Orientierung der einzelnen Komponenten des Roboters und des daran angeordneten Kalibrierkörpers.

[0018] Gemäß einer Weiterbildung sind die Daten aus den verschiedenen Posen gleichberechtigt und es gibt keine Pose die besonders behandelt wird. Es bleibt aber eine eindeutige Zuordnung der jeweiligen Pose bzw. Roboterposition bzw. Roboterorientierung zum jeweiligen Kamerabild mit den Bilddaten herstellbar, welche bei der Berechnung bzw. Bestimmung der Transformationsdaten zum Kalibrieren des Roboters und der Kamera verwendet wird.

[0019] Eine andere Ausgestaltung besteht in einem Verfahren, bei dem vor dem Bestimmen der Transformationsdaten zumindest einmal in einem weiteren Schritt die Position des Kalibrier-Gegenkörpers im Bildbereich im Positionierbereich verändert wird und zumindest ein Teil der Schritte bei dieser veränderten Position wiederholt wird zum Bestimmen zusätzlicher Roboter-Positionsdaten und zusätzlicher Kamera-Positionsdaten, welche zum Bestimmen der Transformationsdaten mit verwendet werden.

[0020] Das Einsetzen oder Auflegen des Kalibrier-Gegenkörpers kann vorteilhaft an einer beliebigen, insbesondere nicht zwingend vordefinierten Position innerhalb des Bildbereichs erfolgen. Dies erleichtert die Verfahrensweise gegenüber Verfahren mit fest vordefinierten Posen und Positionen, welche zur Kalibrierung angefahren bzw. eingestellt werden müssen.

[0021] Auch ist eine Ausgestaltung ein Verfahren, bei dem zum Bestimmen der Transformationsdaten drei oder mehr Paare aus derart bestimmten Roboter-

Positionsdaten und Kamera-Positionsdaten verwendet werden.

[0022] Gemäß einer besonders bevorzugten Weiterbildung wird die Position des Kalibrier-Gegenkörpers mindestens drei Mal im Bildbereich verändert, insbesondere verschoben und dabei zusätzlich zugleich jedes Mal auch die Pose so geändert, dass der vorderseitige Arm des Roboters, der Handhabungsabschnitt und/oder der insbesondere daran angeordnete Kalibrierkörper aus möglichst verschiedenen Winkeln zu dem Kalibrier-Gegenkörper führt, so dass für die Berechnung mehr unterschiedlich gewonnene Daten verwendbar sind.

[0023] Eine weitere Ausgestaltung ist ein Verfahren, bei dem der Kalibrier-Gegenkörper als die Kontur oder Teil der Kontur eine Ausnehmung aufweist und der Kalibrierkörper eine in die Ausnehmung einsetzbare Gegenkontur aufweist.

[0024] Auch eine Ausgestaltung ist ein Verfahren, bei dem der Kalibrier-Gegenkörper als die Kontur oder Teil der Kontur eine Durchtrittsöffnung aufweist.

[0025] Eine Durchtrittsöffnung bietet der Kamera zusätzlich zu einer Außenkontur des Kalibrier-Gegenkörpers auch eine definierte Innenkontur von diesem, die besonders einfach erfassbar und für die Lagebestimmung auswertbar ist.

[0026] Ebenso eine Ausgestaltung ist ein Verfahren, bei dem der Kalibrier-Gegenkörper als die Kontur oder Teil der Kontur insbesondere eine zumindest abschnittsweise ringförmige Ausnehmung aufweist und der Kalibrierkörper eine in die Ausnehmung einsetzbare zumindest abschnittsweise ringförmige, zumindest abschnittsweise kegelförmige, kugelförmige oder zumindest abschnittsweise kugelförmige Gegenkontur aufweist.

[0027] Insbesondere runde und kugelförmige Konturen von Kalibrierkörper und Kalibrier-Gegenkörper passen sich besonders gut und eindeutig aneinander an, wenn der Kalibrierkörper unter einer anderen Pose, insbesondere unter einem anderen Winkel an den Kalibrier-Gegenkörper angesetzt wird.

[0028] Neben diesen besonders bevorzugten Konturen sind gemäß anderen Weiterbildungen auch kantige Konturen einsetzbar, da die Kontur lediglich für eine genaue Positionierung dient und die Kamera-Positionsdaten im Kamera-Koordinatensystem erst bestimmt werden, nachdem die Roboter-Positionsdaten im Roboter-Koordinatensystem bestimmt wurden. Dadurch ist ein eventuelles Verschieben des Kalibrier-Gegenkörpers während des Ansetzens des Kalibrierkörpers vorteilhaft ohne Bedeutung für die Auswertung der gewonnenen Roboter- und Kamera-Positionsdaten.

[0029] Auch ist eine Ausgestaltung ein Verfahren, bei dem eine Mittenposition des Kalibrier-Gegenkörpers bestimmt wird.

[0030] Dies ist vorteilhaft für die Bestimmung der Kamera-Positionsdaten bei einer Bildverarbeitung der von der Kamera aufgenommenen Bilddaten. Jedoch sind auch andere Konturen, z.B. eckige Konturen dafür geeignet erfassbar und verarbeitbar, wenn diese eine exakte Lage des Kalibrier-Gegenkörpers im Koordinatensystem des Positionierbereichs und/oder im Kamera-Koordinatensystem ermöglichen. Beispielsweise kann eine der aneinander anlegbaren Konturen einen insbesondere abschnittsweisen innen- oder außenseitigen Zahnring bilden, an den eine Gegenkontur mit einer gerundeten glatten Fläche anlegbar ist, welche an dessen Zahnschneiden anliegt. Auch in einem solchen beispielhaften Fall wäre der Kalibrier-Gegenkörper hinsichtlich zumindest einer Kontur an zumindest eine Gegenkontur des Kalibrierkörpers angepasst. Prinzipiell wird somit darunter, dass der Kalibrier-Gegenkörper hinsichtlich einer Kontur an eine Gegenkontur des Kalibrierkörpers angepasst ist, verstanden, dass die Kontur und die Gegenkontur auch nur einen kleinen Anlageabschnitt oder ein paar Anlagepunkte umfassen, welche eine möglichst eindeutige Ausrichtung von Kalibrierkörper und Kalibrier-Gegenkörper zueinander ermöglichen.

[0031] Bevorzugt wird als Ausgestaltung auch ein System mit einem Positionierbereich, einem Roboter, einer Kamera und einer Steuereinrichtung, wobei die Steuereinrichtung zum Durchführen eines solchen Verfahrens programmiert und/oder ausgelegt ist.

