(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Mai 2018 (24.05.2018)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/091141 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/401 (2006.01) *B25J 9/16* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/001340

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. November 2017 (16.11.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 013 891.2
21. November 2016 (21.11.2016) DE

(71) Anmelder: **KUKA ROBOTER GMBH** [DE/DE]; Zugspitzstr. 140, 86165 Augsburg (DE).

(72) Erfinder: **HÜTTENHOFER, Manfred**; Gregor-Probst-Straße 18, 86405 Meitingen (DE).

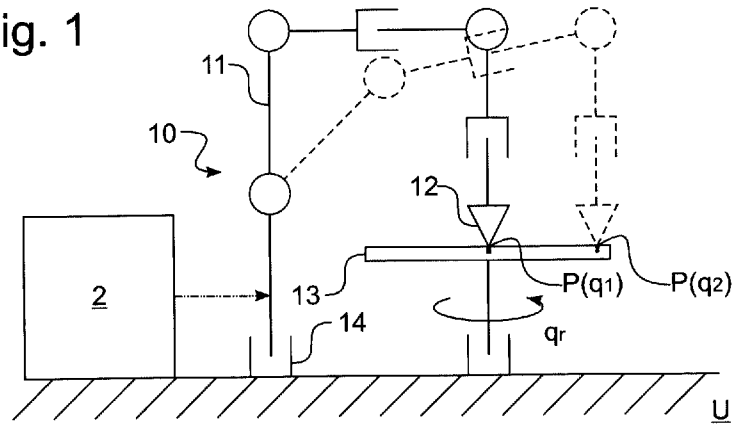
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) **Title:** MEASURING A MOVEMENT AXIS OF A ROBOT

(54) **Bezeichnung:** VERMESSEN EINER BEWEGUNGSACHSE EINES ROBOTERS

Fig. 1



(57) **Abstract:** A method according to the invention for measuring a movement axis (q_r; q_t of a robot (10) which has a robot arm (11), comprises the steps: - approaching (S10) a point (P) with the robot arm by moving the robot arm into a first pose, wherein the movement axis has a first position (q_1); - adjusting (S30) the movement axis into at least one further position (q_2, q_3; q_5) and approaching the point (P) with the robot arm by moving the robot arm into a further pose, wherein the movement axis has this further position; and - determining (S40) an orientation (D) of the movement axis on the basis of the poses of the robot arm.

(57) **Zusammenfassung:** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Vermessen einer Bewegungsachse (q_r; q_t eines Roboters (10), der einen Roboterarm (11) aufweist, umfasst die Schritte: - Anfahren (S10) eines Punktes (P) mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine erste Pose, wobei die Bewegungsachse eine erste Stellung (q_1) aufweist; - Verstellen (S30) der Bewegungsachse in wenigstens eine weitere Stellung (q_2, q_3; q_5) und Anfahren des Punktes (P) mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und - Ermitteln (S40) einer Orientierung (D) der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms.

WO 2018/091141 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Vermessen einer Bewegungsachse eines Roboters

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Mittel zum Vermessen einer Bewegungsachse eines Roboters, der einen Roboterarm aufweist, sowie ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens.

Insbesondere zur Bahnplanung, Steuerung und Überwachung von Robotern mit Roboterarmen und Zusatzachsen sind kinematische Modelle bekannt, die Stellungen der Zusatzachsen, gegebenenfalls zusammen mit Stellungen von Roboterarmachsen bzw. –posen, und Positionen von Punkten relativ zum Roboterarm miteinander verknüpfen.

So ist beispielsweise bei einem in Fig. 1 gezeigten Roboter 10, der einen Roboterarm 11 mit einer umgebungsfesten Basis 14 und eine Zusatzachse q_r zum Rotieren eines Drehtisches 13 aufweist, ein kinematisches Modell zweckmäßig, das Stellungen der Zusatzachse q_r und Positionen von Punkten P auf dem Drehtisch 13 relativ zum Roboterarm 11 miteinander verknüpft, beispielsweise, um mit einem roboterarmgeführten Werkzeug 12 einen bestimmten drehtischfesten Punkt anzufahren.

Bei einem in Fig. 3 gezeigten Roboter 10, dessen Roboterarm 11 durch eine Zusatzachse q_t relativ zur Umgebung U verfahrbar ist, kann insbesondere ein kinematisches Modell zweckmäßig sein, das Stellungen der Zusatzachse q_t und Posen des Roboterarms 11 mit Positionen des Werkzeugs 12 relativ zu(Punkten P de)r Umgebung verknüpft, beispielsweise in Form einer sogenannten Vorwärtskinematik bzw. –transformation Stellungen und Posen auf Positionen oder invers in Form einer sogenannten Rückwärtskinematik bzw. –transformation Positionen auf Stellungen und Posen abbildet.

Solche kinematischen Modelle weisen allgemein eine oder mehrere Transformationen zwischen Koordinatensystemen auf, die jeweils zwei Koordinatensysteme ineinander überführen, insbesondere umgebungsfeste Koordinatensysteme, durch die Zusatzachse bewegte Koordinatensysteme und/oder roboterarmfeste, insbesondere

BESTÄTIGUNGSKOPIE

roboterarmbasis-, roboterarmspitzen- bzw. -endflanschfeste und/oder werkzeugfeste Koordinatensysteme. Im Beispiel der Fig. 1 kann das kinematische Modell beispielsweise eine Transformation zwischen einem drehtischfesten und einem umgebungs- oder roboterarmbasisfesten Koordinatensystem aufweisen, insbesondere nur diese Transformation oder zusätzlich eine damit verknüpfte Transformation zwischen diesem umgebungs- bzw. roboterarmbasisfesten Koordinatensystem und einem werkzeug- oder roboterarmspitzenfesten Koordinatensystem, im Beispiel der Fig. 2 beispielsweise eine Transformation zwischen einem umgebungs- und einem roboterarmbasisfesten Koordinatensystem, insbesondere nur diese Transformation oder zusätzlich eine damit verknüpfte Transformation zwischen diesem roboterarmbasisfesten Koordinatensystem und einem werkzeug- oder roboterarmspitzenfesten Koordinatensystem.

Oft werden solche Koordinatensysteme so gewählt, dass die Bewegungsachse mit einer Koordinatenachse fluchtet. Bei rotatorischen Bewegungsachsen verbleiben damit zwei frei wählbare Freiheitsgrade für das entsprechende Koordinatensystem (Drehung um und Verschiebung längs der Bewegungsachse), bei translatorischen Bewegungsachsen vier frei wählbare Freiheitsgrade (dreidimensionale Lage des Koordinaten(system)ursprungs zur Bewegungsachse, Drehung um die Bewegungsachse), die in der Regel – ebenso wie die Orientierung und gegebenenfalls Lage seiner mit der Bewegungsachse fluchtenden Koordinatenachse – auf Basis von theoretischen Soll-Werten, beispielsweise Konstruktionsmaßen oder dergleichen, für den Roboter, insbesondere die Bewegungsachse, vorgegeben bzw. gewählt werden. Ein bekanntes Beispiel stellen etwa Denavit-Hartenberg-Parameter dar.

Stimmt nun die Orientierung und gegebenenfalls Lage der Bewegungsachse, die eine Transformation eines kinematischen Modells abbildet, aufgrund von Fertigungs- und/oder Montagefehlern, Kollisionen, thermischen Veränderungen oder dergleichen nicht mit der Realität überein, verschlechtert sich die Qualität des kinematischen Modells und damit einer darauf basierenden Bahnplanung, Steuerung, Überwachung oder dergleichen.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein kinematisches Modell und insbesondere eine darauf basierende Bahnplanung, Steuerung und/oder Überwachung eines Roboters zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ansprüche 11, 12 stellen ein Mittel bzw. Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines hier beschriebenen Verfahrens unter Schutz. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung weist ein Roboter einen ein- oder mehrachsigen Roboterarm auf, der in einer Weiterbildung wenigstens vier, insbesondere wenigstens sechs, insbesondere wenigstens sieben, insbesondere aktuierte bzw. angetriebene, Achsen bzw. Gelenke, insbesondere Drehachsen bzw. –gelenke, aufweist.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung weist der Roboter, insbesondere zusätzlich zu dem Roboterarm, wenigstens eine (weitere) Bewegungsachse, insbesondere wenigstens eine sogenannte Zusatzachse auf.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wird diese (Zusatz- bzw. weitere Bewegungs)achse vermessen, insbesondere durch ein Mittel nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung, das hierzu, insbesondere hard- und/oder software-, insbesondere programmtechnisch, eingerichtet ist bzw. verwendet wird.

Das Verfahren weist nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung die Schritte auf:

- Anfahren eines Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine erste Pose, wobei die Bewegungsachse eine erste Stellung aufweist;
- Verstellen der Bewegungsachse in wenigstens eine weitere Stellung und (jeweils) Anfahren des Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und
- Ermitteln einer, insbesondere zweidimensionalen, Orientierung der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms.

Das Mittel zum Vermessen einer bzw. der Bewegungsachse weist entsprechend nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung auf:

- Mittel zum Anfahren des Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine bzw. die erste Pose, wobei die Bewegungsachse eine bzw. die erste Stellung aufweist;
- Mittel zum Verstellen der Bewegungsachse in (die) wenigstens eine weitere Stellung und (jeweils) Anfahren des Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in (die) eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und
- Ermitteln einer bzw. der Orientierung der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms.

Hierdurch wird in einer Ausführung vorteilhaft der Roboterarm selber zur Vermessung der Bewegungsachse, insbesondere Ermitteln einer (zweidimensionalen) Orientierung, verwendet, wodurch in einer Weiterbildung ein externes Messsystem entfallen kann.

In einer Ausführung ist die Bewegungsachse eine (Zusatz)Achse, durch die ein Maschinenteil, insbesondere ein Werkzeug oder Werkstück, insbesondere ein sogenannter Positionier, an dem das Werkzeug bzw. Werkstück zum Zusammenwirken mit dem Roboterarm, insbesondere einem von diesem geführten Werkstück oder Werkzeug, insbesondere lösbar, befestigbar ist bzw. befestigt wird bzw. der hierzu eingerichtet ist bzw. verwendet wird, relativ zu dem Roboterarm, insbesondere einer Basis des Roboterarms, bewegbar ist bzw. bewegt wird bzw. die hierzu eingerichtet ist bzw. verwendet wird.

In einer Ausführung ist die Bewegungsachse eine (Zusatz)Achse, durch die der Roboterarm, insbesondere eine Basis des Roboterarms, relativ zu einer, insbesondere intertialen bzw. ortsfesten, Umgebung, insbesondere einer Arbeitszelle, einem Boden, einer Wand, Decke oder dergleichen, bewegbar ist bzw. bewegt wird bzw. die hierzu eingerichtet ist bzw. verwendet wird.

Insbesondere zur Vermessung solcher Bewegungs- bzw. (Zusatz)Achsen ist ein erfindungsgemäßes Verfahren bzw. Mittel besonders geeignet.

In einer Ausführung ist der mit dem Roboterarm mehrfach angefahrene Punkt relativ zu dem Roboterarm, insbesondere einer Basis des Roboterarms, durch die bzw. durch Verstellen der Bewegungsachse bewegbar.

In einer Weiterbildung kann der Punkt umgebungsfest sein, insbesondere, wenn der Roboterarm durch die Bewegungsachse relativ zur Umgebung bewegbar ist bzw. bewegt wird, da durch eine Bewegung des Roboterarms relativ zur Umgebung umgekehrt auch ein umgebungsfester Punkt relativ zu dem Roboterarm bewegt wird.

Gleichermaßen kann der Punkt in einer Weiterbildung roboterfest sein, insbesondere, wenn durch die Bewegungsachse ein Maschinenteil relativ zu dem Roboterarm bewegbar ist bzw. bewegt wird, insbesondere also ein positionierfester Punkt.

In einer Ausführung ist der Punkt durch eine geometrische Gestaltung, insbesondere Vertiefung oder Erhöhung, insbesondere eine Kante, Ecke, einen Absatz oder dergleichen vorgegeben. Dies kann das Anfahren mit dem Roboterarm erleichtern.

In einer Ausführung wird die Orientierung der Bewegungsachse derart bzw. dadurch ermittelt, dass eine Abweichung zwischen Änderungen einer Position des Punktes relativ zu dem Roboterarm in den eingenommenen Posen des Roboterarms und theoretischen Änderungen dieser Position infolge einer Verstellung der Bewegungsachse in die entsprechenden Stellungen der Bewegungsachse minimiert wird.

In einer Ausführung ist die Bewegungsachse eine rotatorische bzw. Drehachse.

Dann ändert sich die Position des Punktes infolge einer Verstellung der Bewegungsachse, d.h. einer Drehung um die Bewegungsachse, theoretisch längs eines Kreises. Entsprechend kann die Orientierung der Bewegungsachse so ermittelt werden, dass tatsächliche Positionen des Punktes, die auf Basis der beim Anfahren mit der Roboterarm ermittelten Posen ermittelt werden, möglichst nahe an einem Kreis um die entsprechend orientierte Bewegungsachse liegen.

In einer Ausführung ist die Bewegungsachse eine translatorische bzw. Linearachse.

Dann ändert sich die Position des Punktes infolge einer Verstellung der Bewegungsachse, d.h. einer Verschiebung längs bzw. in der Bewegungsachse, theoretisch längs einer Geraden. Entsprechend kann die Orientierung der Bewegungsachse so ermittelt werden, dass Änderungen der tatsächlichen Positionen des Punktes, die auf Basis der beim Anfahren mit der Roboterarm ermittelten Posen ermittelt werden, möglichst parallel zu der entsprechend orientierten Bewegungsachse liegen.

Allgemein werden daher in einer Ausführung auf Basis der ermittelten Posen Positionen des Punktes relativ zum Roboterarm ermittelt und die Orientierung der Bewegungsachse auf Basis dieser Positionen (und somit auf Basis der ermittelten Posen) ermittelt.

In einer Ausführung, insbesondere, falls die Bewegungsachse eine rotatorische Achse ist, weist das Verfahren den Schritt auf: Ermitteln einer Lage der Bewegungsachse, insbesondere einer zweidimensionalen Lage, insbesondere senkrecht zu der Bewegungsachse, auf Basis der Posen des Roboterarms, insbesondere also auf Basis der Positionen des Punktes relativ zum Roboterarm, die ihrerseits auf Basis der ermittelten Posen des Roboterarms ermittelt werden.