[0032] Insbesondere ist die Steuereinrichtung nicht nur zur Verarbeitung der so gewonnenen Roboter- und Kamera-Positionsdaten eingerichtet, sondern auch zum Bestimmen der Roboter- und Kamera-Positionsdaten einschließlich insbesondere einer Ansteuerung der Kamera und von Bewegungen des Roboters.

[0033] Eine Ausgestaltung ist ein System, bei dem die Gegenkontur des Kalibrier-Gegenkörpers und die Kontur des Kalibrierkörpers derart ausgebildet sind, dass sich der Kalibrier-Gegenkörper beim Ansetzen des Kalibrierkörpers unter diesem in eine eindeutige Position bringt oder zentriert.

[0034] Durch eine nachfolgende Bildaufnahme werden dann die momentanen und gegebenenfalls veränderten Bild-Positionsdaten des Kalibrier-Gegenkörpers bestimmt, so dass die Veränderung von dessen Position bei der Bestimmung der Transformationsdaten berücksichtigt werden kann.

[0035] Wenn der Roboter mit Kalibrierkörper und Kalibrier-Gegenkörper dazu gemäß einer bevorzugt-

ten Weiterbildung relativ zueinander verstellbar sind, insbesondere der Kalibrier-Gegenkörper verstellbar oder verschiebbar ist, kann der Kalibriergegenkörper richtig an dem Kalibrier-Gegenkörper angesetzt werden, insbesondere in dessen Kontur „eintauchen“. Das ist vorteilhaft, um ein Bild mit möglichst vielen Details aufnehmen zu können. Wenn der Kalibrier-Gegenkörper hingegen fest montiert ist, dann wird der Roboter gemäß einer anderen Ausgestaltung nachgiebig ausgeführt, um ein Ansetzen, insbesondere ein Eintauchen zu ermöglichen.

[0036] Bereitgestellt werden so ein System und ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters, insbesondere Industrieroboters bezüglich einer Kamera und ggfs. eines Positionierbereichs. Der Positionier- bzw. Auflagebereich ist beispielsweise eine Ebene, kann aber auch eine funktionale Komponente sein, wie ein Förderband oder eine sonstige Zuführung. Nach dem Kalibrieren soll der Roboter beispielsweise Gegenstände wie Produkte greifen, die beliebig im Positionierbereich angeordnet sind. Die Kamera erkennt einen solchen Gegenstand und bestimmt dessen Lagekoordinaten.

[0037] Ein Ausführungsbeispiel wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei werden in den verschiedenen Figuren für gleiche oder gleichwertige Komponenten und Verfahrensschritte gleiche Bezugszeichen verwendet, so dass diesbezüglich anstelle einer erneuten Beschreibung auf die Beschreibung der anderen Figuren verwiesen wird. Es zeigen:

[0038] Fig. 1 ein System mit Positionierbereich, Roboter und Kamera bei einem ersten Schritt eines Verfahrens zum Kalibrieren eines Roboters und einer Kamera mittels eines Positionierbereichs relativ zueinander,

[0039] Fig. 2 das System bei einem zweiten Schritt des Verfahrens,

[0040] Fig. 3 das System bei einem dritten Schritt des Verfahrens,

[0041] Fig. 4 das System bei einem vierten Schritt des Verfahrens,

[0042] Fig. 5 das System bei einem fünften und sechsten Schritt des Verfahrens und

[0043] Fig. 6 das System bei einem siebten und einem achten Schritt des Verfahrens.

[0044] Die Figuren zeigen ein System **10** mit einem Positionierbereich **11**, einem Roboter **14** und einer Kamera **18**. Der Positionierbereich **11** ist beispielsweise ein Auflagebereich, zu welchem eine Transporteinrichtung **12** führt. Mittels der Transporteinrich-

tung **12** können Gegenstände **13** zu dem Positionierbereich **11** hin und/oder von dem Positionierbereich **11** weg geführt werden. Bei den Gegenständen **13** kann es sich beispielsweise um Gegenstände handeln, welche durch den Roboter **14** handzuhaben oder zu manipulieren sind.

[0045] Der Roboter **14** umfasst einen Arm **15**, welcher insbesondere in sich gelenkig verstellbar ist. Der Arm **15** weist einen vorderseitigen Arm bzw. Armabschnitt **16** auf, welcher insbesondere als ein Handhabungsabschnitt ausgebildet sein kann. Am Arm, insbesondere an dessen vorderseitigem Armabschnitt **16** sind insbesondere Vorrichtungen zum Handhaben oder Manipulieren derartiger Gegenstände **13** anordbar. Für den Zweck der Kalibrierung und Durchführung des Verfahrens zum Kalibrieren des Roboters und der Kamera relativ zueinander und insbesondere relativ zu dem Positionierbereich ist an dem Arm **15**, insbesondere an dem vorderseitigen Armabschnitt **16** ein Kalibrierungskörper **17** angeordnet. Der Kalibrierungskörper **17** befindet sich dabei in einer definierten Position und Ausrichtung relativ zu dem Arm **15** bzw. zu dessen vorderseitigem Armabschnitt **16** und weiteren Komponenten des Roboters **14**.

[0046] Die Kamera **18** weist bevorzugt einen optischen Sensor **19** auf. Der optische Sensor **19** ist so im Raum angeordnet, dass eine Handhabung von derartigen Gegenständen **13** in dem Positionierbereich **11** nicht behindert wird, zugleich aber der Positionierbereich **11** möglichst umfassend durch einen Bildbereich **20** des optischen Sensors **19** bzw. der Kamera **18** überdeckt wird.

[0047] Der Positionierbereich **11** ist beispielhaft eine ebene Auflagefläche, auf welcher solche Gegenstände **13** und zum Kalibrieren ein Kalibrier-Gegenkörper **21** anordbar, insbesondere auflegbar sind.

[0048] Der Kalibrier-Gegenkörper **21** weist eine Kontur **22** auf, welche bevorzugt an eine Kontur bzw. Gegenkontur **28** des Kalibrierungskörpers **17** angepasst ist, insbesondere formschlüssig angepasst ist. Beispielsweise handelt es sich bei dem Kalibrier-Gegenkörper **21** um einen ringförmigen Körper. Bei dem Kalibrierungskörper **17** handelt es sich insbesondere in einem solchen Fall beispielsweise um einen kugelförmigen Körper mit einem Durchmesser größer oder insbesondere etwas größer als einem Innenrand der Kontur **22** des ringförmigen Kalibrier-Gegenkörpers **21**. Dadurch ist der Kalibrierungskörper **17** unabhängig von einer konkreten Pose des Roboters **14** und seines Arms **15** mit dem Kalibrierungskörper **17** auf dem Kalibrier-Gegenkörper **21** eindeutig aufsetzbar. Der Kalibrier-Gegenkörper **21** verschiebt sich beim Aufsetzen des Kalibrierungskörpers **17** gegebenenfalls an diesen anpassend auf der Auflagefläche bzw. im Positionierbereich **11**.