Bei einer rotatorischen Achse bestimmt nicht nur die Orientierung diese Achse, sondern auch ihre zweidimensionale Lage in zwei zu ihr senkrechten Richtungen die Bewegung des Punktes. Entsprechend wird in einer Ausführung (auch) die Lage der Bewegungsachse derart ermittelt, dass eine Abweichung zwischen Änderungen einer Position des Punktes relativ zu dem Roboterarm in dessen eingenommenen Posen und theoretischen Änderungen dieser Position infolge einer Verstellung der Bewegungsachse in deren entsprechende Stellungen minimiert wird.

Eine Lage im Sinne der vorliegenden Erfindung kann insbesondere jeweils eine ein-, zwei- oder dreidimensionale Lage, insbesondere eine kartesische Lage sein, d.h. von einem Abstand, insbesondere zu einer Referenz, insbesondere einem Koordinatensystem(ursprung), in einer, zwei bzw. drei Richtungen abhängen, insbesondere ein(en) solchen Abstand angeben, insbesondere sein. In einer Ausführung kann eine Lage im Sinne der vorliegenden Erfindung eine, insbesondere zwei- oder dreidimensionale und/oder kartesische, Position angeben bzw. umfassen,

insbesondere sein und/oder eine Position im Sinne der vorliegenden Erfindung in einer Ausführung eine, insbesondere zwei- oder dreidimensionale und/oder kartesische, Lage angeben bzw. umfassen, insbesondere sein.

In einer Ausführung weist das Verfahren den Schritt auf: Kalibrieren eines, insbesondere auf Basis von Soll-Werten, vorgegebenen kinematischen Modells, das Stellungen der Bewegungsachse und Positionen des Punktes relativ zu dem Roboterarm miteinander verknüpft, auf Basis der ermittelten Orientierung und/oder Lage der Bewegungsachse, in einer Weiterbildung derart, dass bei den Stellungen der Bewegungsachse, in denen der Punkt angefahren wurde, dessen hierfür auf Basis der Posen des Roboterarms ermittelten Positionen möglichst gut mit Positionen übereinstimmen, die das kalibrierte kinematische Modell mit diesen Stellungen verknüpft.

Wie bereits einleitend erläutert, kann das vorgegebene kinematische Modell eine von der Stellung der Bewegungsachse abhängige Transformation zwischen einem ersten und zweiten Koordinatensystem aufweisen, die in einer Weiterbildung in an sich bekannter Weise mit einer oder mehreren weiteren Transformationen zwischen weiteren Koordinatensystemen verknüpft sein kann, insbesondere in an sich bekannter Weise additiv und/oder multiplikativ, beispielsweise durch Hintereinanderschalten von Verschiebungen und/oder Verdrehungen.

In einer Ausführung wird diese Transformation des vorgegebenen kinematischen Modells zwischen dem ersten und zweiten Koordinatensystem zum Kalibrieren des kinematischen Modells durch eine ebenfalls von der Stellung der Bewegungsachse abhängige kalibrierte Transformation zwischen dem ersten und einem kalibrierten Koordinatensystem ersetzt, bzw. das kinematische Modell dadurch kalibriert, wobei das kalibrierte Koordinatensystem aus dem zweiten Koordinatensystem hervorgeht durch:

- Positionieren eines bezüglich der Stellung der Bewegungsachse invarianten Punktes, insbesondere eines Koordinatenursprungs, des zweiten Koordinatensystems auf der Bewegungsachse, insbesondere durch eine kleinstmögliche Verschiebung; und/oder, insbesondere anschließendes,
- Ausrichten einer bezüglich der Stellung der Bewegungsachse invarianten Achse, insbesondere einer Koordinatenachse, des zweiten Koordinatensystems parallel

zu der Orientierung der Bewegungsachse, insbesondere durch eine kleinstmögliche Rotation.

Hierdurch wird in einer Ausführung das ursprüngliche zweite Koordinatensystem, das insbesondere in an sich bekannte, eingangs beschriebener Weise auf Basis von theoretischen Soll-Werten für den Roboter vorgegeben sein kann, so weit wie möglich beibehalten und nur insofern modifiziert, insbesondere so wenig wie möglich um eine Drehachse verdreht und gegebenenfalls so wenig wie möglich senkrecht zur Bewegungsachse verschoben, bis die (kalibrierte) Transformation bzw. das (kalibrierte) kinematischen Modell die ermittelte Orientierung und gegebenenfalls Lage der Bewegungsachse optimal abbilden, während die übrigen Freiheitsgrade, die bei der Auswahl bzw. Vorgabe des zweiten Koordinatensystems genutzt wurden, möglichst unverändert bleiben.

In einer Ausführung wird die Bewegungsachse in wenigstens zwei, insbesondere wenigstens drei, weitere Stellungen verstellt und jeweils der Punkt mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose angefahren, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist, und die Orientierung und/oder Lage der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms, insbesondere auf Basis der auf Basis der Posen ermittelten Positionen des Punktes relativ zum Roboterarm, mittels eines Mittelungsverfahrens, insbesondere eines least-squares-Verfahrens oder dergleichen, ermittelt.

Theoretisch kann eine (zweidimensionale) Orientierung einer translatorischen Achse bereits auf Basis von zwei Positionen ermittelt werden, indem sie parallel zu einer Verbindung dieser Positionen bzw. einer entsprechenden Änderung der Position des durch Verstellen der translatorischen Bewegungsachse bewegten Punktes ausgerichtet wird. Durch die Berücksichtigung von mehr als zwei Stellungen bzw. Positionen mittels eines Mittelungsverfahrens können Messfehler und dergleichen minimiert und entsprechend die Präzision der Vermessung erhöht werden.

Analog kann theoretisch eine (zweidimensionale) Lage und eine (zweidimensionale) Orientierung einer rotatorischen Achse bereits auf Basis von drei Positionen ermittelt werden, indem sie senkrecht zu einer Ebene durch diese Positionen so angeordnet wird, dass die Positionen möglichst nah an einem Kreis um die Achse liegen. Durch

die Berücksichtigung von mehr als drei Stellungen bzw. Positionen mittels eines Mittelungsverfahrens können auch hier Messfehler und dergleichen minimiert und entsprechend die Präzision der Vermessung erhöht werden.

In einer Ausführung wird der Punkt mit einem Arbeitswerkzeug angefahren, das, insbesondere lösbar, an dem Roboterarm, insbesondere dessen Spitze bzw. Endflansch, angeordnet ist. Hierdurch kann vorteilhaft ohne Werkzeugwechsel vermessen, insbesondere das kinematische Modell direkt im Arbeitsprozess kalibriert werden.

In einer Ausführung wird der Punkt mit einem speziell hierzu, insbesondere lösbar, an dem Roboterarm, insbesondere dessen Spitze bzw. Endflansch, angeordneten Messwerkzeug angefahren, das nicht zum Bearbeiten und/oder Transportieren von Werkstücken eingerichtet ist bzw. verwendet wird. Hierdurch kann insbesondere das Anfahren verbessert werden.

Ein Mittel im Sinne der vorliegenden Erfindung kann hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet sein, insbesondere eine, vorzugsweise mit einem Speicher- und/oder Bussystem daten- bzw. signalverbundene, insbesondere digitale, Verarbeitungs-, insbesondere Mikroprozessoreinheit (CPU) und/oder ein oder mehrere Programme oder Programmmodule aufweisen. Die CPU kann dazu ausgebildet sein, Befehle, die als ein in einem Speichersystem abgelegtes Programm implementiert sind, abzuarbeiten, Eingangssignale von einem Datenbus zu erfassen und/oder Ausgangssignale an einen Datenbus abzugeben. Ein Speichersystem kann ein oder mehrere, insbesondere verschiedene, Speichermedien, insbesondere optische, magnetische, Festkörper- und/oder andere nicht-flüchtige Medien aufweisen. Das Programm kann derart beschaffen sein, dass es die hier beschriebenen Verfahren verkörpert bzw. auszuführen imstande ist, sodass die CPU die Schritte solcher Verfahren ausführen kann und damit insbesondere die Bewegungsachse vermessen, insbesondere diese verstellen, den Roboterarm bewegen und dessen Posen ermitteln kann.

In einer Ausführung werden ein oder mehrere, insbesondere alle, Schritte des Verfahrens vollständig oder teilweise automatisiert durchgeführt, insbesondere durch das Mittel zum Vermessen der Bewegungsachse bzw. seine Mittel.

In einer Ausführung weist das das Mittel zum Vermessen der Bewegungsachse auf:

- Mittel zum Ermitteln der Orientierung der Bewegungsachse derart, dass eine Abweichung zwischen Änderungen einer Position des Punktes relativ zu dem Roboterarm in dessen eingenommenen Posen und theoretischen Änderungen dieser Position infolge einer Verstellung der Bewegungsachse in deren entsprechende Stellungen minimiert wird;
- Mittel zum Ermitteln einer Lage der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms;
- Mittel zum Ermitteln der der Bewegungsachse derart ermittelt, dass eine Abweichung zwischen Änderungen einer Position des Punktes relativ zu dem Roboterarm in dessen eingenommenen Posen und theoretischen Änderungen dieser Position infolge einer Verstellung der Bewegungsachse in deren entsprechende Stellungen minimiert wird;
- Mittel zum Kalibrieren eines, insbesondere auf Basis von Soll-Werten, vorgegebenen kinematischen Modells, das Stellungen der Bewegungsachse und Positionen des Punktes relativ zu dem Roboterarm miteinander verknüpft, auf Basis der ermittelten Orientierung und/oder Lage der Bewegungsachse;
- Mittel zum Kalibrieren des vorgegebene kinematische Modell, das eine von der Stellung der Bewegungsachse abhängige Transformation zwischen einem ersten und zweiten Koordinatensystem aufweist, durch Ersetzen dieser Transformation mit bzw. durch eine(r) von der Stellung der Bewegungsachse abhängige(n) kalibrierte(n) Transformation zwischen dem ersten und einem kalibrierten Koordinatensystem, das aus dem zweiten Koordinatensystem hervorgeht durch: Positionieren eines bezüglich der Stellung der Bewegungsachse invarianten Punktes, insbesondere eines Koordinatenursprungs, des zweiten Koordinatensystems auf der Bewegungsachse, insbesondere durch eine kleinstmögliche Verschiebung; und/oder, insbesondere anschließendes, Ausrichten einer bezüglich der Stellung der Bewegungsachse invarianten Achse, insbesondere einer Koordinatenachse, des zweiten Koordinatensystems parallel zu der Orientierung der Bewegungsachse, insbesondere durch eine kleinstmögliche Rotation;

- Mittel zum Verstellen der Bewegungsachse in wenigstens zwei, insbesondere wenigstens drei, weitere Stellungen und jeweils Anfahren des Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und/oder
- Mittel zum Ermitteln der Orientierung und/oder Lage der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms mittels eines Mittelungsverfahrens.

Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen und den Ausführungsbeispielen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert,:

Fig. 1: einen Roboter und ein Mittel zum Vermessen einer Bewegungsachse des Roboters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2: ein Kalibrieren eines kinematischen Modells nach dieser Ausführung;

Fig. 3: einen Roboter und ein Mittel zum Vermessen einer Bewegungsachse des Roboters nach einer weiteren Ausführung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4: ein Kalibrieren eines kinematischen Modells nach dieser Ausführung; und

Fig. 5: ein Verfahren zum Vermessen der Bewegungsachse des Roboters nach beiden Ausführungen.

Fig. 1 zeigt einen Roboter 10 mit einem sechsachsigen Roboterarm 11, dessen Basis 14 bezüglich einer Umgebung U ortsfest ist. An dem Roboterarm 11 ist ein Werkzeug oder Taster 12 befestigt.

Ein Drehtisch 13 ist um eine Zusatzachse des Roboters 10 in Form einer rotatorischen Bewegungsachse q_r relativ zur Umgebung U und damit dem Roboterarm 11, insbesondere dessen Basis 14, drehbar, beispielsweise, um ein Werkstück durch den Roboter 10 bzw. Roboterarm 11 bzw. das von diesem geführte Werkzeug 12 zu bearbeiten.

Eine Steuerung 2 des Roboters 10 führt ein nachfolgend mit Bezug auf Fig. 1, 2 und 5 erläutertes Verfahren zum Vermessen dieser Bewegungsachse q_r durch.

In einem Schritt S10 wird ein ausgezeichneter, beispielsweise durch eine Vertiefung oder dergleichen vorgegebene, Punkt P auf dem Drehtisch 13 mit dem Werkzeug bzw. Taster 12 angefahren, indem der Roboterarm 11 in eine entsprechende Pose bewegt wird, und die dabei eingenommene Pose abgespeichert. In einem Schritt S20 wird überprüft, ob bereits eine vorgegebene Anzahl von Posen eingenommen wurde, im Ausführungsbeispiel beispielsweise wenigstens drei Posen.

Solange dies nicht der Fall ist (S20: „N"), wird in einem Schritt S30 die Bewegungsachse q_r in eine weitere Stellung verstellt und anschließend Schritt S10 wiederholt, in dem der Punkt P auf dem Drehtisch 13 erneut mit dem Werkzeug bzw. Taster 12 angefahren und die dabei eingenommene weitere Pose abgespeichert wird.

Wurde die vorgegebene Anzahl von Posen eingenommen und abgespeichert, fährt das Verfahren bzw. die Steuerung 2 mit Schritt S40 fort.

In diesem werden aus den abgespeicherten Posen die entsprechenden Positionen des drehtischfesten Punktes P relativ zu dem Roboterarm 11 ermittelt. In einer Abwandlung können in Schritt S10 anstelle der Posen auch direkt die Positionen ermittelt und abgespeichert werden.

Fig. 1 zeigt hierzu exemplarisch in ausgezogenen Linien eine erste Pose des Roboterarms 11, in der er den Punkt P bei einer ersten Stellung q_1 der Bewegungsachse q_r anfährt, und in gestrichelten Linien eine weitere, zweite Pose des Roboterarms 11, in der er den Punkt P bei einer weiteren, zweiten Stellung q_2 der Bewegungsachse q_r anfährt, Fig. 2 die ermittelten Positionen $P(q_1)$, $P(q_2)$ des Punktes P sowie eine weitere, dritte Position $P(q_3)$ des Punktes P bei einer weiteren, dritten Stellung q_3 der Bewegungsachse q_r und einer entsprechenden weiteren, in Fig. 1 nicht gezeigten, dritten Pose des Roboterarms 11 relativ zu dem Roboterarm 11, wie in Fig. 2 durch ein roboterarmbasisfestes Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ angedeutet.