[0049] Zur Verarbeitung der vom optischen Sensor **19** aufgenommenen Bilddaten und zur Steuerung des Roboters **14** und zur Lage- und Ausrichtungsbestimmung von dessen Komponenten einschließlich des Arms **15** und des Kalibrierungskörpers **17** dient bevorzugt eine gemeinsame Steuereinrichtung **23**. Jedoch können die Kamera und der Roboter auch eigenständige Steuereinrichtungen bzw. Prozessoren aufweisen, wobei dann eine dieser eigenständigen Steuereinrichtungen oder eine weitere Steuereinrichtung eine Datenverarbeitung zur Bestimmung von Transformationsdaten zur Kalibrierung des Roboters **14** und der Kamera **18** und gegebenenfalls des Positionierbereichs **11** durchführt.

[0050] Zur Datenverarbeitung mittels insbesondere der Steuereinrichtung **23** dienen insbesondere verschiedene Arten von Daten und Koordinaten. Insbesondere ist dem Positionierbereich **11** ein Positionierbereich-Koordinatensystem KO mit Positionierbereich-Koordinaten x, y, z zugeordnet. Der Kamera **18** bzw. dem optischen Sensor **19** ist ein Kamera-Koordinatensystem KOO mit Kamera-Koordinaten x_0, y_0, z_0 zugeordnet. Dem Roboter **14** bzw. dessen Arm **15** und dem Kalibrierkörper **17** ist ein Roboter-Koordinatensystem KOR mit Roboter-Koordinaten x_r, y_r, z_r zugeordnet.

[0051] Eine aus den Bilddaten der Kamera **18** bestimmbare Position des Kalibrier-Gegenkörpers **21** wird ermittelt und in Kamera-Positionsdaten KOO1(**21**), KOO2(**21**), KOOx(**21**) des Kalibrier-Gegenkörpers **21** im Kamera-Koordinatensystem KOO beschrieben.

[0052] Positionsdaten zur Beschreibung der Position und Ausrichtung des Roboters **14** und/oder der daran angeordneten Komponenten, wie dessen Arm **15** und dem Kalibrierkörper **17** werden mittels Roboter-Positionsdaten KOR1(**21**), KOR2(**21**), KORx(**21**) im Roboter-Koordinatensystem KOR beschrieben. Dabei werden jeweils mehrere Sätze an Koordinaten bestimmt, was beispielhaft mittels eines Laufindex n mit $1, 2, 3, \dots, x, \dots, n$ beschrieben wird.

[0053] Zum Durchführen des Verfahrens zur Kalibrierung des Roboters **14** und der Kamera **18** mittels des Positionierbereichs **11** relativ zueinander werden gegenüber einem danach üblichen Roboterbetrieb somit insbesondere zwei Hilfseinrichtungen verwendet. Die erste Hilfseinrichtung ist der Kalibrierungskörper **17**, der insbesondere als eine Kugel ausgebildet ist und insbesondere temporär für den Kalibrierungsvorgang am Roboter **14** bzw. dessen Robotergreifer befestigt wird. Als weitere Hilfseinrichtung dient der Kalibrier-Gegenkörper **21**, der im Positionierbereich **11** angeordnet wird. Der Kalibrier-Gegenkörper **21** weist eine insbesondere innenseitige Kontur auf, welche bevorzugt als kegelförmige Durchgangsbohrung ausgebildet ist. Diese Kegel-

form dient zur Aufnahme des kugelförmigen Körpers oder Körperabschnitts des Kalibrierungskörpers **17**. Die Kamera **18** dient insbesondere zum Ermitteln der Position des Kalibrier-Gegenkörpers **21** in dem Positionierbereich **11**. Damit der Roboter **14** später beispielsweise einen Gegenstand **13** richtig greifen kann und dazu von der Kamera **18** bezüglich eines solchen Gegenstands **13** bereitgestellte Koordinaten richtig interpretiert, werden die Komponenten Roboter **14**, Kamera **18** und insbesondere Positionierbereich **11** zueinander kalibriert.

[0054] Insbesondere werden zum Kalibrieren geometrische Transformationsdaten, insbesondere Transformationsmatrizen zwischen den Koordinatensystemen des Roboters **14**, der Kamera **18** und des Positionierbereichs **11** bestimmt. Mit Hilfe der Transformationsdaten bzw. Transformationsmatrizen werden Positionsdaten zwischen den verschiedenen Koordinatensystemen umgerechnet.

[0055] Fig. 1 zeigt einen ersten Schritt S1 des Verfahrens, bei dem der Kalibrier-Gegenkörper **21** in dem Positionierbereich **11** eingesetzt wird, insbesondere auf dessen beispielhaft ebener Auflagefläche aufgelegt wird. Das Einsetzen erfolgt dabei innerhalb des Bildbereichs **20** der Kamera **18**. Außerdem erfolgt die Anordnung bzw. das Einsetzen des Kalibrier-Gegenkörpers **21** so, dass dieser sich im Arbeitsbereich bzw. Arbeitsraum des Roboters **14** befindet, so dass der Roboter **14** den Kalibrierungskörper **17** zum Kalibrier-Gegenkörper **21** bewegen kann.

[0056] Fig. 2 zeigt einen zweiten Schritt S2 des Verfahrens, bei dem der Kalibrierungskörper **17** in einer ersten Pose **24** zum Kalibrier-Gegenkörper **21** geführt und daran angelegt wird.

[0057] Insbesondere wird dabei an der Kontur **22** des Kalibrier-Gegenkörpers **21** die Kontur bzw. Gegenkontur **28** des Kalibrierungskörpers **17** insbesondere formschlüssig angelegt. Bei der bevorzugten Ausgestaltung mit einer Kugel oder einem kugelförmigen Abschnitt des Kalibrierungskörpers **17** und einem ringförmigen Kalibrier-Gegenkörper **21** erfolgt das passende aneinander Anlegen gegebenenfalls auch dadurch, dass der Kalibrier-Gegenkörper **21** durch die Kugelform gegebenenfalls in dem Positionierbereich **11** verschoben wird. In dieser Stellung wird eine Bestimmung der Roboter-Positionsdaten KOR1(**21**) vorgenommen. Diese werden insbesondere mit Informationen über die konkrete Pose **24** des Roboters **14** bereitgestellt bzw. gespeichert. Insbesondere wird dazu die entsprechende Roboterposition des Robotercontrollers gespeichert.