Aus den Positionen $P(q_1)$ - $P(q_3)$ wird in Schritt S40 ein drehtischfestes Koordinatensystem $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ erstellt, dessen z-Achse z_{ax} auf einer Ebene durch $P(q_1)$, $P(q_2)$ und $P(q_3)$ senkrecht steht und in dieser mittels eines least-squares-Verfahrens so angeordnet ist, dass die Summe der Quadrate der Abstände der Positionen $P(q_1)$, $P(q_2)$ und $P(q_3)$ zu einem in Fig. 2 gestrichelt angedeuteten Kreis um z_{ax} minimal ist. Die x-Achse x_{ax} des Koordinatensystems $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ fluchtet mit einem Lot von der Position $P(q_1)$ auf diese z-Achse z_{ax}, seine y-Achse y_{ax} bildet mit der x- und der z-Achse ein Rechtssystem bzw. das kartesische Koordinatensystem $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$.

Die z-Achse z_{ax} fluchtet somit mit der Bewegungsachse q_r, deren zweidimensionale Lage (in der Zeichenebene der Fig. 2) und zweidimensionale Orientierung relativ zum roboterarmbasisfesten Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ damit in Schritt S40 ermittelt wurde.

Ein kinematisches Modell, das Stellungen q_1, q_2, q_3 der Bewegungsachse q_r auf Positionen $P(q_1)$, $P(q_2)$ bzw. $P(q_3)$ des Punktes P relativ zu dem Roboterarm 11, insbesondere dessen Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$, oder invers Positionen auf Stellungen abbildet, wurde zunächst auf Basis theoretischer Soll-Maßangaben insbesondere des Drehtisches 13, vorgegeben.

Hierzu weist das kinematische Modell eine Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und einem drehtischfesten (zweiten) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ auf, die von der Stellung der Bewegungsachse q_r abhängt.

Dieses drehtischfeste Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des kinematischen Modells ist in üblicher Weise so gewählt, dass seine z-Achse z_{mod} mit der theoretischen Drehachse des Drehtisches 13 fluchtet.

Auch die Lage seines Ursprungs sowie die Orientierung seiner x- und y-Achse relativ zum roboterarmbasisfesten Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ sind auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben gewählt.

Aufgrund von Abweichungen zu diesen theoretischen Soll-Maßangaben weicht jedoch die Lage und Orientierung der theoretischen Drehachse z_{mod} von der tatsächlichen Bewegungsachse q_r ab, wie in Fig. 2 zur Verdeutlichung übertrieben groß angedeutet.

Daher wird in Schritt S50 zunächst eine kleinstmögliche Verschiebung d (vgl. Fig. 2) ermittelt, die den Ursprung des Koordinatensystems $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des kinematischen Modells bzw. seiner Transformation auf die ermittelte Bewegungsachse q_r bzw. die z-Achse z_{ax} des Koordinatensystems $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ verschiebt. Diese kleinstmögliche Verschiebung d ergibt sich aus dem Lot von dem Ursprung des Koordinatensystems $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ auf die z-Achse z_{ax}.

Anschließend wird in Schritt S50 eine kleinstmögliche Verdrehung D ermittelt (vgl. hierzu Fig. 4), die die z-Achse z_{mod} des Koordinatensystems $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ parallel zur Bewegungsachse q_r bzw. z-Achse z_{ax} des Koordinatensystems $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ ausrichtet. Die Drehachse dieser Verdrehung D ergibt sich aus dem Kreuz- bzw. Vektorprodukt der z-Achse z_{mod} und der Bewegungsachse q_r bzw. z-Achse z_{ax} (im Ausführungsbeispiel ist sie antiparallel zur x-Achse x_{mod}), der Drehwinkel ist gleich dem Winkel zwischen diesen beiden Achsen.

Durch diese kleinstmögliche Verschiebung d und anschließende kleinstmögliche Verdrehung D geht aus dem (zweiten) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben vorgegebenen kinematischen Modells ein kalibriertes Koordinatensystem $\{x_{cal}, y_{cal}, z_{cal}\}$ hervor.

Indem die Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und dem drehtischfesten (zweiten) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des ursprünglich vorgegebenen kinematischen Modells durch eine kalibrierte Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und dem kalibrierten Koordinatensystem $\{x_{cal}, y_{cal}, z_{cal}\}$ ersetzt wird, wird in Schritt S50 das kinematisch Modell bezüglich der ermittelten tatsächlichen Bewegungsachse q_r kalibriert.

Man erkennt, dass dabei nur die (zweidimensionale) Lage des Ursprungs des Koordinatensystems $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ relativ zur z-Achse z_{ax} und die (zweidimensionale) Orientierung seiner z-Achse z_{mod}, die ursprünglich auf Basis der

theoretischen Soll-Maßangaben gewählt wurden, an die ermittelte tatsächliche Bewegungsachse q_r angepasst wurde, während in den beiden restlichen der sechs Freiheitsgraden, d.h. der (eindimensionalen) Lage des Ursprungs auf der Bewegungsachse q_r und der (eindimensionalen) Orientierung von x- und y-Achse um die Bewegungsachse q_r, diese ursprüngliche Wahl auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben beibehalten wurde.

Hierdurch ergibt sich ein vorteilhaftes kalibriertes kinematisches Modell, das die tatsächliche Bewegungsachse q_r gut abbildet und zugleich die ursprüngliche Wahl auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben so weit wie möglich beibehält.

Fig. 3 bis 5 zeigen in Fig. 1, 2 und 5 entsprechender Weise einen Roboter 10 und ein (Mittel 2 zum) Vermessen einer Bewegungsachse dieses Roboters nach einer weiteren Ausführung der vorliegenden Erfindung. Einander entsprechende Merkmale sind durch identische Bezugszeichen identifiziert, so dass auf die vorstehende Beschreibung Bezug genommen und nachfolgend nur auf Unterschiede eingegangen wird.

In der weiteren Ausführung der Fig. 3 bis 5 ist die Zusatzachse eine translatorische Achse q_t zum Bewegen der Basis 14 des Roboterarms 11 relativ zur Umgebung U.

In Schritt S10 wird ein ausgezeichneter, beispielsweise durch eine Vertiefung oder dergleichen vorgegebene, umgebungsfester Punkt P mit dem Werkzeug bzw. Taster 12 angefahren, indem der Roboterarm 11 in eine entsprechende Pose bewegt wird, und die dabei eingenommene Pose abgespeichert.

In Schritt S20 beträgt die vorgegebene Anzahl von Posen beispielsweise fünf Posen. In Schritt S30 wird die Bewegungsachse q_t jeweils in eine weitere Stellung verstellt.

In Schritt S40 werden aus den abgespeicherten Posen die entsprechenden Positionen des umgebungsfesten Punktes P relativ zu dem Roboterarm 11 bzw. dessen Basis 14' ermittelt. In einer Abwandlung können in Schritt S10 anstelle der Posen auch direkt diese Positionen ermittelt und abgespeichert werden.

Fig. 3 zeigt hierzu exemplarisch in ausgezogenen Linien eine erste Pose des Roboterarms 11, in der er den umgebungsfesten Punkt P bei einer ersten Stellung q_1 der Bewegungsachse q_t anfährt, und in gestrichelten Linien eine weitere, fünfte Pose des Roboterarms 11, in der er den Punkt P bei einer weiteren, fünften Stellung q_5 der Bewegungsachse q_t anfährt, Fig. 4 die ermittelten Positionen $P(q_1)$, $P(q_5)$ des Punktes P sowie in Form ausgefüllter Kreise drei dazwischenliegende weitere Positionen des Punktes P bei entsprechenden weiteren Stellungen der Bewegungsachse q_t und entsprechenden weiteren, in Fig. 3 nicht gezeigten, weiteren Posen des Roboterarms 11 relativ zu dem Roboterarm 11, wie durch das roboterarmbasisfeste Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ angedeutet.

Aus den Positionen $P(q_1)$ - $P(q_5)$ wird in Schritt S40 ein umgebungsfestes Koordinatensystem $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ erstellt, dessen z-Achse z_{ax} mittels eines least-squares-Verfahrens so angeordnet ist, dass die Summe der Quadrate der Abstände der Positionen $P(q_1)$ - $P(q_5)$ zur z-Achse z_{ax} minimal ist und die x- und y-Achse damit ein Rechtssystem bzw. das kartesische Koordinatensystem $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ bilden, wobei deren Orientierung um die z-Achse ebenso wie die Lage des Ursprungs in Richtung der z-Achse z_{ax} beliebig ist.

Die z-Achse z_{ax} fluchtet somit wiederum mit der Bewegungsachse q_t, deren (zweidimensionale) Orientierung relativ zum roboterarmbasisfestes Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ damit in Schritt S40 ermittelt wurde.

Ein kinematisches Modell, das Stellungen q_1 - q_5 der Bewegungsachse q_t sowie Stellungen der Achsen des Roboterarms 11, die dessen Pose bestimmen, mit Positionen $P(q_1)$ – $P(q_5)$ des umgebungsfesten Punktes P relativ zu dem Roboterarm 11, insbesondere dessen Werkzeug bzw. Taster 12, verknüpft, also beispielsweise diese Stellungen auf eine Position des Werkzeugs bzw. Tasters 12 relativ zur Umgebung und damit – jedenfalls indirekt auch - relativ zu dem umgebungsfesten Punkt P oder inverse eine solche Position des an dem Roboterarm angeordneten Werkzeugs bzw. Tasters 12 relativ zur Umgebung und damit – jedenfalls indirekt auch – Positionen des umgebungsfesten Punkt P relativ zu dem Roboterarm auf entsprechende Stellungen abbildet wurde zunächst auf Basis theoretischer Soll-Maßangaben insbesondere der Linearführung der Bewegungsachse q_t, vorgegeben.

Hierzu weist das kinematische Modell eine Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und einem werkzeug- bzw. tasterfesten Koordinatensystem sowie eine hiermit verknüpfte Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und einem umgebungsfesten (zweiten) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ auf, welche von der Stellung der Bewegungsachse q_t abhängt.

Dieses umgebungsfeste (zweite) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des kinematischen Modells ist in üblicher Weise so gewählt, dass seine z-Achse z_{mod} mit der theoretischen Linear- bzw. Zusatzachse zum Verfahren der Basis 14 des Roboterarms 11 fluchtet.

Auch die dreidimensionale Lage seines Ursprungs sowie die eindimensionale Orientierung seiner x- und y-Achse relativ zum roboterarmbasisfesten Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$, d.h. die vier Freiheitsgrade, die bei mit der Linearachse fluchtendem Koordinatensystem noch frei wählbar sind, sind auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben gewählt.

Aufgrund von Abweichungen zu den theoretischen Soll-Maßangaben weicht jedoch die Lage und Orientierung der theoretischen Drehachse z_{mod} von der tatsächlichen Bewegungsachse q_t ab. Wie bereits in Fig. 2 ist auch in Fig. 4 diese Abweichung zur Verdeutlichung übertrieben groß dargestellt.

In Schritt S50 wird (nur, d.h. ohne vorhergehende (kleinstmögliche) Verschiebung) die kleinstmögliche Verdrehung D ermittelt, die die z-Achse z_{mod} des Koordinatensystems $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ parallel zur Bewegungsachse q_t bzw. z-Achse z_{ax} des Koordinatensystems $\{x_{ax}, y_{ax}, z_{ax}\}$ ausrichtet. Die Drehachse dieser Verdrehung D ergibt sich aus dem Kreuz- bzw. Vektorprodukt der z-Achse z_{mod} und der Bewegungsachse q_t bzw. z-Achse z_{ax} (im Ausführungsbeispiel ist sie antiparallel zur y-Achse y_{mod}), der Drehwinkel ist gleich dem Winkel zwischen diesen beiden Achsen.

Durch diese kleinstmögliche Verdrehung D geht aus dem (zweiten) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben vorgegebenen kinematischen Modells wieder das kalibrierte Koordinatensystem $\{x_{cal}, y_{cal}, z_{cal}\}$ hervor.

Indem die Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und dem umgebungsfesten (zweiten) Koordinatensystem $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$ des ursprünglich vorgegebenen kinematischen Modells durch eine kalibrierte Transformation zwischen dem roboterarmbasisfesten (ersten) Koordinatensystem $\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$ und dem kalibrierten Koordinatensystem $\{x_{cal}, y_{cal}, z_{cal}\}$ ersetzt wird, wird in Schritt S50 das kinematisch Modell bezüglich der ermittelten tatsächlichen Bewegungsachse q_t kalibriert.

Man erkennt, dass dabei nur die (zweidimensionale) Orientierung der z-Achse z_{mod} des Koordinatensystems $\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$, die ursprünglich auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben gewählt wurde, an die ermittelte tatsächliche Bewegungsachse q_t angepasst wurde, während in den vier restlichen der sechs Freiheitsgraden, d.h. der dreidimensionalen Lage des Ursprungs und der Orientierung von x- und y-Achse des Koordinatensystems um die Bewegungsachse q_t, diese ursprüngliche Wahl auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben beibehalten wurde.

Hierdurch ergibt sich wiederum ein vorteilhaftes kalibriertes kinematisches Modell, das die tatsächliche Bewegungsachse q_t gut abbildet und zugleich die ursprüngliche Wahl auf Basis der theoretischen Soll-Maßangaben so weit wie möglich beibehält.

Obwohl in der vorhergehenden Beschreibung exemplarische Ausführungen erläutert wurden, sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Abwandlungen möglich ist.

So wurde im Ausführungsbeispiel der Fig. 3, 4 die Orientierung der Bewegungsachse q_t mittels eines Mittelungsverfahrens ermittelt, wobei theoretisch bereits zwei Positionen ausreichen würden. Umgekehrt kann auch im Ausführungsbeispiel der Fig. 1, 2 die Lage und Orientierung der Bewegungsachse q_r mittels eines Mittelungsverfahrens aus mehr als 3 Positionen ermittelt werden.

Zusätzlich oder alternativ kann auch im Ausführungsbeispiel der Fig. 1, 2 zusätzlich oder alternativ eine translatorische Achse und/oder im Ausführungsbeispiel der Fig. 3, 4 zusätzlich oder alternativ eine rotatorische Achse vorliegen.