[0058] Bei der bevorzugten Ausgestaltung dient insbesondere die Durchgangsbohrung im Kalibrier-Gegenkörper **21** zur Ermittlung der Position des Kalibrier-Gegenkörpers **21** auf der Ebene durch die Bild-

verarbeitung der Bilddaten der Kamera **18**. Dazu wird mit dem Roboter **14** der Kalibrierkörper **17** zum Kalibrier-Gegenkörper **21** bewegt. Die am Roboter **14** als Kalibrierkörper **17** montierte Kugel wird in die Kegelbohrung geführt, so dass sich der Kalibrier-Gegenkörper **21** direkt unter der Kugel über die bzw. mittels der Kegelbohrung zentriert.

[0059] Fig. 3 zeigt einen dritten Schritt S3 des Verfahrens, bei dem mit der Kamera **18** die am Ende des zweiten Schritts S2 vorliegenden Positionsdaten des Kalibrier-Gegenkörpers **21** bestimmt werden. Aus dem Abbild, welches mit der Kamera **18** erstellt wird bzw. aus dessen Bilddaten werden die entsprechenden Kamera-Positionsdaten KOO1(**21**) des Kalibrier-Gegenkörpers **21** im Kamera-Koordinatensystem KO bestimmt. Insbesondere wird mit einem Bildverarbeitungsalgorithmus die Mittenposition des Kalibriergegenstücks auf der Ebene bestimmt und diese Position speichert. Diese Kamera-Positionsdaten KOO1(**21**) werden insbesondere den zuvor bestimmten Roboter-Positionsdaten KOR1(**21**) paarweise zugeordnet. Bevorzugt wird vor der Aufnahme mit der Kamera **18** der Kalibrierkörper **17** mit dem Roboterarm **15** aus dem direkten Bildbereich **20** so weit herausgeführt, dass die Kamera **18** den Kalibrier-Gegenkörper **21** vollständig oder möglichst vollständig erfassen kann.

[0060] Fig. 4 zeigt einen vierten Schritt S4 des Verfahrens, bei dem der Roboter **14** mit dem Kalibrierkörper **17** erneut zu dem Kalibrier-Gegenkörper **21** geführt wird und mit diesem bevorzugt wieder in formschlüssigen, insbesondere zumindest teilweise formschlüssigen Eingriff gebracht wird. Im Gegensatz zum zweiten Verfahrensschritt S2 wird der Kalibrierkörper **17** dabei jedoch mittels einer gegenüber der ersten Pose **24** verschiedenen zweiten Pose **25** zum Kalibrier-Gegenkörper **21** bewegt und gehalten. In dieser Stellung werden erneut weitere Roboter-Positionsdaten KOR2(**21**) im Roboter-Koordinatensystem KOR ermittelt und bereitgestellt bzw. gespeichert.

[0061] Fig. 5 zeigt einen fünften und einen sechsten Schritt S5, S6 des Verfahrens. Beim fünften Schritt S5 des Verfahrens werden weitere Kamera-Positionsdaten KOO2(**21**) des Kalibrier-Gegenkörpers **21** bestimmt. Eine Verschiebung des Kalibrier-Gegenkörpers **21** während des sechsten Verfahrensschritts S6 stellt daher kein Problem dar. Optional, aber bevorzugt wird dazu zuvor wieder der Kalibrierkörper **17** aus dem Bildbereich **20** zwischen der Kamera **18** bzw. deren optischem Sensor **19** und dem Kalibrier-Gegenkörper **21** heraus bewegt.

[0062] Nachfolgend wird in dem sechsten Schritt S6 des Verfahrens der Kalibrier-Gegenkörper **21** in dem Positionierbereich **11** aus der Position in eine andere Position innerhalb des Positionierbereichs **11**, in-

nerhalb des Bildbereichs **20** und innerhalb des durch den Roboter **14** erreichbaren Raumbereichs verstellt bzw. bewegt **26**. Dabei wird der Kalibrier-Gegenkörper **21** in dem Positionierbereich **11** insbesondere in eine andere Position versetzt, die nur teilweise oder nicht mehr überlappend ist im Vergleich zu der Position bzw. den Positionen aus den vorherigen Verfahrensschritten.

[0063] Fig. 6 zeigt einen siebten und einen achten Schritt S7, S8 des Verfahrens. In dem siebten Schritt S7 des Verfahrens wird der Kalibrierkörper **17** wieder in Eingriff mit dem Kalibrier-Gegenkörper **21** gebracht. In dieser Stellung werden erneut Roboter-Positionsdaten KORx(**21**) des Roboters **14** bestimmt.

[0064] Außerdem werden, gegebenenfalls nach Entfernen des Kalibrierkörpers **17** aus dem direkten Sichtbereich, für diese Position im nachfolgenden Schritt weitere Kamera-Positionsdaten KOOx(**21**) des Kalibrier-Gegenkörpers **21** bestimmt. Dadurch entsteht ein weiteres Paar aus Koordinatensätzen von einander zugeordneten Kamera-Positionsdaten KOOx(**21**) und Roboter-Positionsdaten KORx(**21**). Diese sind jedoch für die neue Position des Kalibrier-Gegenkörpers **21** und eine dementsprechend noch weitere Pose **27** bestimmt und werden bereitgestellt bzw. gespeichert.

[0065] Die Schritte S1 oder S2 bis S5 werden wiederholt, um eine Datenmenge an Positionen des Roboters **14** und des Kalibrier-Gegenkörpers **21** zu generieren, wobei die Datenmenge bzw. die Anzahl an Positionsdaten abhängig von einer gewünschten Genauigkeit wählbar sein kann. Für eine Berechnung werden mindestens drei insbesondere jeweils mehrdimensionale Positions- bzw. Koordinatenpaare bevorzugt. Zur Steigerung der Genauigkeit werden in der Praxis aber mehr Datenpaare verwendet.