Außerdem sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den exemplarischen Ausführungen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die

Anwendungen und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einer exemplarischen Ausführung gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere in Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

Bezugszeichenliste

2	Steuerung
10	Roboter
11	Roboterarm
12	Werkzeug/Taster
13	Drehtisch
14	Roboterarmbasis
q_r	rotatorische Bewegungsachse
q_t	translatorische Bewegungsachse
x, y, z	Koordinatensystemachsen
P	Punkt(position)
U	Umgebung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermessen einer Bewegungsachse (q_r; q_t) eines Roboters (10), der einen Roboterarm (11) aufweist, mit den Schritten:
   - Anfahren (S10) eines Punktes (P) mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine erste Pose, wobei die Bewegungsachse eine erste Stellung (q_1) aufweist;
   - Verstellen (S30) der Bewegungsachse in wenigstens eine weitere Stellung (q_2, q_3; q_5) und Anfahren des Punktes (P) mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und
   - Ermitteln (S40) einer Orientierung (D) der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsachse eine Achse (q_r) zum Bewegen eines Maschinenteils, insbesondere Werkzeugs oder Werkstücks, relativ zu dem Roboterarm oder eine Achse (q_t) zum Bewegen des Roboterarms relativ zu einer Umgebung (U) ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Orientierung der Bewegungsachse derart ermittelt wird, dass eine Abweichung zwischen Änderungen einer Position des Punktes relativ zu dem Roboterarm in dessen eingenommenen Posen und theoretischen Änderungen dieser Position infolge einer Verstellung der Bewegungsachse in deren entsprechende Stellungen minimiert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt:
   - Ermitteln (S40) einer Lage (d) der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms.

5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage der Bewegungsachse derart ermittelt wird, dass eine Abweichung zwischen Änderungen einer Position des Punktes relativ zu dem Roboterarm in dessen eingenommenen Posen und theoretischen Änderungen dieser Position

infolge einer Verstellung der Bewegungsachse in deren entsprechende Stellungen minimiert wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt:
   - Kalibrieren (S50) eines, insbesondere auf Basis von Soll-Werten, vorgegebenen kinematischen Modells, das Stellungen der Bewegungsachse und Positionen des Punktes relativ zu dem Roboterarm miteinander verknüpft, auf Basis der ermittelten Orientierung und/oder Lage der Bewegungsachse.

7. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das vorgegebene kinematische Modell eine von der Stellung der Bewegungsachse abhängige Transformation zwischen einem ersten Koordinatensystem ($\{x_{rob}, y_{rob}, z_{rob}\}$) und zweiten Koordinatensystem ($\{x_{mod}, y_{mod}, z_{mod}\}$) aufweist, die zum Kalibrieren des kinematischen Modells durch eine von der Stellung der Bewegungsachse abhängige kalibrierte Transformation zwischen dem ersten und einem kalibrierten Koordinatensystem ($\{x_{cal}, y_{cal}, z_{cal}\}$) ersetzt wird, das aus dem zweiten Koordinatensystem hervorgeht durch:
   - Positionieren eines bezüglich der Stellung der Bewegungsachse invarianten Punktes, insbesondere eines Koordinatenursprungs, des zweiten Koordinatensystems auf der Bewegungsachse, insbesondere durch eine kleinstmögliche Verschiebung (d); und/oder, insbesondere anschließendes,
   - Ausrichten einer bezüglich der Stellung der Bewegungsachse invarianten Achse, insbesondere einer Koordinatenachse (z_{mod}), des zweiten Koordinatensystems parallel zu der Orientierung der Bewegungsachse, insbesondere durch eine kleinstmögliche Rotation (D).

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Schritte:
   - Verstellen (S30) der Bewegungsachse in wenigstens zwei, insbesondere wenigstens drei, weitere Stellungen und jeweils Anfahren des Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und

- Ermitteln (S40) der Orientierung und/oder Lage der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms mittels eines Mittelungsverfahrens.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsachse eine translatorische Achse (q_r) oder eine rotatorische Achse (q_t) ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Punkt (P) mit einem Arbeits- oder Messwerkzeug (12) angefahren wird, das an dem Roboterarm (11) angeordnet ist.

11. Mittel (2) zum Vermessen einer Bewegungsachse (q_r; q_t) eines Roboters, der einen Roboterarm (11) aufweist, das zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist und/oder aufweist:
    - Mittel zum Anfahren eines Punktes (P) mit dem Roboterarm (11) durch Bewegen des Roboterarms in eine erste Pose, wobei die Bewegungsachse eine erste Stellung (q1) aufweist;
    - Mittel zum Verstellen der Bewegungsachse in wenigstens eine weitere Stellung (q2, q3; q_5) und Anfahren des Punktes mit dem Roboterarm durch Bewegen des Roboterarms in eine weitere Pose, wobei die Bewegungsachse diese weitere Stellung aufweist; und
    - Mittel zum Ermitteln einer Orientierung (D) der Bewegungsachse auf Basis der Posen des Roboterarms.

12. Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode, der auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Fig. 1

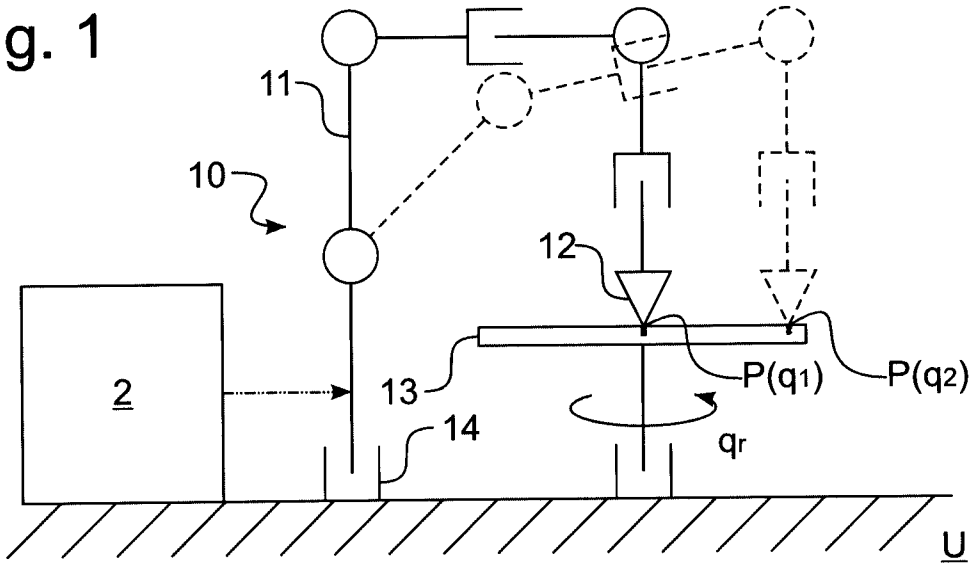


Fig. 3

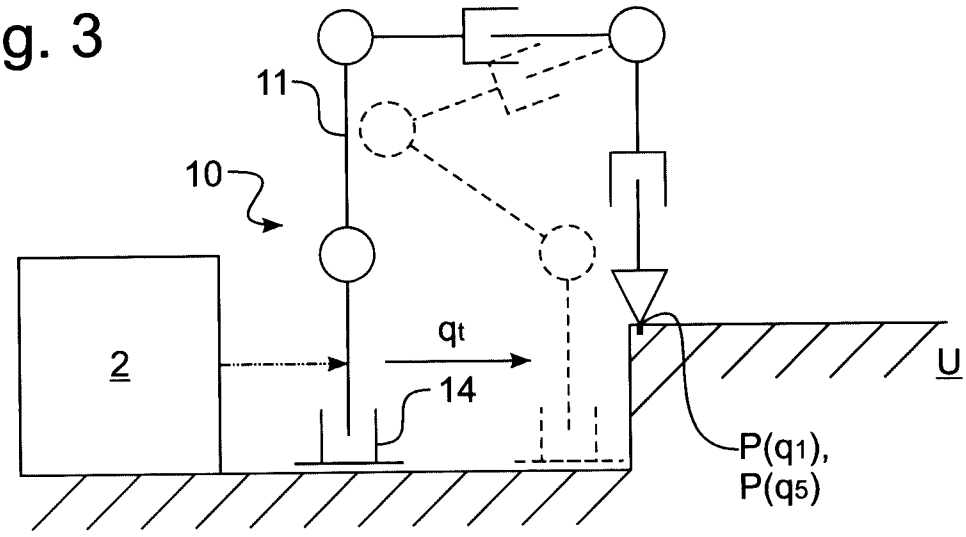


Fig. 2

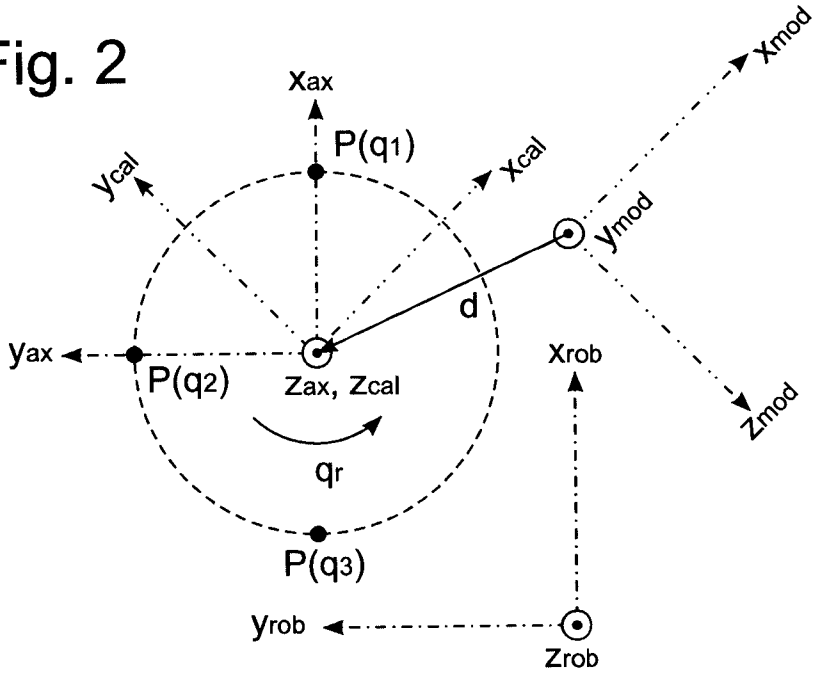


Fig. 4

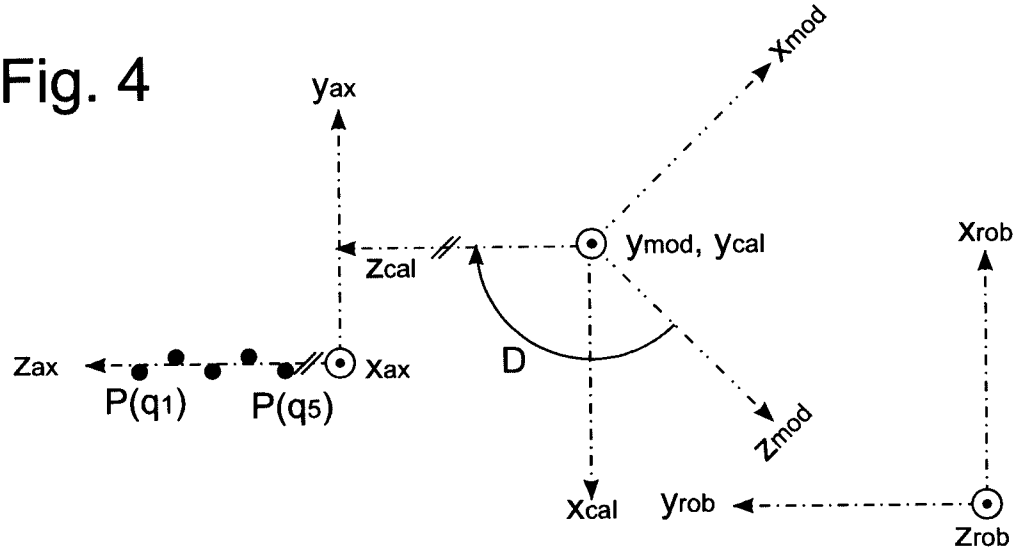
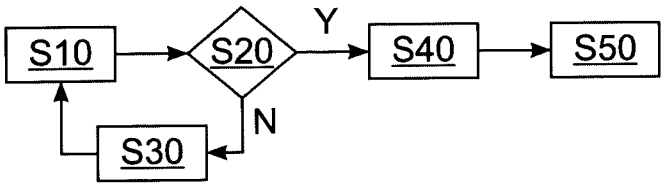


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/001340

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05B19/401 B25J9/16
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05B B25J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2012 207336 A1 (ZEISS IND MESSTECHNIK GMBH [DE]) 7 November 2013 (2013-11-07) abstract paragraphs [0001] - [0004] paragraph [0057] figures 1,2	1-12
A	EP 0 271 691 A1 (SIEMENS AG [DE]) 22 June 1988 (1988-06-22) abstract columns 1,2,4 columns 6,7 figures 2,5-7	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
15 February 2018	22/02/2018

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Dörre, Thorsten

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/001340

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102012207336 A1	07-11-2013	CN 104272061 A	07-01-2015
		DE 102012207336 A1	07-11-2013
		EP 2844953 A1	11-03-2015
		US 2015052768 A1	26-02-2015
		WO 2013164344 A1	07-11-2013
EP 0271691 A1	22-06-1988	AT 68894 T	15-11-1991
		DE 3774090 D1	28-11-1991
		EP 0271691 A1	22-06-1988
		JP H01136207 A	29-05-1989

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/001340

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G05B19/401 B25J9/16
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G05B B25J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2012 207336 A1 (ZEISS IND MESSTECHNIK GMBH [DE]) 7. November 2013 (2013-11-07) Zusammenfassung Absätze [0001] - [0004] Absatz [0057] Abbildungen 1,2 -----	1-12
A	EP 0 271 691 A1 (SIEMENS AG [DE]) 22. Juni 1988 (1988-06-22) Zusammenfassung Spalten 1,2,4 Spalten 6,7 Abbildungen 2,5-7 -----	1-12

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
15. Februar 2018	22/02/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Dörre, Thorsten

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/001340

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102012207336 A1	07-11-2013	CN 104272061 A	07-01-2015
		DE 102012207336 A1	07-11-2013
		EP 2844953 A1	11-03-2015
		US 2015052768 A1	26-02-2015
		WO 2013164344 A1	07-11-2013
EP 0271691 A1	22-06-1988	AT 68894 T	15-11-1991
		DE 3774090 D1	28-11-1991
		EP 0271691 A1	22-06-1988
		JP H01136207 A	29-05-1989