[0066] Im achten Schritt S8 des Verfahrens werden letztendlich aus den verschiedenen paarweisen Positionsdaten, d.h. den Kamera-Positionsdaten KOO_n und den Roboter-Positionsdaten KOR_n Transformationen bzw. Transformationsmatrizen bestimmt. Diese Transformationsmatrizen dienen zu einer Umrechnung der verschiedenen Positionsdaten zwischen den verschiedenen Koordinatensystemen, d.h. insbesondere dem Kamera-Koordinatensystem KOO und dem Roboter-Koordinatensystem KOR sowie optional auch dem Positionierbereich-Koordinatensystem KO.

[0067] Aus den Datenpaaren bzw. den Paaren aus Kamera-Positionsdaten KOO_n und Roboter-Positionsdaten KOR_n werden durch einen insbesondere Algorithmus die Transformationsmatrizen für die geometrischen Transformationen der Koordinatensysteme des Roboters **14** zum Positionierbereich, insbesondere zu dessen Auflagefläche, des Roboters **14**

zur Kamera **18** berechnet. Durch die Bestimmung der Transformationsmatrizen ist das gesamte System **10** kalibriert. Das Bildverarbeitungssystem bzw. die Steuereinrichtung **23** kann nun Positionen von Gegenständen **13** im Positionierbereich **11** berechnen und die Positionen dem Roboter **14** übermitteln, der die Gegenstände **13** dann automatisiert greift, bearbeitet oder sonst wie handhabt.

[0068] Für die Bestimmung der Transformationsmatrizen kann beispielsweise $F \cdot t = C \cdot p$ angesetzt werden, wobei F eine Matrize z.B. einer Roboterflanschposition ist, t ein Vektor für eine Kugel/Kalibrierkörper-zu-Flansch-Transformation ist, C eine Matrize einer Kamera-zu-Roboter-Transformation ist und p ein Vektor der Kamera-Positionsdaten der Aufnahme des Kugel/Kalibrier-Gegenkörpers ist.

[0069] Dabei sind t und C Unbekannte. F und p sind gegeben bzw. bestimmbar aus den in den Schritten S2, S4 und S7 bestimmten bzw. bestimmbar Positionen zu den Posen. Verwendet werden können dabei Informationen aus einem sogenannten Teaching, d.h. insbesondere einem manuellen Bewegen des Kalibrierkörpers **17** zum Kalibrier-Gegenkörper **21**.

[0070] Die obige Gleichung kann in $J \cdot x = f$ umgestellt werden. Dabei beinhaltet J n mal die Matrizeneinträge in F und p mit n als Anzahl der insbesondere mittels Teaching erfassten Positionen. Die Größe x beinhaltet die Unbekannte in t und C. Die Größe J beinhaltet Werte aus F. J und f sind bekannt, so dass sich x mit $x = J\# \cdot f$ berechnen lässt. J# ist Pseudo-Inverse von J. Mit x wird die Kugeltransformation t und die Kamera-Roboter-Transformation C erhalten.

Bezugszeichenliste

10	System mit Positionierbereich, Roboter und Kamera
11	Positionierbereich, insbesondere Auflagebereich
12	Transporteinrichtung
13	Gegenstand
14	Roboter
15	Arm, insbesondere gelenkig verstellbarer Arm
16	vorderseitiger Armabschnitt
17	Kalibrierkörper
18	Kamera
19	optischer Sensor
20	Bildbereich
21	Kalibrier-Gegenkörper
22	Kontur des Kalibrier-Gegenkörpers
23	Steuereinrichtung

24	Pose
25	Pose
26	Bewegung des Kalibrier-Gegenkörpers
27	Pose
28	Kontur bzw. Gegenkontur des Kalibrierkörpers
KO	Positionierbereich-Koordinatensystem
KOO	Kamera-Koordinatensystem
KOR	Roboter-Koordinatensystem
KOO1(21), KOO2(21), KOOx(21)	Kamera-Positionsdaten des Kalibrier-Gegenkörpers
KOR1(21), KOR2(21), KORx(21)	Roboter-Positionsdaten
n	Index für Koordinatensätze mit 1, 2, 3, ..., n
x, y, z	Positionierbereich-Koordinaten
xo, yo, zo	Kamera-Koordinaten
xr, yr, zr	Roboter-Koordinaten
S1-S8	Schritte des Verfahrens

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters (**14**) und einer Kamera (**18**) mittels eines Positionierbereichs (**11**) relativ zueinander, wobei
 - die Kamera (**18**) Bilddaten eines Bildbereichs (**20**) des Positionierbereichs (**11**) bereitstellt, und
 - in einem ersten Schritt (S1) ein Kalibrier-Gegenkörper (**21**) im Bildbereich (**20**) in dem Positionierbereich (**11**) angeordnet, insbesondere aufgelegt wird,
 - in einem zweiten Schritt (S2) ein am Roboter (**14**) angeordneter Kalibrierkörper (**17**) am Kalibrier-Gegenkörper (**21**) angelegt wird und Roboter-Positionsdaten (KOR1(**21**)) bestimmt werden, wobei der Kalibrier-Gegenkörper (**21**) hinsichtlich zumindest einer Kontur (**22**) an zumindest eine Gegenkontur des Kalibrierkörpers (**17**) angepasst ist,
 - in einem dritten Schritt Bilddaten des Kalibrier-Gegenkörpers (**21**) aufgenommen und damit Kamera-Positionsdaten (KOO1(**21**)) des Kalibrier-Gegenkörpers (**21**) bestimmt werden und
 - mittels der Roboter-Positionsdaten (KOR1(**21**), KOR2(**21**), KORx(**21**)) und der Kamera-Positionsdaten (KOO1(**21**), KOO2(**21**), KOOx(**21**)) Transformationsdaten zum Kalibrieren des Roboters (**14**) und der Kamera (**18**) relativ zueinander bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem vor dem Bestimmen der Transformationsdaten
 - zumindest einmal in weiteren Schritten (S4, S5) der Kalibrierkörper (**17**) mit einer anderen Pose (**25**) an den Kalibrier-Gegenkörper (**21**) angelegt wird und

zusätzliche Roboter-Positionsdaten (KOR2(21)) bestimmt werden und nachfolgend zu dieser Pose (25) zusätzliche Kamera-Positionsdaten (KOO2(21)) bestimmt werden, welche zum Bestimmen der Transformationsdaten mit verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem vor dem Bestimmen der Transformationsdaten
– zumindest einmal in einem weiteren Schritt (S6) die Position des Kalibrier-Gegenkörpers (21) im Bildbereich (20) im Positionierbereich (11) verändert wird und
– zumindest ein Teil der Schritte (S2–S5) bei dieser veränderten Position wiederholt wird zum Bestimmen zusätzlicher Roboter-Positionsdaten (KORx(21)) und zusätzlicher Kamera-Positionsdaten (KOOx(21)), welche zum Bestimmen der Transformationsdaten mit verwendet werden.

4. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem zum Bestimmen der Transformationsdaten drei oder mehr Paare aus derart bestimmten Roboter-Positionsdaten (KOR1(21), KOR2(21), KORx(21)) und Kamera-Positionsdaten (KOO1(21), KOO2(21), KOOx(21)) verwendet werden.

5. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem der Kalibrier-Gegenkörper (21) als die Kontur (22) oder Teil der Kontur (22) eine Ausnehmung aufweist und der Kalibrierkörper (17) eine in die Ausnehmung einsetzbare Gegenkontur aufweist.

6. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem der Kalibrier-Gegenkörper (21) als die Kontur (22) oder Teil der Kontur (22) eine Durchtrittsöffnung aufweist.

7. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem
– der Kalibrier-Gegenkörper (21) als die Kontur (22) oder als Teil der Kontur (22) insbesondere eine zumindest abschnittsweise ringförmige Ausnehmung aufweist und
– der Kalibrierkörper (17) eine in die Ausnehmung einsetzbare zumindest abschnittsweise ringförmige, zumindest abschnittsweise kegelförmige, kugelförmige oder zumindest abschnittsweise kugelförmige Gegenkontur aufweist.

8. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem eine Mittenposition des Kalibrier-Gegenkörpers (21) bestimmt wird.

9. System mit einem Positionierbereich (11), einem Roboter (14), einer Kamera (18) und einer Steuereinrichtung (23), wobei die Steuereinrichtung (23) zum Durchführen eines Verfahrens nach einem vorstehenden Anspruch programmiert und/oder ausgelegt ist.

10. System nach Anspruch 9, bei dem die Gegenkontur (22) des Kalibrier-Gegenkörpers (21) und die Kontur des Kalibrierkörpers (17) derart ausgebildet sind, dass sich der Kalibrier-Gegenkörper (21) beim Ansetzen des Kalibrierkörpers (17) unter diesem in eine eindeutige Position bringt oder zentriert.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

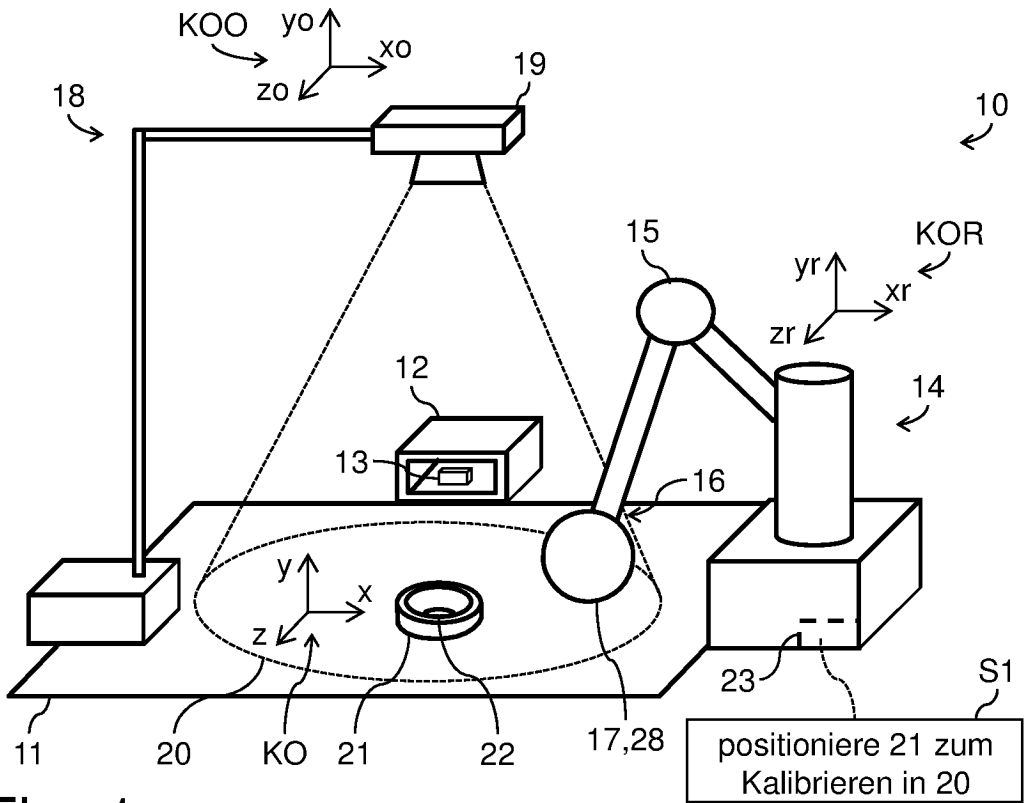


Fig. 1

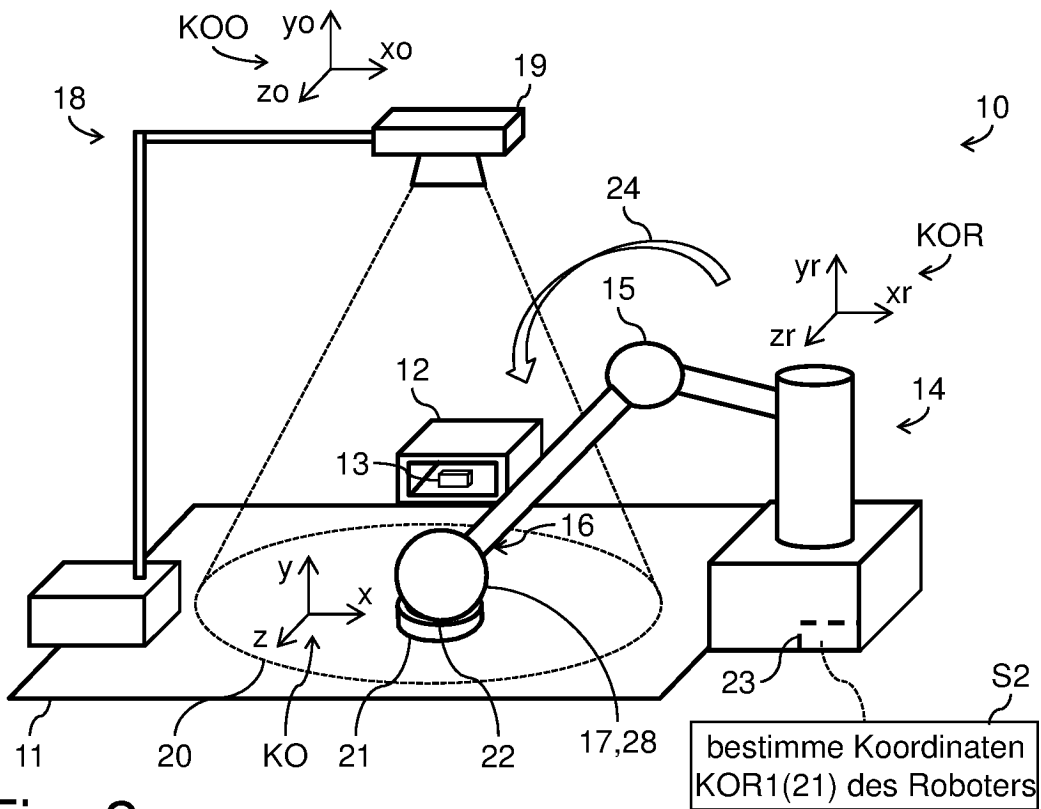


Fig. 2

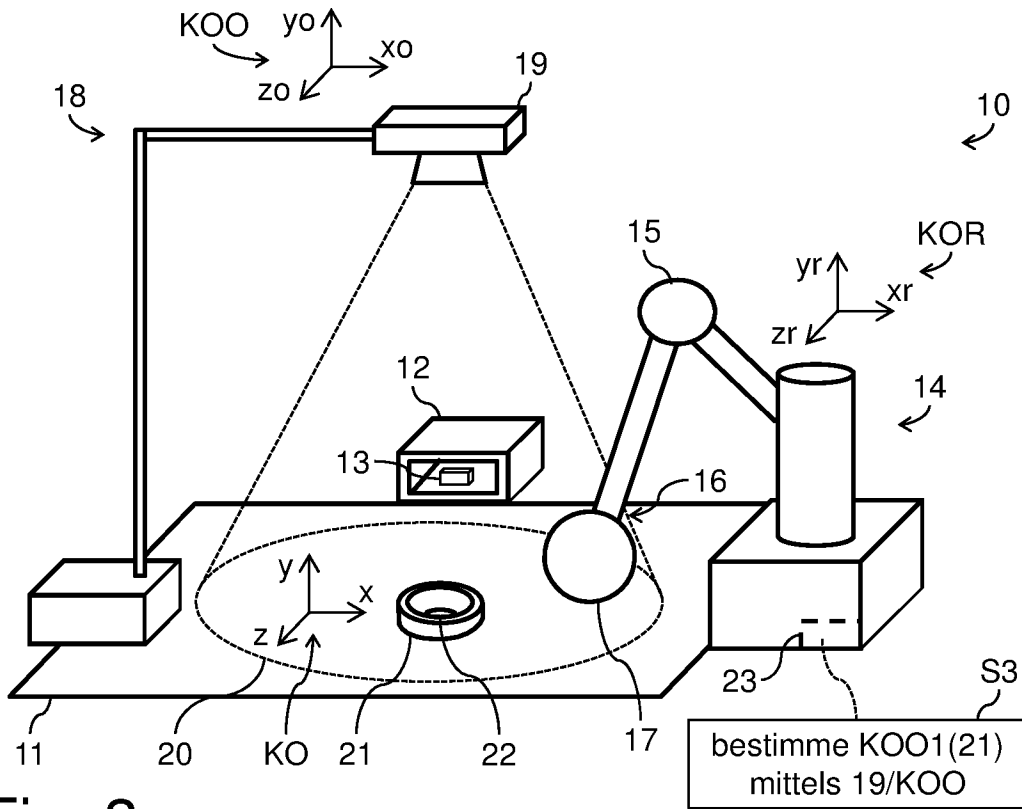


Fig. 3

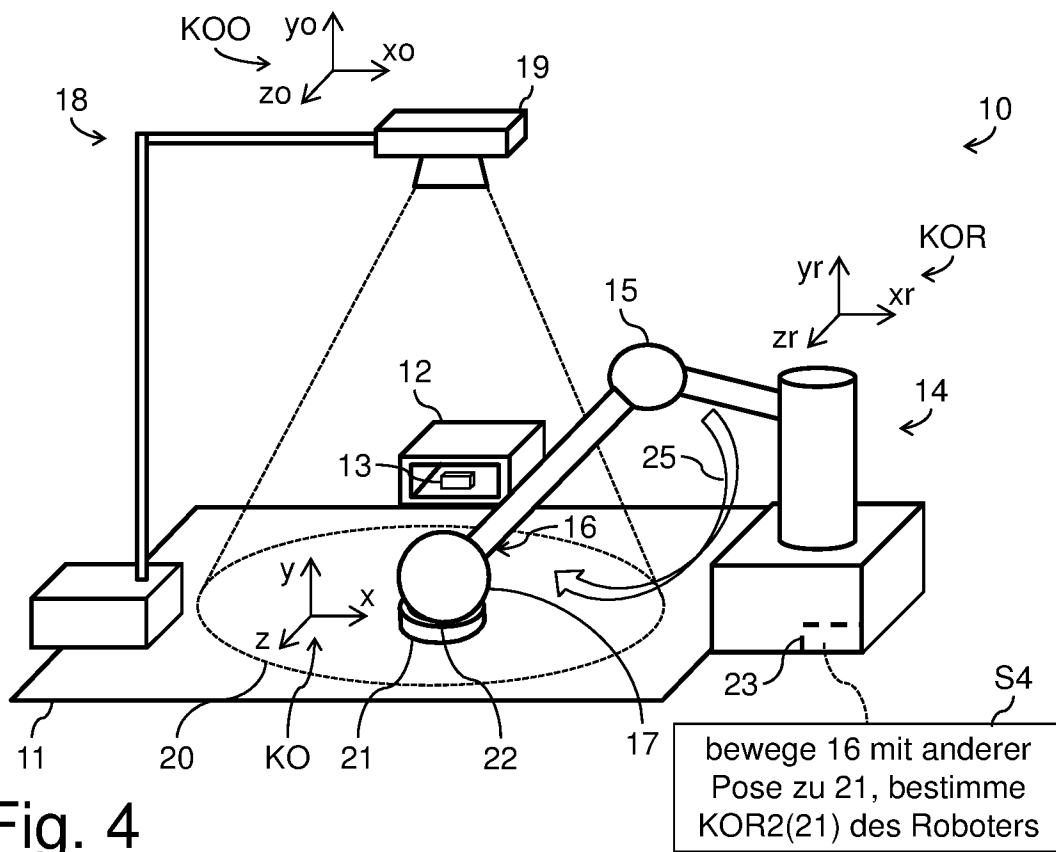


Fig. 4

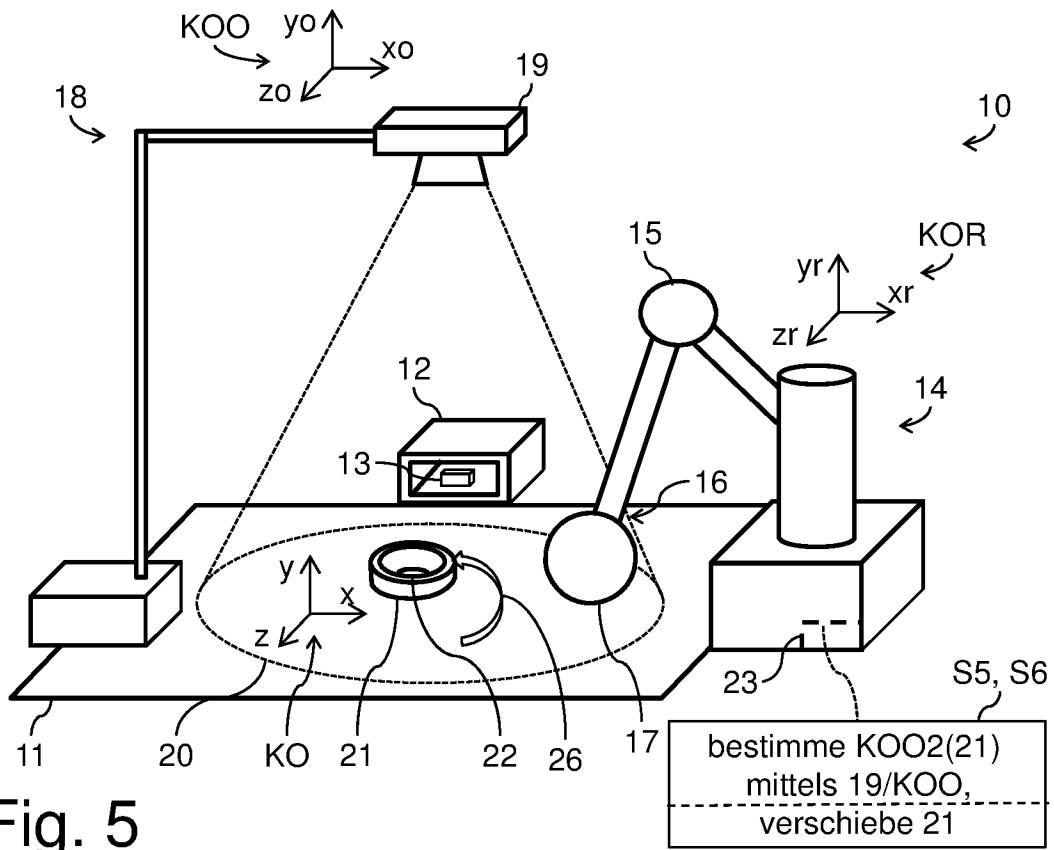


Fig. 5

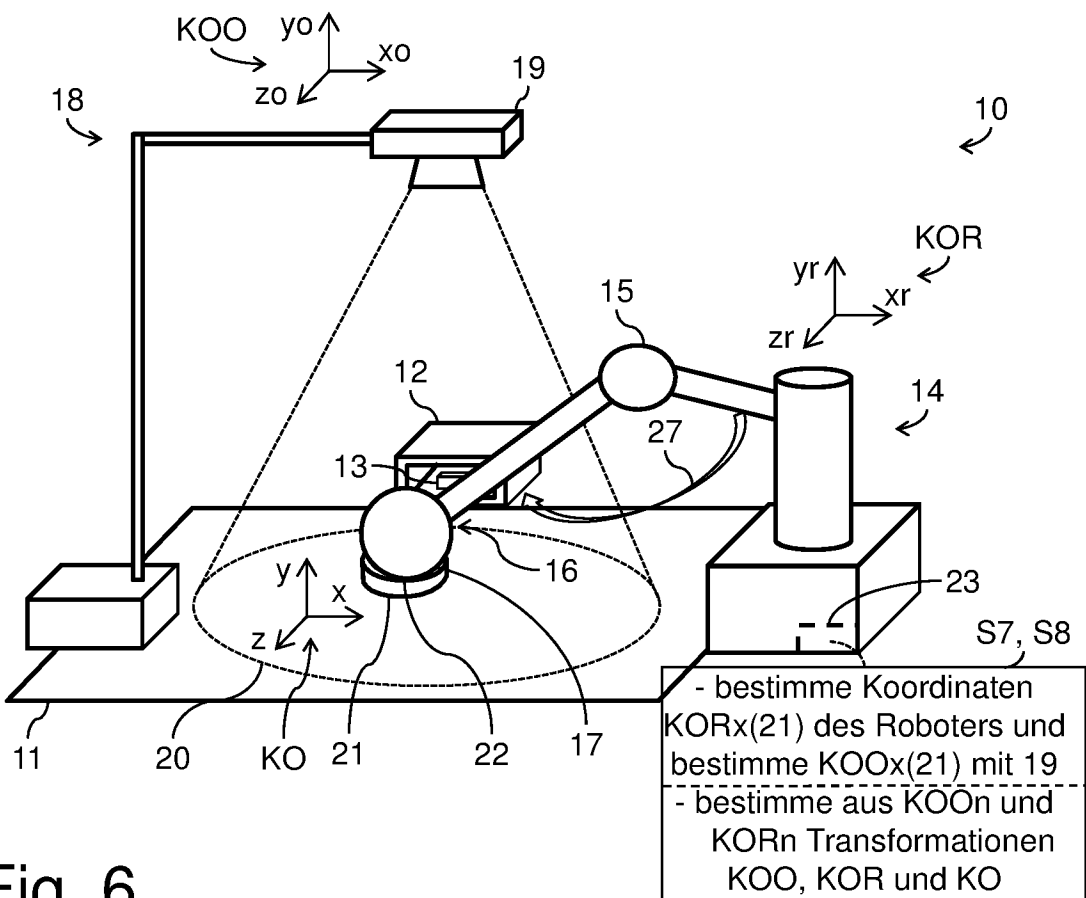


Fig. 6